

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **Обґрунтування параметрів процесу виготовлення
плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з
застосуванням програмного модуля SOLIDWORKS CAM**

Виконав: студент групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Рибка Богдан Григорович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

(підпис)
професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Рибці Богдану Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів процесу виготовлення плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з застосуванням програмного модуля SOLIDWORKS CAM

Керівник роботи к.т.н., Швець Олексій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 28 лютого 2025 року №140/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “ ____ ” _____ 20__ року

3. Вихідні дані до робіт: довідкова література, інструкція до використання та характеристики колабораційного робота UR 10, характеристики зварювальних столів, типові технології обробки деталей різанням на металообробних верстатах, каталоги ріжучих інструментів до металообробних верстатів, методичні рекомендації до розробки технології обробки деталей в середовищі

SOLIDWORKS CAM, характеристики конструкційних матеріалів, інструкції з охорони праці та інші довідкові джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Стан питання в теорії і практиці та задачі досліджень; 4.2. Конструктивна частина; 4.3. Аналіз способів та методів механічної обробки конструктивних елементів плити; 4.4. Проектування та обґрунтування технологічного процесу виготовлення деталі за допомогою програмного модуля Solidworks CAM; 4.5. Охорона праці; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Стан питання в теорії і практиці та задачі досліджень	18.04.25	
2	Конструктивна частина	20.06.25	
3	Аналіз способів та методів механічної обробки конструктивних елементів плити	08.08.25	
4	Проектування та обґрунтування технологічного процесу виготовлення деталі за допомогою програмних модулів Solidworks	05.09.25	
5	Охорона праці	31.10.25	
6	Оформлення пояснювальної записки	21.11.25	
7	Оформлення графічної частини	15.12.25	

Студент

(підпис)

Рибка Б.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Швець О.П.

(прізвище та ініціали)

Рибка Б.Г. «Обґрунтування параметрів процесу виготовлення плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з застосуванням програмного модуля SOLIDWORKS CAM». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 68 с.

Проведено аналіз конструкції колабораційного робота UR 10 та елементів його кріплення. Розглянуто основні конструктивні особливості зварювальних столів та елементів кріплення на них технологічної оснастки. Розроблено конструкцію плити для кріплення робота на зварювальному столі. Проведено аналіз способів та засобів механічної обробки корпусних деталей. Обґрунтовано вибір заготовки та спосіб її базування під час обробки на фрезерному обробному центрі. Створено 3-D модель плити для розробки технології її виготовлення з використанням програмного модуля Solidworks CAM. За його допомогою підібрано верстат та необхідний технологічний інструмент, визначено параметри заготовки, складено план її обробки та згенеровано необхідні траєкторії руху металообробного інструменту, оптимізовано маршрут обробки та створено керуючу програму для верстата з числовим програмним керуванням. Розглянуто питання охорони праці під час механічної обробки деталей.

Табл. 5; рис. 41; бібліогр. джерел 40; дод. 1.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1	Конструкція та призначення робота UR 10	8
1.2	Особливості застосування робота UR10	11
1.3	Кріплення робота	12
1.4	Монтаж органів керування	14
1.5	Характеристики та параметри зварювальних столів	15
1.6	Мета та завдання досліджень	
	Висновки за розділом	20
2	КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	21
2.1	Розробка конструкції плити для кріплення робота на зварювальному столі	21
2.2	Аналіз технологічності конструкції деталі	24
2.3	Обґрунтування вибору матеріалу виробу	27
	Висновки за розділом	30
3	АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЛИТИ	31
3.1	Технічні вимоги до виготовлення корпусних деталей	31
3.2	Вибір схеми базування корпусної деталі	33
3.3	Вибір методів обробки заготовки	34
3.4	Аналіз способів фрезерування, інструменту та особливостей його застосування	35
3.4.1	Фрезерування плоских поверхонь	32
3.4.2	Фрезерування виступів	38
3.4.3	Фрезерування отворів та западин	41
3.4.4	Фрезерування різьбових отворів	45
	Висновки за розділом	47

4	ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ SOLIDWORKS CAM	48
4.1	Вибір верстата та інструментів	48
4.2	Обґрунтування параметрів заготовки	50
4.3	Розробка плану обробки заготовки та генерування необхідних траєкторій руху металообробного інструменту	52
4.4	Створення та збереження керуючої програми	56
	Висновки за розділом	57
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1	Аналіз вимог з охорони праці під час роботи на верстатах	58
4.2	Математичне моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час роботи на верстатах	60
	Висновки за розділом	63
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	64
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	65

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво характеризується постійним прагненням до автоматизації та оптимізації технологічних процесів. Зварювання, як один із ключових процесів у машинобудуванні, не є винятком. Застосування роботизованих комплексів, зокрема універсального робота UR 10, дозволяє значно підвищити продуктивність, точність та якість зварних з'єднань. Однак ефективність роботизованого зварювання безпосередньо залежить від точності позиціонування деталей та надійності їх кріплення на зварювальному столі. Виготовлення високоточної плити кріплення для такого робота вимагає ретельного обґрунтування параметрів технологічного процесу, що охоплює як механічну обробку, так і зварювання.

Використання систем автоматизованого проєктування та виробництва (CAD/CAM), зокрема програмного модуля SOLIDWORKS CAM, надає широкі можливості для моделювання, симуляції та генерації керуючих програм для верстатів з ЧПК. Це дозволяє ще на етапі підготовки виробництва мінімізувати ризики, оптимізувати режими різання та забезпечити необхідну точність виготовлення деталі. Отже, тема обґрунтування параметрів процесу виготовлення плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з застосуванням програмного модуля SOLIDWORKS CAM є актуальною для забезпечення високої ефективності та якості роботизованого зварювального комплексу.

Метою дипломної роботи є наукове обґрунтування та розробка технологічного процесу виготовлення плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з використанням програмного модуля SOLIDWORKS CAM для досягнення заданих параметрів точності та якості.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- провести аналіз конструкторської документації кріплення робота та вимог до його експлуатаційних характеристик;

Обґрунтувати вибір основного та допоміжного обладнання для механічної обробки.

- розробити технологічний маршрут виготовлення деталі, включаючи послідовність операцій механічної обробки та зварювання;
- здійснити моделювання процесу механічної обробки та генерацію керуючих програм за допомогою програмного модуля SOLIDWORKS CAM;
- визначити та експериментально підтвердити оптимальні параметри режимів різання та зварювання.

Об'єкт дослідження – процес виготовлення плити кріплення робота UR 10 на зварювальному столі.

Предмет дослідження – параметри технологічного процесу механічної обробки та зварювання, обґрунтовані з використанням програмного модуля SOLIDWORKS CAM.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, інженерного проєктування, математичного моделювання, а також експериментальні методи для перевірки отриманих результатів. Застосовано програмні засоби CAD/CAM, зокрема SOLIDWORKS та SOLIDWORKS CAM, для моделювання та оптимізації процесу виготовлення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні комплексної методики визначення параметрів технологічного процесу виготовлення відповідальних деталей із застосуванням сучасних CAD/CAM систем, що дозволяє підвищити точність та зменшити час підготовки виробництва.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці конкретних технологічних рекомендацій та керуючих програм для виготовлення плити кріплення робота UR 10, які можуть бути впроваджені на виробництві для оптимізації зварювальних робіт.

1. СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Конструкція та призначення робота UR 10

Робот UR 10 представляє собою маніпулятор, який складається з штампованих алюмінієвих трубок і з'єднань. За допомогою патентованого інтерфейсу для програмування PolyScope можна легко запрограмувати робота для переміщення різноманітних робочих органів або інструментів за заданою траєкторією, встановлених на ньому в залежності від поставлених завдань [39].

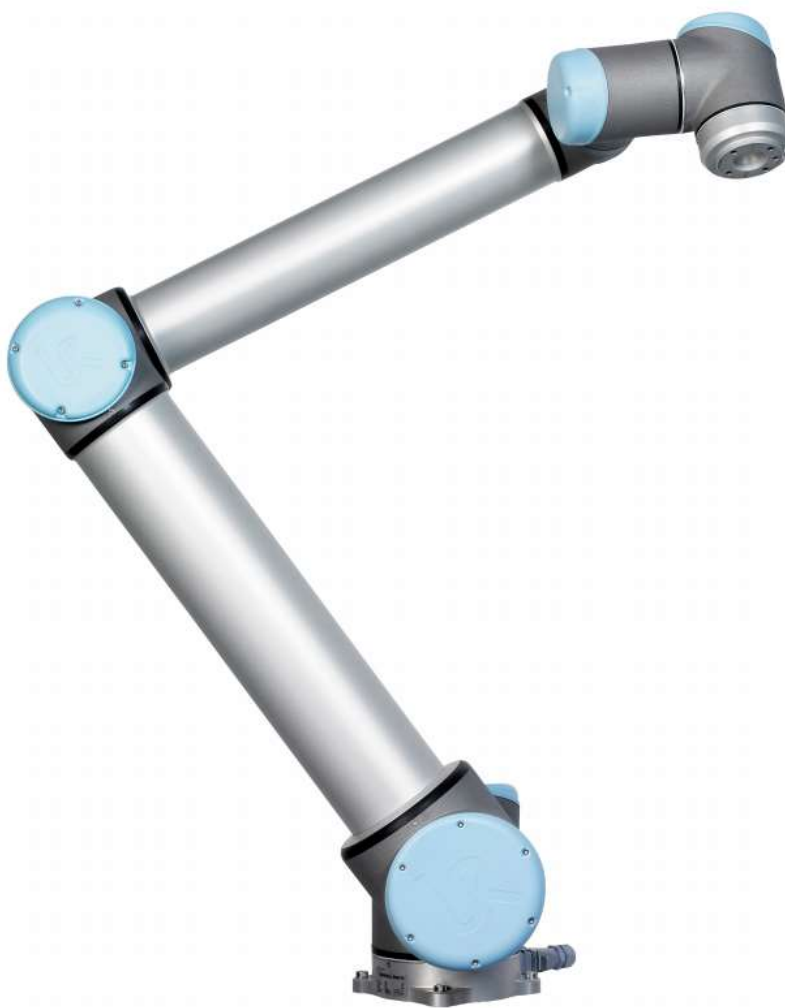


Рисунок - 1.1. Загальний вигляд робота UR 10

Повний комплект робота включає:

- блок керування та підвісний пульт керування;
- кронштейн для встановлення блоку керування;
- кронштейн для встановлення підвісного пульта;

- ключ для відкриття блоку керування;
- кабель для підключення робота та блоку керування;
- кабель живлення (під заданий регіон);
- кабель інструменту;
- кабель EUROMAP 67;
- сенсорне перо з лазером;
- сертифікат виробничих випробувань UR;
- керівництво з експлуатації.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики робота UR10 [40]

Параметр	Значення
1	2
Тип робота	UR10
Вага	28,9 кг
Корисне навантаження	10 кг
Обхват	1300 мм
Діапазони зчленувань	$\pm 360^\circ$ для інших зчленувань
Швидкість	Основа та плечовий вузол: макс. 120 °/с
	Усі інші вузли: Макс. 180 °/с
	Інструмент: прибіл. 1 м/с
Стабільність позиціонування	± 0.1 mm
Площа в основи	Ø190 мм
Ступені свободи	6 обертових вузлів
Розмір блоку керування (Ш × В × Г)	475 мм × 423 мм × 268 мм
Порти введення-виведення блоку керування	16 цифрових входів, 16 цифрових виходів, 2 аналогових входів. так, 2 аналогових виходи
Порти введення-виводу інструмента	цифрові входи, 2 цифрові виходи, 2 аналогові входи
Введення/виведення живлення	24 V 2 A в блоці керування та 12 V/24 V 600 mA інструменті
Обмін даними	TCP/IP, 100 Мбіт: IEEE 802.3u, 100BASE-TX Розєм Ethernet, Modbus TCP & Адаптер EtherNet/IP

1	2
Програмування	Графічний інтерфейс користувача PolyScore з 12-дюймовим сенсорним екраном
Шумність	Відносно безшумний
Класифікація ступеня захисту	IP54
Енергоспоживання	Прибл. 350 W під час використання типової програми
Спільна робота	15 покращених функцій безпеки. Відповідно до: EN ISO 13849-1:2008, PLd та EN ISO 10218-1:2011, пункт 5.10.5
Температура	Робот може працювати при діапазоні навколишніх температур середовища 0-50 °C
Електроживлення	100-240 VAC, 50-60 Hz
Розрахунковий термін служби	35000 годин
Кабель між роботом і блоком керування	6 м
Кабель між сенсорним екраном та блоком керування	4,5 м

Основні частини робота наведено на рисунку 1.2.

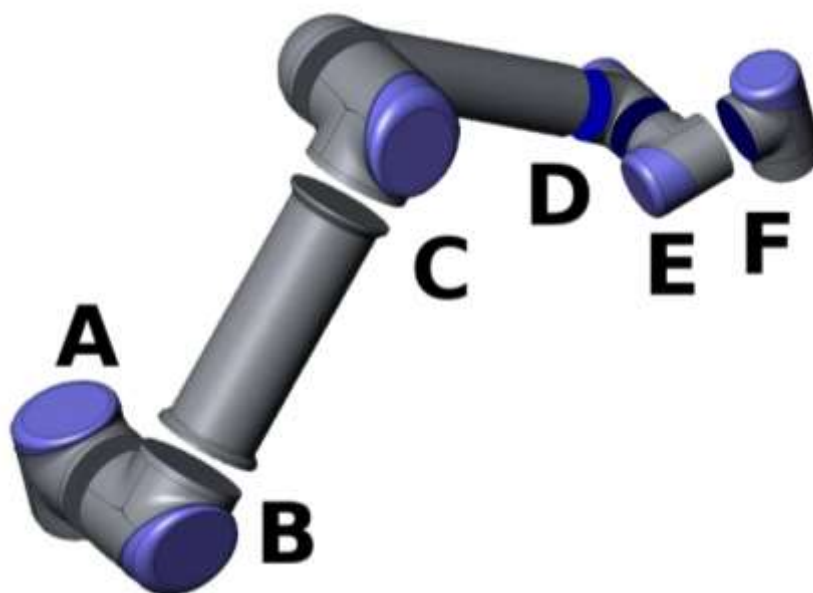


Рисунок 1.2 - Основні частини робота

A - основа; B - плечовий вузол; C - ліктовий вузол; D, E, F - зап'ястя 1, 2, 3

Основа - це місце, на яке встановлюється робот, а на протилежному кінці (зап'ястку 3) кріпиться інструмент робота. Координація рухів кожного із вузлів дозволяє роботу вільно переміщати інструмент за винятком області, розташованої строго над і під основою.

PolyScore є графічним інтерфейсом користувача, який дозволяє керувати маніпулятором робота і блоком управління, виконувати програми роботи та зручно створювати нові програми.

1.2. Особливості застосування робота UR10

Роботи серії UR є промисловими пристроями і призначені для роботи з інструментом або нерухомим обладнанням, а також для обробки або переміщення компонентів чи продуктів.

Роботи UR забезпечені особливими функціями безпеки, створеними з метою забезпечення спільної роботи та можливістю роботи робота без наявності огорож разом із людиною.

Спільна робота можлива тільки в безпечних випадках, в яких весь робочий процес, включаючи інструмент, заготовку, перешкоди та інше обладнання не становить значних загроз за результатами оцінки ризику [39].

Будь-яке використання або застосування, яке є відхиленням від попереднього переглянутого застосування, вважається неприпустимим використанням. Вони включають у собі такі обмеження:

- використання у потенційно вибухонебезпечних умовах;
- використання в медичних та життєво важливих цілях;
- використання перед виконанням оцінки ризику;
- використання у випадках недостатніх значень рівнів продуктивності;
- використання у випадках недостатньої продуктивності функцій безпеки;
- використання як допоміжний засіб для підйому;
- експлуатація поза дозволеними значеннями робочих параметрів.

1.3. Кріплення робота

Для монтажу робота використовуються чотири болти М8, котрі встановлюються в чотири отвори $\varnothing 8,5$ мм в основі робота. Затяжку даних болтів рекомендується виконувати з моментом 20 Нм. Якщо потрібно особливо точне розташування робота, використовуються два отвори $\varnothing 8$ зі встановленими в них штифтами. Крім того, додатково можна оснащувати робот точним контршаблоном основи. На рис. 1.3 показані точки, в яких потрібно просвердлити отвори для встановлення гвинтів [39].

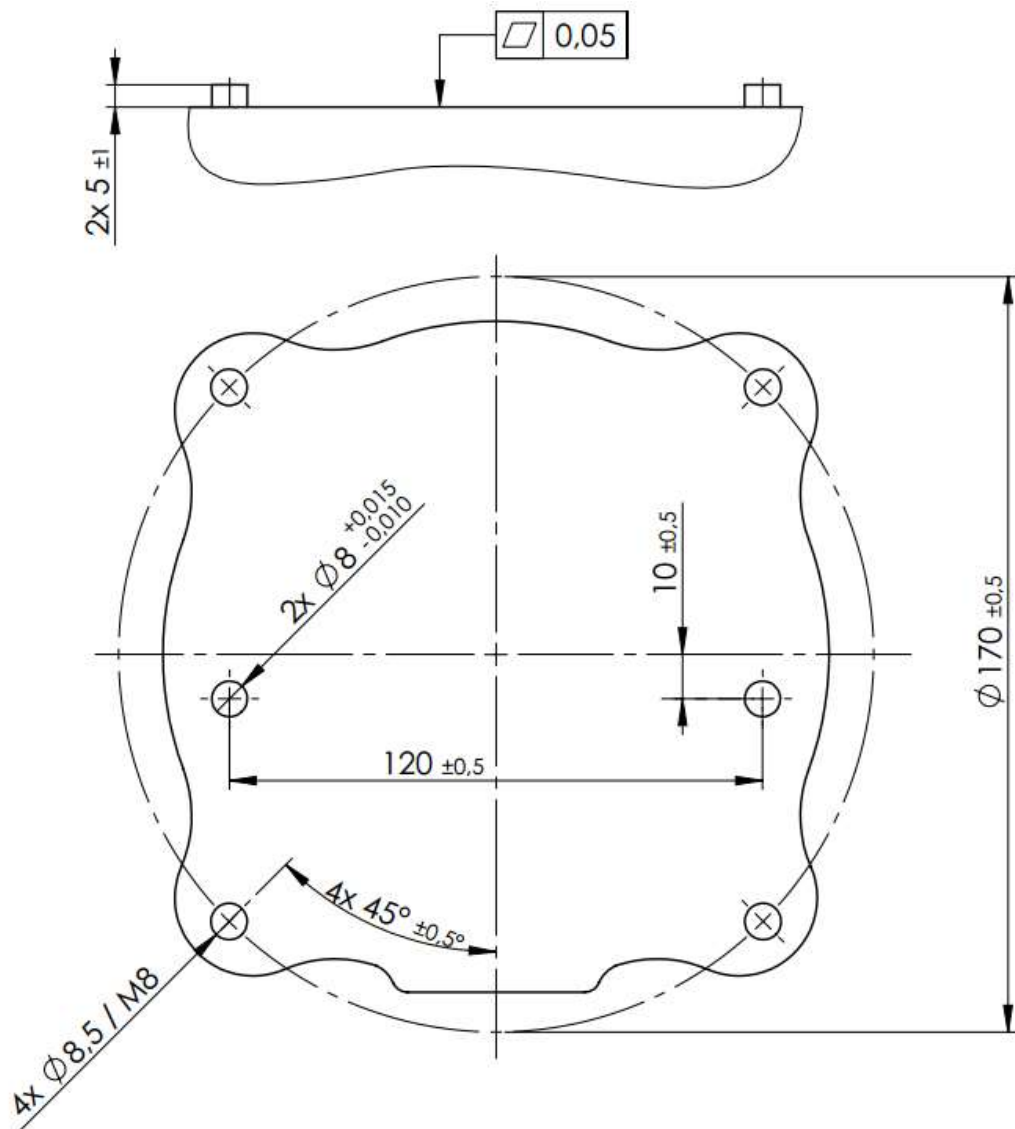


Рисунок 1.3. Схема монтажу робота [39]

Згідно схеми на рис. 1.3 використовуються чотири болти М8. Усі розміри на схемі наведені у міліметрах.

Монтаж робота необхідно проводити на міцній поверхні, здатній витримати момент не менший, який у десять разів перевищує максимальний крутний момент основи і вагу, яка не менш ніж у п'ять разів перевищує вагу робота маніпулятора. Також поверхня не має мати вібрацій.

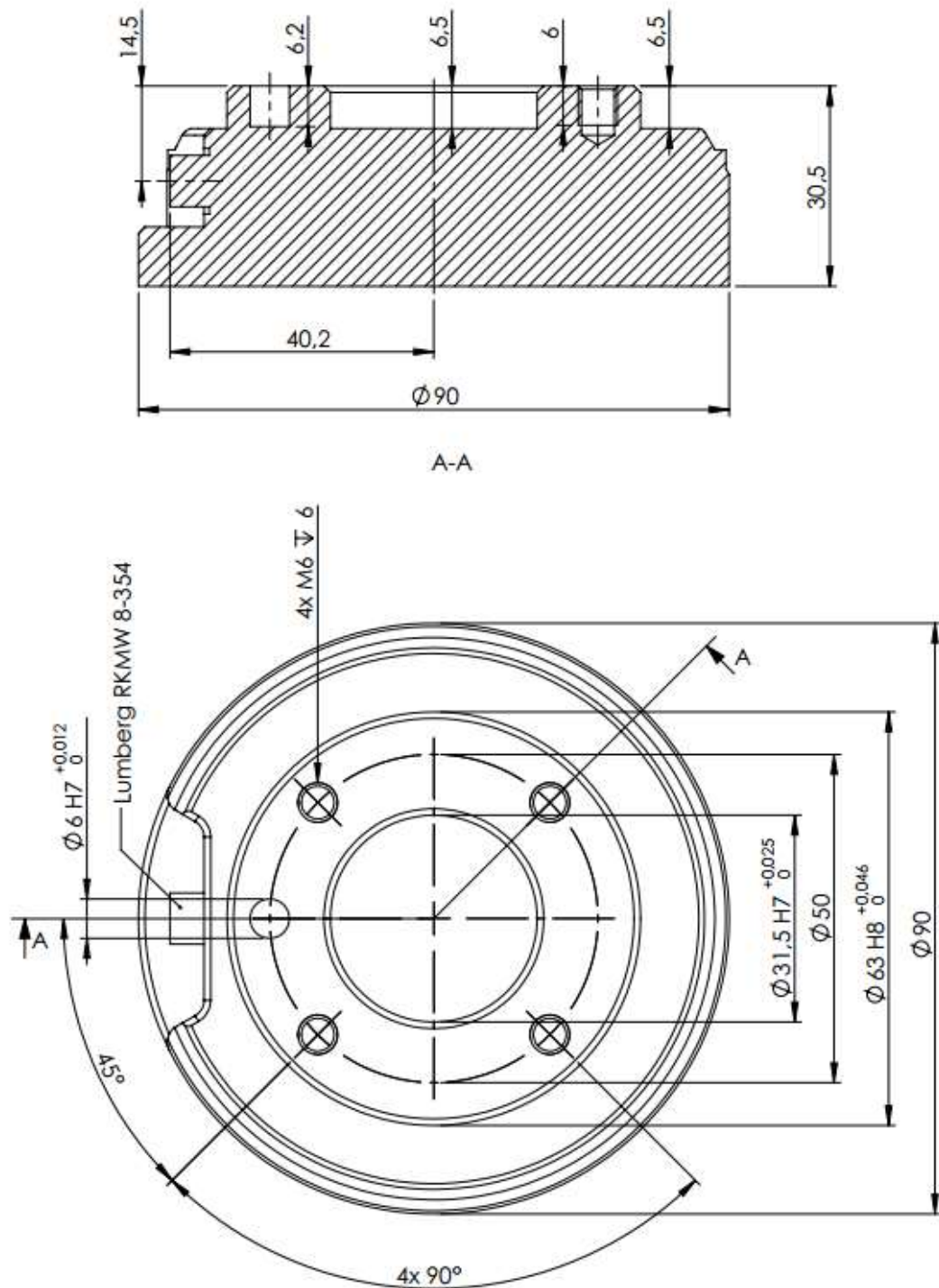


Рисунок 1.4 - Фланець для підключення інструменту, ISO 9409-1-50-4-M6

Якщо робот встановлений на лінійній осі або платформі, яка рухається, то прискорення руху основи установки має бути дуже низьким. Високе прискорення може призвести до зупинки робота і як наслідок імітації зіткнення з перешкодою.

Після монтажу необхідно переконатися, що робот маніпулятор надійно та безпечно закріплений. Поверхня монтажу має бути міцною. Також забороняється виконувати монтаж робота у воді або у вологому середовищі.

У фланці робота для приєднання інструментів та виконавчих органів є чотири отвори з різьбою М6. Момент затягування фіксаторів в отворах має становити 9 Нм. Якщо потрібно дуже точне розташування встановлених інструментів, використовують отвір Ø6, встановивши в нього штифт.

На рис. 1.4 показані точки, в яких потрібно просвердлити отвори для установки гвинтів.

За допомогою фланця інструмент прикріплюється до наконечника робота. Всі розміри наведені в мм.

Перед використанням робота слід переконатися, що інструмент надійно та безпечно закріплений. Також потрібно переконатися, що конструкція інструменту не може створити небезпечну ситуацію.

1.4. Монтаж органів керування

Блок керування

Блок керування роботом може бути підвішений на стіні або розміщений на підлозі. Для забезпечення циркуляції повітря з кожного боку блоку необхідно залишити вільний простір шириною не менше 50 мм. Для монтажу блока керування робот додатково може укомплектовуватися додатковими кронштейнами для монтажу.

Підвісний пульт керування

Підвісний пульт керування також можна повісити на стіну або на блок керування. Також можна використати додаткові кронштейни, які поставляються виробником окремо. Після монтажу пульта слід переконатися, що його кабель прокладено таким чином, що об нього неможливо спіткнутися.

Після монтажу органів керування роботом необхідно переконатися, що блок керування, підвісний пульт та кабелі не контактують з водою. Волога в блоці керування може призвести до короткого замикання та ураження оператора струмом.

Блок керування та підвісний пульт керування не повинні піддаватися впливу запиленних або вологих середовищ, в яких перевищено ступінь захисту оболонки IP20. Особливу увагу слід звертати на середовища з струмопровідним пилом.

1.5. Характеристики та параметри зварювальних столів

Зварювальні та збиральні столи – обладнання, що широко застосовується для роботи в майстернях, гаражах і цехах, що займаються обробкою металу.

Завдяки своїй конструкції наш стіл зручний у роботі та витримує великі навантаження. Допоміжні інструменти, такі як лебідки та елементи кріплення, монтуються на робочу плиту просто і надійно. З'єднавши кілька стільниць, можна змонтувати стіл будь-якого розміру. Стіл легко збирається і розбирається.



Рисунок 1.5 – Зварювальні столи

Сучасні зварювальні столи являють собою повністю сталеву конструкція. Їх основною частиною є сталева поверхня (плита), розміри якої визначаються виробничими завданнями та особливістю їх застосування. В залежності від необхідного навантаження, плита може мати товщину від 4 до 20 мм. Плита може бути суцільна або складна з окремих ламелей. Для кріплення зварювальної оснастки в плитах виконують отвори діаметром 16 або 28 мм. Для цієї ж мети ламелі також можуть мати Т-подібні пази. Крок розташування монтажних отворів здебільшого становить 100 мм, однак може бути й 50 мм. Для встановлення столу на задану висоту їх оснащують регульованими опорами висотою 600 - 1000 мм [7, 8, 24].

Спеціальні зварювальні столи характеризується масивною і жорсткою основою стільниці, яка гарантує високу стабільність під час використання і захист від деформації.

Для забезпечення жорсткості та відсутності вібрацій стійки столів виготовляють з профілю 60 x 60 мм, що дозволяє забезпечити сприймання навантаження 250 кг на кожен стійку, що у версії столу з 4 ніжками ви отримуєте максимальну вантажопідйомність 1000 кг, а з версією столу з 6 ніжками - 1500 кг.

Залежно від необхідних завдань виробництва та робіт, які планується виконувати з використанням зварювальних столів їх плита може мати різну розмірність по розташуванню монтажних отворів. В залежності від діаметра монтажних отворів та сітки їх розташування столи можуть характеризуватися наступними параметрами:

- $\varnothing 16$ мм в сітці 50 x 50 мм;
- діагональ сітки 16 мм;
- $\varnothing 16$ мм в сітці 100 x 100 мм;
- $\varnothing 28$ мм в сітці 100 x 100 мм.

Отвори у зварювальних столах фрезеровані із західною фаскою. Така конструкція отворів впливає на легкість монтажу та демонтажу інструментів та оснастки під час роботи, чітке прилягання отворів до інструментів. Це також сприяє їх меншому спрацюванню. Не має потреби докладати значних зусиль для збирання та розбирання елементів монтажу [19].



Рисунок 1.6 – Типи розмірних сіток розташування монтажних отворів стільниці зварювальних столів

Крок гравіювання на стільниці - це вертикальні і горизонтальні лінії в сітці 100 x 100 мм. Лінії гравіювання використовують як точку відліку при розміщенні конструкції та при монтажі інструментів та оснастки. Використовуючи вимірювальні інструменти можна точно розташувати елементи зварних конструкцій та отримати потрібні розміри зварювального виробу.

Зварювальний стіл повинен бути рівним. Стільниця столу має забезпечувати ідеально рівну робочу поверхню. Це гарантує, що зварні конструкції будуть рівними і точними.

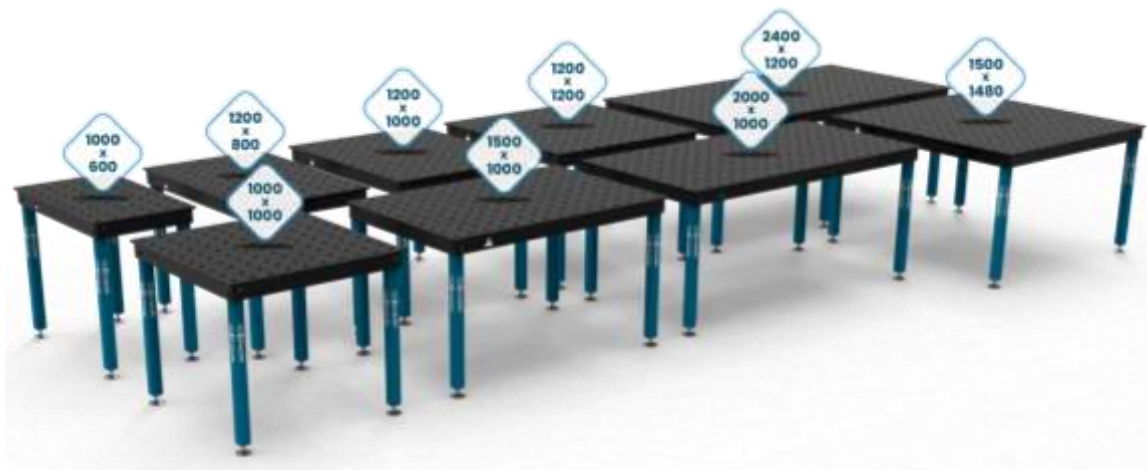


Рисунок 1.7 – Типові розміри стільниць зварювальних столів

Зварювальні столи доступні в різних версіях, розмір яких варіюється від 1000x600 мм до 2400x1200 мм. В залежності від потреб зварювання великогабаритних конструкцій чи виконання дрібних, точних робіт підбираються столи потрібних розмірів.

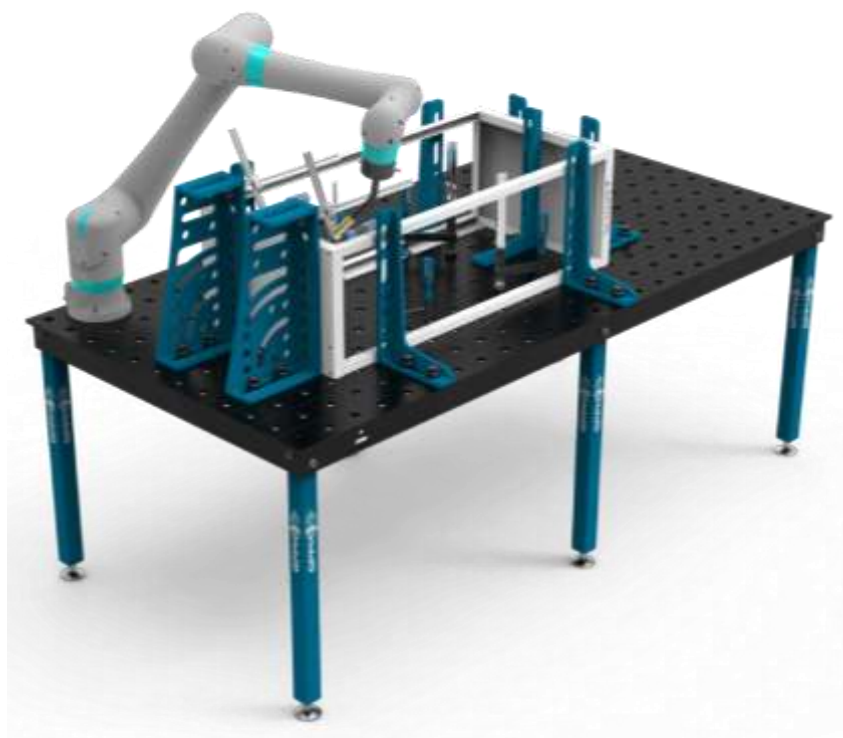


Рисунок 1.8 – Приклад використання зварювального стола зі зварювальним роботом

Завдяки наявності широкої гами розмірних сіток розташування монтажних отворів та їх діаметрів сучасні конструкції зварювальних столів дозволяють

конфігурувати їх відповідно до виробничих потреб. Вибір правильної системи та сітки не обмежує робітників у можливостях створення будь-яких зварних конструкцій.

Проаналізуємо сфери застосування зварювальних столів з різними системами отворів та монтажних сіток [24]:

- Система отворів $\varnothing 28\text{мм}$ в сітці $100\times 100\text{мм}$ - це найбільш універсальна система. Вона ідеально підходить для габаритних, важких зварних конструкцій. Однак, її можна використовувати і для будь-яких інших видів робіт.
- Система отворів $\varnothing 16\text{ мм}$ в сітці $100\times 100\text{ мм}$ - ідеально підходить для більш легких і точних робіт і невеликих конструкцій. Її часто вибирають як основу для роботизованих зварювальних станцій.
- Система отворів $\varnothing 16\text{ мм}$ з діагональною сіткою - пропонує аналогічні можливості, як і системи $\varnothing 16\text{ мм}$ і $\varnothing 28\text{ мм}$ в сітці $100\times 100\text{ мм}$, але додаткові отвори дають більше можливостей для кріплення інструменту.
- Система отворів $\varnothing 16\text{ мм}$ в сітці $50\times 50\text{ мм}$ - ідеально підходить для виконання робіт, що забезпечують розглянуті вище системи, але забезпечує вищу ергономічність робочого місця і більше місць для зберігання інструментів. Така система має ще більше монтажних отворів, ніж системи з діагональною сіткою.

1.6. Мета та завдання досліджень

Виходячи з теми кваліфікаційної роботи її метою є розробка технологічного процесу виготовлення плити для кріплення робота UR 10 на зварювальному столі з обґрунтування параметрів процесу механічної обробки заготовки із застосуванням програмного модуля SOLIDWORKS CAM.

Для досягнення поставленої мета роботи необхідно виконати наступні завдання:

1. проаналізувати конструкцію робота UR 10 та елементів його кріплення;

2. проаналізувати існуючі конструкції зварювальних столів та визначити можливість і особливості кріплення на них зварювального обладнання, інструментів та оснастки;
3. розробити конструкцію перехідної плити для кріплення робота UR 10 на стільниці зварювального стола;
4. вибрати матеріал заготовки та спосіб виготовлення перехідної плити;
5. обґрунтувати параметри процесу виготовлення плити для кріплення робота UR 10 на зварювальному столі за допомогою програмного модуля SOLIDWORKS CAM;
6. розглянути питання безпеки праці під час виготовлення перехідної плити;

Висновки за розділом

Одною із проблем формування сучасних високопродуктивних роботизованих зварювальних комірок є поєднання роботів-маніпуляторів з іншим зварювальним обладнанням. Це стосується і зварювального робота UR 10, конструкція якого не передбачає можливості закріплення його на спеціальному зварювальному столі, плита якого має стандартні кріпильні отвори. Розробка перехідної кріпильної плити для встановлення робота на зварювальний стіл дозволяє вирішити дану проблему.

2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1. Розробка конструкції плити для кріплення робота на зварювальному столі

Згідно інформації, наведеної в п. 1.3, для монтажу робота на горизонтальній поверхні використовуються чотири отвори $\varnothing 8,5$ мм, виконані в провущина основи робота (див. рис. 1.3). При потребі особливо точного монтажу робота, використовуються установочні штифти, запресовані в отвори $\varnothing 8$ на поверхні основи робота. Кріпильні отвори $\varnothing 8,5$ мм забезпечують можливість встановлення кріпильних болтів М8.

Монтувати робот необхідно здійснювати на міцній рівній поверхні, здатній витримати його вагу зі встановленим на ньому зварювальним обладнанням. Крім того монтажна поверхня не повинна створювати додаткових вібрацій.

Як бачимо з рис. 1.3 кріпильні отвори основи робота розташовані на колі $\varnothing 170 \pm 0,5$ мм відносно вертикальної осі основи. В горизонтальній площині вони зміщені на кут 45° відносно осі координат. Габарит основи робота становить 200 мм. Отже, перехідна монтажна плита має повторювати контур основи робота, мати кріпильні та установочні отвори.

Оскільки робот UR 10 на використовується для виконання зварювальних робіт, то він буде встановлюватись на стільниці зварювального стола. Наведений в п. 1.5 аналіз конструктивних особливостей зварювальних столів дозволяє встановити вихідні дані для конструювання перехідної плити.

Робот буде встановлюватися на зварювальному столі, товщина стільниці якого становить 12 мм. Даний розмір є визначальним для вибору болтів кріплення плити до стільниці стола [24].



Рисунок 2.1 – Товщина стільниці зварювального стола

Так як стільниці зварювальних столів можуть мати стандартні монтажні отвори діаметром $\varnothing 16$ мм і $\varnothing 28$ мм розташовані по сітці 100x100 мм або 50x50 мм, то перехідна монтажна плита має мати кріпильні отвори, які дозволяють кріпити робот в отворах різних стільниць зварювальних столів. На рис. 2.2 наведено робоче креслення запропонованої плити.

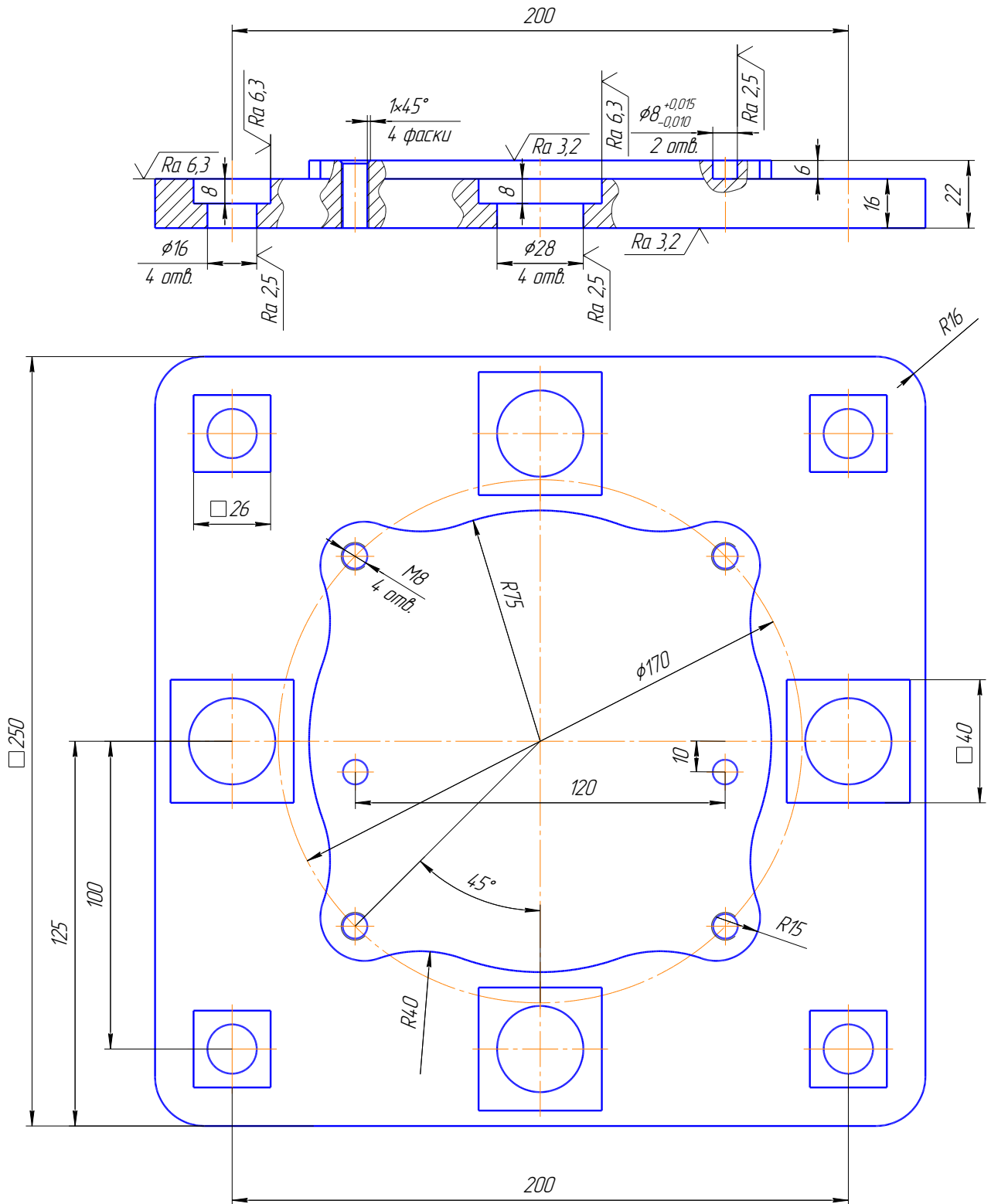


Рисунок 2.2 – Плита кріплення робота UR 10 на зварювальному столі

Плита для кріплення робота на зварювальному столі (рис. 2.2) має представляє собою прямокутну пластину 250x250 мм і товщиною 16 мм з радіусами заокруглення кутів 16 мм. В центрі плити виконано виступ висотою 6 мм, якій точно повторює контур основи робота. На площині виступу на колі $\varnothing 170 \pm 0,5$ мм виконані кріпильні отвори з різзю М8. Ці отвори також зміщені на кут 45° відносно осі координат горизонтальній площині і виконані напрохід. Також на поверхні виступу виконані два установчих отвори $\varnothing 8^{+0,015}_{-0,010}$ та глибиною 6 мм, в які можуть входити установчі штифти. Ці отвори розташовані симетрично на відстані 120 мм один від одного та зміщені відносно осі x на 10 мм.

Завданням проектування було передбачити в проектованій конструкції плити можливість кріпити за її допомогою робота на зварювальних столах, стільниці яких мають монтажні отвори $\varnothing 16$ мм і $\varnothing 28$ мм. Для цього, по кутах плити виконано чотири наскрізні отвори $\varnothing 16$ мм. Відстань між отворами становить 200 мм, що дозволяє кріпити робота на відповідній плиті з сіткою отворів 100x100 мм.

Для забезпечення можливості кріплення робота на столах з монтажними отворами $\varnothing 28$ мм, в плиті виконано ще чотири наскрізні отвори $\varnothing 28$ мм. Дані отвори зміщені від попередніх на кут 90° і розташовані на осях симетрії плити. Відстань між ними також становить 200 мм, що теж дозволяє кріпити робота на столах з сіткою отворів 100x100 мм.

Для кріплення плити до поверхні стільниці зварювального стола будуть використовуватися болти з квадратною головкою М16x35 та М27x50, виготовлені зі сталі 35 з клас міцності 6.6 (рис. 2.3). Для встановлення та фіксації болтів отвори під них мають прямокутні заглиблення глибиною 8 мм і розмірами 26x26 мм і 40x40 мм відповідно.



Рисунок 2.3 – Кріпильний болт М16x35 з квадратною головкою

2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності запропонованої конструкції полягає в оцінці можливості її виготовлення за заданим кресленням та в наявних виробничих умовах. Виконаємо оцінку технологічності плити за наявним її креслеником (рис. 2.2).

Технологічність можна оцінювати за якісними та кількісними показниками. Деталь буде вважатися технологічною, якщо її конструкція дозволяє використовувати заготовки, форма та розміри яких є раціональними та максимально наближеними до форми й розмірів готової деталі. При цьому мають застосовуватися високоефективні процеси її обробки.

Основними вимогами до технологічності виробу є [1, 26, 32]:

- вибір матеріалу заготовки має відповідати вимогам щодо якості її поверхневого шару;
- пріоритетним є скорочення кількості установок заготовки в процесі її обробки;
- має бути передбачена можливість використання типових ріжучих інструментів та вимірювальних пристроїв;
- підтримання високоефективних умов роботи ріжучого інструмента;
- можливість уніфікації форми і розмірів конструктивних елементів виробу, що дозволяє виконувати їх обробку мінімальною кількістю інструменту та використовувати для цього типові підпрограми для верстатів з ЧПК.

Провівши якісний аналіз технологічності проекрованої плити можна стверджувати, що:

1. Конфігурація виробу та матеріал, з якого його виготовляють, дозволяє застосовувати стандартні заготовки, які виключають потребу виконання додаткових заготівельних робіт;

2. Конструкція виробу має прості геометричні форми, що дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки. Плита має зручна та надійна технологічну базу.

3. Вказані на кресленнику вимоги до точності розмірів та форми деталей є обґрунтованими.

4. Заготовка та готова деталь мають достатню жорсткість.

5. В конструкції деталі передбачено можливість зручного доступу інструменту до зон обробки всіх конструктивних елементів.

6. Базування заготовки забезпечує вільний вхід та вихід інструменту, та доступ для контролю міжопераційних розмірів.

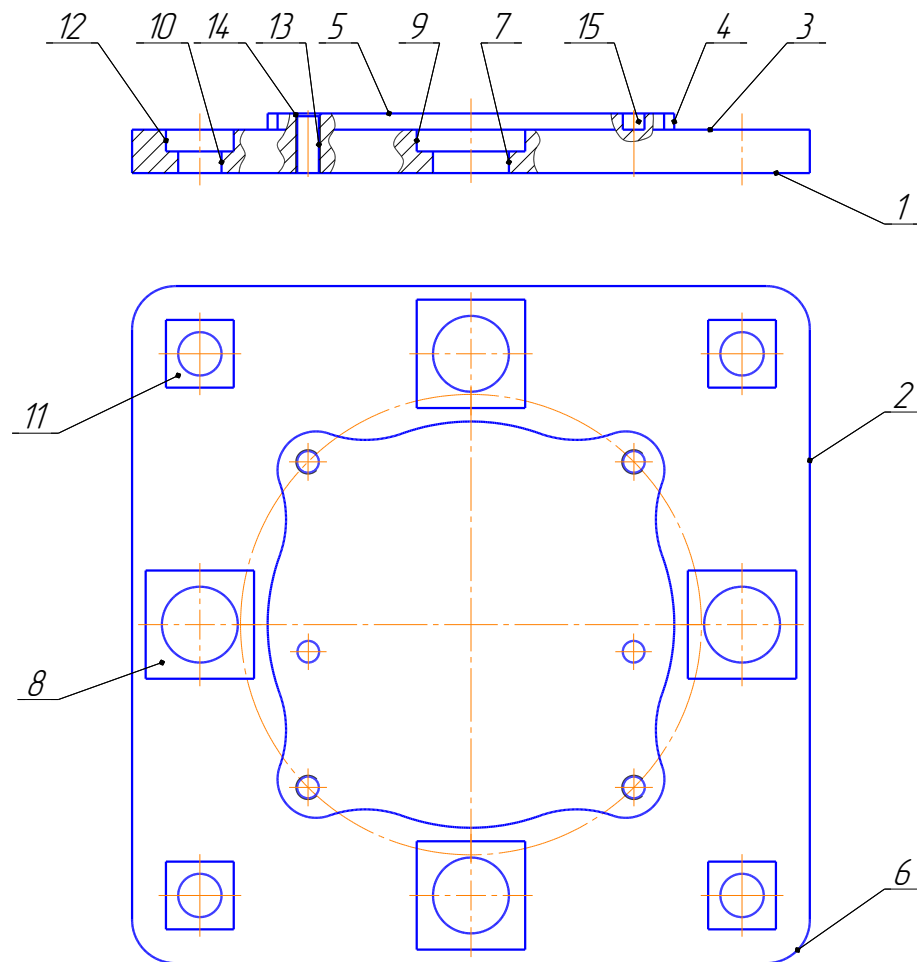


Рисунок 2.4 – Аналіз конструктивних елементів та поверхонь виробу

Усі наявні поверхні і конструктивні елементи деталі є типовими. Виняток становить криволінійна поверхня 4, яка повторяє контур основи опори робота. Хоча, дана поверхня формується шляхом поєднання радіусів 75 мм і 15 мм спряженнями з радіусом 40 мм.

В конструкції перехідної плити присутні наступні елементи та поверхні:

1, 2, 3, 5, 8, 9, 11, 12 – плоскі поверхні;

4, 6 – криволінійні поверхні;

7, 10 – внутрішні циліндричні поверхні (наскрізний отвір);

13 – різьбовий отвір;

14 – фаска;

15 – внутрішня циліндрична поверхня (глухий отвір).

Кількісну оцінку технологічності конструкції плити проводимо за коефіцієнтами [32], користуючись рисунками 2.2 та 2.4:

1. Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_3}, \quad (2.1)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса деталі згідно кресленика, кг;

M_3 – маса матеріалу заготовки, кг.

$$K_{\text{вм}} = \frac{2,73}{4,22} = 0,65$$

2. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{то}} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{д}}}, \quad (2.2)$$

де $T_{\text{н}}$ – кількість розмірів, які мають необґрунтований ступеня точності обробки;

$T_{\text{д}}$ – загальна кількість розмірів, які будуть оброблятися.

$$K_{\text{то}} = \frac{3}{18} = 0,17$$

3. Коефіцієнт шорсткості оброблюваних поверхонь деталі:

$$K_{\text{ш}} = \frac{\text{Ш}_{\text{к}}}{\text{Ш}_{\text{о}}}, \quad (2.3)$$

де $\text{Ш}_{\text{к}}$ – кількість поверхонь деталі, шорсткість яких є необґрунтованою, шт.;

$\text{Ш}_{\text{о}}$ – загальна кількість оброблюваних поверхонь деталі, шт.

$$K_{\text{ш}} = \frac{2}{15} = 0,2$$

За якісними та кількісними показниками деталь є досить технологічною.

2.3. Обґрунтування вибору матеріалу виробу

До матеріалів, які застосовуються для виготовлення корпусних деталей висуваються наступні вимоги:

- висока механічна міцність;
- мала вага;
- хороша теплопровідність;
- низький коефіцієнт лінійного розширення;
- висока корозійна стійкість;
- хороші фрикційні властивості.

Кріпильну плиту о зварювального робота пропонується виготовляти з алюмінієвого сплаву 6061-T6 [21].

Алюмінієвий сплав 6061-T6 відноситься до матеріалів зі сплаву алюмінію, магнію і кремнію, має більш високу міцність, ніж алюмінієва пластина зі сплаву 1-ї або 3-ї серії. Пластини з алюмінієвого сплаву мають гарну корозійну стійкість і відмінну зварюваність.

Матеріал 6061-T6 зазвичай підходить до застосування в конструкціях і деталях, які вимагають міцності та легкості. Сплав хорошу міцність, а також пластичність і корозійну стійкість. Він не схильний до корозійного розтріскування під навантаженнями, добре зварюється та має хорошу холодну оброблюваність.

До складу склад алюмінієвого сплаву 6061-T6 входять:

Al – 98,65 %;

Si – 0,40...0,8 %;

Fe – до 0,7 %;

Cu – 0,15...0,40 %;

Mn – 0,15;

Mg – 0,8...1,2 %;

Cr – 0,04...0,25 %;

Zn – до 0,25 %;

Ti – до 0,05 %;

Інші домішки – до 0,05 %.

Матеріал має наступні механічні властивості:

Міцність на розтяг - 180 (МПа);

Твердості – 95...100 НВ;

Межа текучості - ≥ 110 (МПа);

Відносне видовження - ≥ 14 %;

Межа міцності - 150 (МПа).

Через те, що алюмінієвий сплав 6061-T6 має хороші фізико-механічні властивості, його рекомендується використовувати в різних промислових конструкціях і деталях, виготовлення болтів кріплення, панелей суден і елементів корабельні лайнерів. Він добре підходить для обробки на прецизійних токарних верстатах. Також його застосовують в аерокосмічній промисловості, авіації, військовій промисловість, меблях та побутовій техніці.

Для визначення маси проектованої деталі скористаємося 3D-моделлю плити, побудованої в середовищі Solidworks 2025.

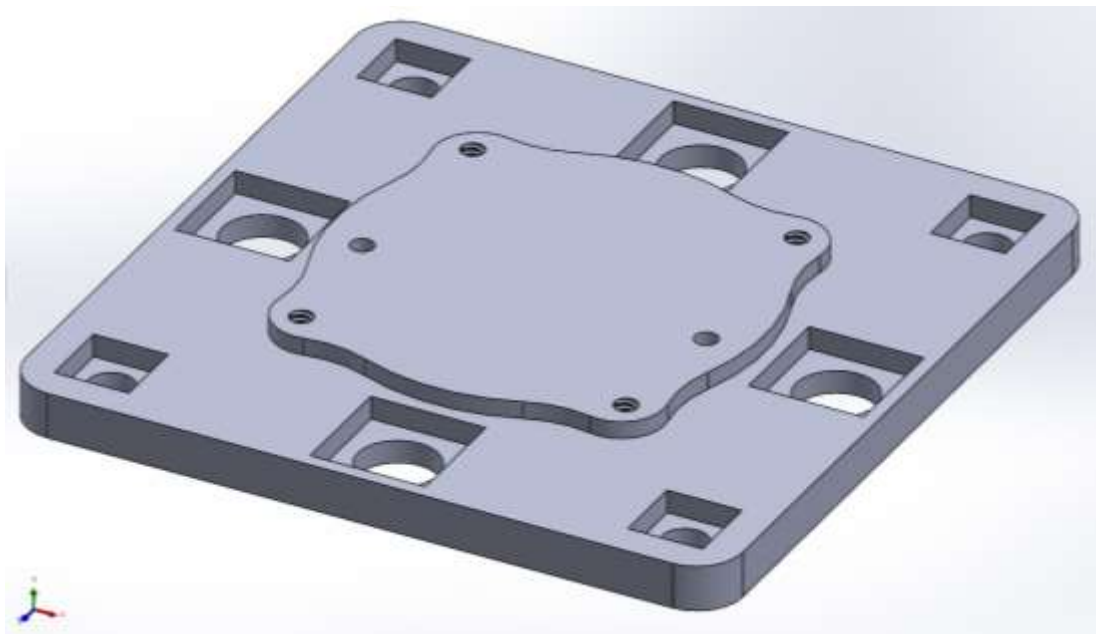


Рисунок 2.5 – 3D-моделлю плити

Масу деталі будемо визначати для матеріалу «вуглецева сталь». Для визначення маси скористаємося вкладкою: «Аналіз» → «Масові характеристики».

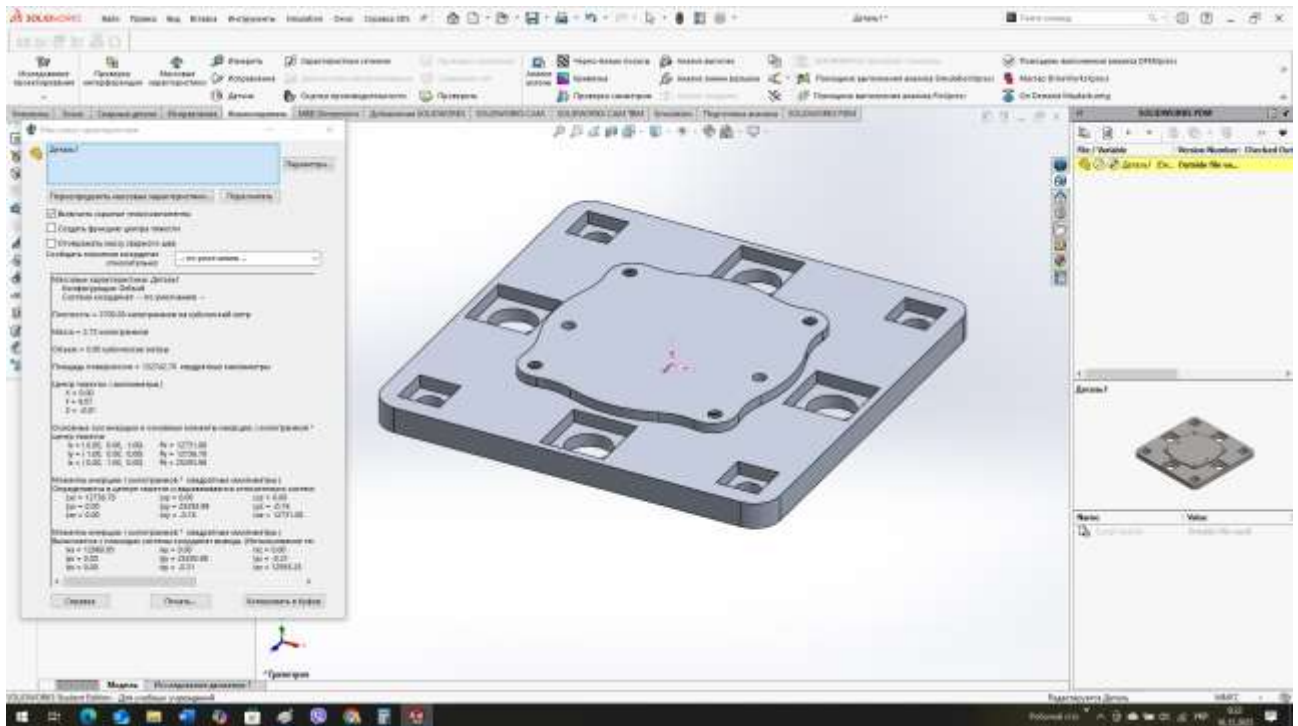


Рисунок 2.6 – Визначення маси деталі в середовищі Solidworks 2025

Для зручності в налаштуваннях параметрів вимірювання, в налаштуваннях користувача задаємо значення маси в кілограмах, а об'єму – в м^3 .

Отже, при виготовленні плити кріплення робота з алюмінієвого сплаву з густиною 2700 кг/м^3 маса деталі становитиме 2,73 кг.

Масу заготовки визначаємо аналогічним способом, побудувавши модель заготовки (рис. 2.7).

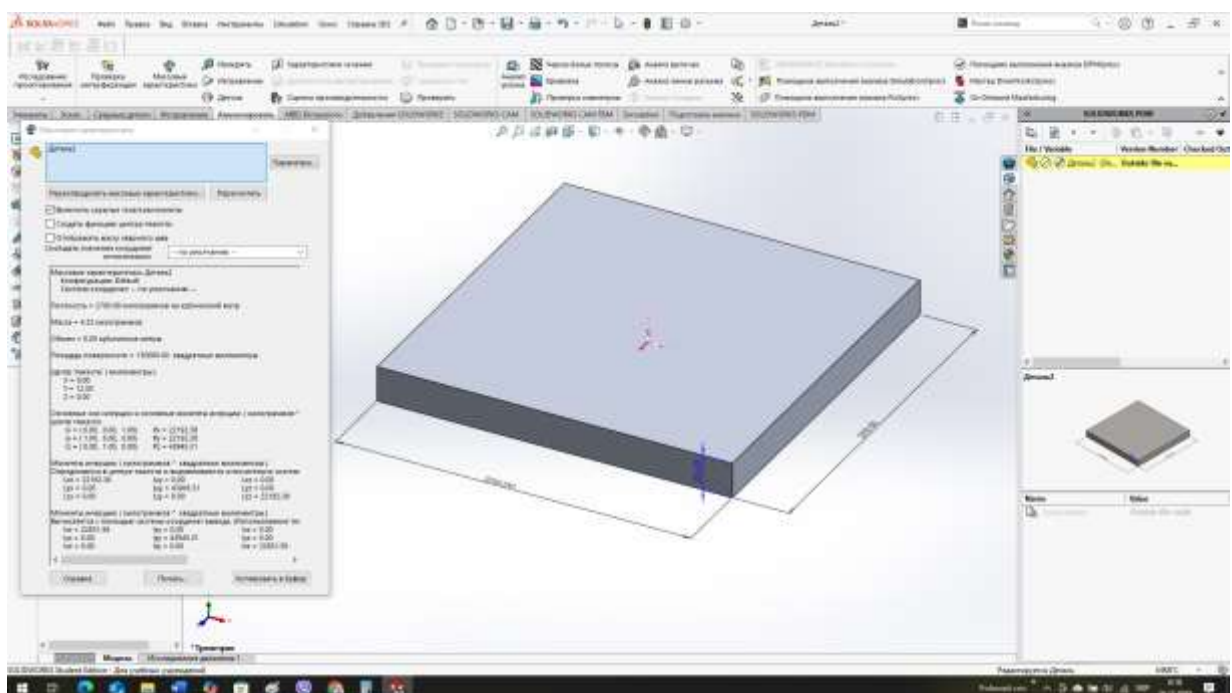


Рисунок 2.7 – Визначення маси заготовки в середовищі SOLIDWORKS 2025

Для виготовленні плити кріплення робота буде використовуватись заготовка 254x254x25 мм, маса якої становитиме 4,22 кг.

Висновки за розділом

Запропонована конструкція перехідної кріпильної плити дозволяє кріпити на ній робот UR 10, використовуючи наявні на ньому привалочні площини, кріпильні та установчі отвори. Кріпильні отвори плити мають діаметр і розташовані таким чином, що дозволяють встановлювати її на зварювальних столах, плити яких мають стандартні отвори діаметром 16 мм та 28 мм.

Розроблене робоче креслення та 3D-модель плити дозволяє використати програмне забезпечення Solidworks CAM для розробки технологічного процесу виготовлення деталі та створення керуючої програми для верстата з ЧПК.

3. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЛИТИ

Плита для кріплення робота до зварювального стола є поєднанням в одній конструкції корпусної та фланцевої деталі. Процес виготовлення таких виробів має свої особливості і характеризується особливими вимогами щодо його виконання. Розглянемо основні з них.

3.1. Технічні вимоги до виготовлення корпусних деталей

Конструкція корпусної деталі, яка має установчі та приєднувальні поверхні, повинна забезпечувати необхідну точність взаємного розташування встановлених за її допомогою деталей в неробочому стані та під час експлуатації вузла чи механізму. Вони також мають забезпечувати плавність роботи та не допускати сторонніх вібрацій. Під час конструювання та виготовленні корпусних деталей обов'язковим є забезпечення необхідної точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, а також забезпечення достатньої міцності, жорсткості, вібраційної стійкості, не допускати температурних деформацій, мати потрібну герметичність, високу технологічність і володіти зручністю монтажу.

До конструкцій корпусних деталей можна ставити наступні вимоги [26]:

- неробочі поверхні слід виготовляти без застосування операцій обробки різанням. Тип заготовки при цьому ролі не має;
- заготовки мають мати надійні бази для правильної орієнтації деталі та забезпечувати необхідну жорсткість на подальших етапах обробки;
- для того щоб не було деформації заготовки під час її закріплення та обробки к конструкції деталі мають бути передбачені ребра жорсткості;
- поверхні, які мають оброблятись різанням і знаходяться на одній стороні заготовки, слід обробляти на прохід;
- під час проектування корпусної деталі не рекомендується закладати в ній отвори, глибиною понад 8 – 10 діаметрів;

- співвісні отвори слід проектувати зі зменшенням діаметрів в одному напрямку, або ж з обох боків деталі до її середини;
- оброблювані лощини рекомендують розташовувати на одному рівні для їх обробки на прохід за один робочий хід інструменту без зупинки і переналагодження верстата;
- конструкція деталі повинна забезпечувати вільний доступ до усіх оброблюваних поверхонь;
- міжосьові відстані отворів слід задавати з можливістю їх обробки на багатопиндельних верстатах;

Технологічний процес механічного обробки корпусних деталей має забезпечувати:

- точність форми базових поверхонь у всіх напрямках;
- точність відносного положення базових поверхонь у спільній, паралельній або перпендикулярній площинах;
- точність відстані між осями сусідніх отворів або площинами, чітку співвісність отворів;
- паралельність або перпендикулярність осей отворів та площин.

Діаметри основних отворів в корпусних деталях обробляють за 7-м квалітетом до шорсткості $Ra\ 1,6 - 0,4$ мкм. Точність міжосьових відстаней отворів має забезпечуватись в межах від ± 25 до ± 280 мкм, а точність розмірів від осі отвору до установчої площини має перебувати в межах 6-го - 11-го квалітетів.

Точність форми отворів, допуск круглості і допуск профілю перерізу не повинні перевищувати $0,25 - 0,5$ поля допуску на діаметр. Допуск прямолінійності привалочних площин потрібно задавати в межах $0,05 - 0,20$ мм на всю довжину, а допуск площинності поверхонь ковзання – $0,05$ мм на 1 м їх довжини.

Допуск співвісності отворів задають в межах половини поля допуску на діаметр меншого отвору. Допуск перпендикулярності торцевої поверхні до осі отвору має бути в межах $0,01 - 0,1$ мм на кожні 100 мм радіусу [13].

Шорсткість поверхонь отворів в корпусних деталях має бути в межах $Ra\ 1,6 - 0,4\ \mu\text{м}$ (7-ий квалітет); $Ra\ 0,4 - 0,1\ \mu\text{м}$ (бій квалітет). Шорсткість поверхонь прилягання має бути в межах $Ra\ 6,3 - 0,63\ \mu\text{м}$, поверхонь ковзання $Ra\ 0,8 - 0,2\ \mu\text{м}$, а торцевих поверхонь $Ra\ 6,3 - 1,6\ \mu\text{м}$.

3.2. Вибір схеми базування корпусної деталі

Корпусні деталі під час обробки базують за принципом дотримання постійності і суміщення баз. Технологічні бази слід обирати так, щоб при встановленні на першій операції по заданій чорновій базі існувала можливість обробки чистової бази, за допомогою якої в подальшому можна було-б здійснювати наступні операції обробки заготовки.

Під час виконання технологічного процесу механічної обробки корпусної деталі можуть застосовувати два варіанти підготовки базових поверхонь. Перший полягає в тому, що спочатку повністю обробляють установчу площину, яку в подальшому приймають її за установчу базу і вже відносно неї здійснюють обробку усіх інших точних поверхонь. Суть другого полягає в тому, що спочатку повністю обробляють наявні в деталі отвори, а вже відносно них обробляють площини. Застосування першого способу є більш частим та зручнішим. Однак, при ньому важче витримувати точні розміри діаметрів отворів і віддалей від них до площини [1].

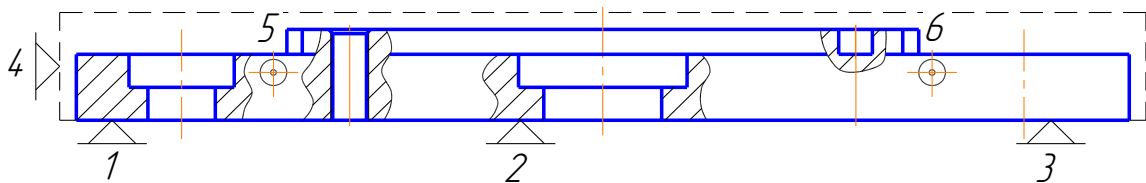


Рисунок 3.1 – Схема базування заготовки під час її механічної обробки

Для процесу механічної обробки заготовки під час виготовлення плити для кріплення робота методом фрезерування вибираємо спосіб базування за трьома взаємно-перпендикулярними площинами. На рис. 3.1 зображено схема такого базування.

3.3. Вибір методів обробки заготовки

Деталь «Плита» відноситься до корпусних деталей. В її конструкції переважають плоскі поверхні. Найбільш поширеним та технологічним з точки зору простоти виконання способом їх обробки є фрезерування. Фрезерну обробку заготовки можна розділити на чотири окремі процеси [4]:

- 1 – торцеве фрезерування базової площини (рис. 3.2,а);
- 2 – фрезерування контуру деталі методом фрезерування виступів (рис. 3.2,б);
- 3 – фрезерування заглиблень (рис. 3.2,в);
- 4 – різьбофрезерний (рис. 3.2,г).

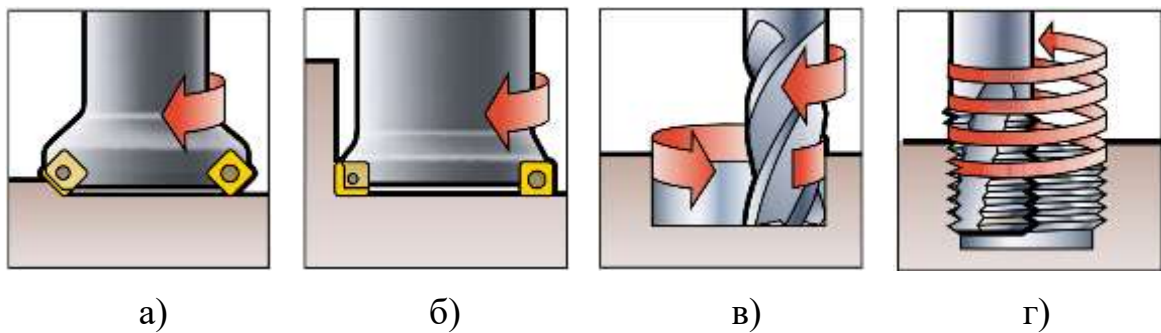


Рисунок 3.2 – Види фрезерних операцій

Фрезерування є одним із самих універсальних методів обробки. Протягом останніх кількох років фрезерування еволюціонувало в тип обробки, який має багато способів та методів. Разом із використанням багатоосьових верстатів, це дозволяє з високою продуктивністю обробляти плоскі поверхні, отвори, кишені, поверхні обертання, різьблення тощо. Розвиток конструкцій фрезерного інструменту також робить значний внесок у зростання продуктивності, надійності та підвищення якості продукції. Все це забезпечується новітніми технологіями виробництва змінних пластин та цільного твердосплавного інструменту.

Верстати для фрезерування можуть бути керованими вручну, механічно автоматизованими або мати систему числового програмного керування (ЧПК).

Традиційно, на 3-осьових фрезерних верстатах обробляються площини, виступи та пази. З огляду на зростаючу потребу в обробці поверхонь і форм, які відрізняються від описаних вище, кількість п'ятикоординатних обробних центрів та багатоцільових верстатів також постійно зростає.

Сьогодні верстати розвиваються у всіх напрямках. Сучасні чотири- та п'ятикоординатні токарні верстати мають можливість фрезерування за допомогою приводного інструменту, а обробні центри мають можливість виконувати токарні операції. Розвиток САМ-систем полегшує використання п'ятиосьової обробки.

3.4. Аналіз способів фрезерування, інструменту та особливостей його застосування

3.4.1. Фрезерування плоских поверхонь

Торцеве фрезерування базової площини (поверхня 1 на рис. 2.4) виконується для формування технологічної бази під виконання наступних технологічних операцій та переходів.

При фрезеруванні площин та уступів торцевою та периферійною частиною фрези одночасно може проводитися обробка двох поверхонь. Головною вимогою до процесу є перпендикулярність горизонтальної площини та вертикальної стінки. Для обробки площин можна використовувати збірні фрези зі змінними пластинами і кутом у плані 90° , цільними кінцевими фрезами, довгокромковими та пазовими фрезами. Завдяки такому великому вибору важливо врахувати технічні вимоги під час вибору інструменту для отримання раціонального рішення.

При обробці площин та невисоких виступів фрезами з кутом у плані 90° зазвичай досягається гарна перпендикулярність. Кращим вибором для точної та легкої обробки є фреза CoroMill 490. Вона здатна забезпечити високу точність обробки багатопрхідним методом, утворюючи мінімальні перепади між проходами. Фрези CoroMill 390 мають широкий асортимент пластин, включаючи

повний ряд пластин з радіусами, що дозволяє використовувати їх в широкому діапазоні операцій [11].

Таблиця 3.1 – Інструмент для фрезерування площин та виступів

	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 290	CoroMill® Century	CoroMill® 331
					
Діаметр фрези (D_c), мм	20 – 80	40 – 200	40 – 250	40 – 200	80 – 315
Макс. глибина різання (a_p), мм	5,5	15,7	10,7	10	10,6
Забезпечення перпендикулярності	+++	++	+	+	++
Оброблюваний матеріал					

Фреза CoroMill Century – хороший вибір для високошвидкісної фінішної обробки алюмінію, також придатна для обробки інших матеріалів.



Рисунок 3.3 – Схема обробки площини фрезеруванням

Всі фрези для обробки площин і невисоких виступів широко універсальні та деколи можуть застосовуватись і для обробки отворів. Фрези з кутом у плані 90° є гарною альтернативою торцевим фрезам, особливо при ймовірності прогину площині при її обробці або фрезеруванні закритого кишень із тонкими стінками. Універсальна тристороння фреза CoroMill 331 застосовується для обробки пазів, також може бути використана для обробки широких, неглибоких

виступів. Ще можливе її застосування для деяких спеціальних видів обробки, наприклад, таких як фрезерування з внутрішнього боку.

Метод попутного фрезерування є кращим, коли важливо отримати високу геометричну точність. Обробка площин повинна здійснюватися таким чином, щоб зусилля різання по можливості були спрямовані до опорних точок оснастки верстата. Зустрічне фрезерування можна застосовувати тільки в окремих випадках.

Вибір кроку фрези залежить від ступеня стабільності всієї системи в цілому, включаючи верстат, жорсткість заготовки та її закріплення, а також характеристик оброблюваного матеріалу. На верстатах з розміром шпинделя ISO 40 і менше через їх обмежену жорсткості рекомендується працювати фрезами із великим кроком зубів. Їх також рекомендуються для обробки деталей, закріплених за допомогою універсального налагоджувального пристрою.

Взаємне розташування фрези та заготовки є особливо значущим фактором, на який слід звертати особливу увагу. При $D_c/a_e > 10$, подача f_z повинна бути скоригована відповідно до значення h_{ex} для досягнення хороших результатів обробки та з метою уникнення поломки ріжучої кромки [10].

Якщо висота виступу менше 75 % від довжини ріжучої кромки, поверхня вертикальної стінки, як правило, не вимагає наступної чистової обробки.

Для даного процесу слід обирати пластини з твердіших марок сплаву, ніж для торцевого фрезерування.

Робота довгокромкових фрез CoroMill характеризується несприятливими умовами різання, у зв'язку з чим замість них рекомендується обирати пластини із сплавів підвищеної твердості.

Чим більша глибина різання, тим чутливішою є система до вібраціям і тому обробку рекомендується вести на знижених швидкостях.

При виникненні вібрацій, необхідно зменшити швидкість різання v_c і збільшити f_z , але за умови дотримання рекомендацій щодо товщини зрізається стружки h_{ex} .

Перед початком роботи потрібно обов'язково переконайтися, що потужності верстата відповідає вибраним режимам фрезерування.

3.4.2. Фрезерування виступів

Метод фрезерування високих виступів використовується для формування виступу на поверхні плити, а також для контурної обробки деталі. Його виконують за кілька проходів з використанням торцево-циліндричних та кінцевих фрез.

Мінімізувати сходинки на відфрезерованій поверхні, які є межами проходів, можна лише за допомогою використання фрези високої точності, яка здатна забезпечити 90° перпендикулярність стінки. Якщо висота виступу менша від 75 % довжини ріжучої кромки, вертикальна поверхня, як правило, не потребує подальшої чистової обробки.

Довгокромкові фрези підходять для обробки більше високих, протяжних виступів, що вимагають зняття великого об'єму металу. Вони забезпечують високу швидкість видалення матеріалу. Їх, зазвичай, використовують для чорнового фрезерування, через те, що на обробленій поверхні утворюються риски між рядами пластин. Дані фрези висувають підвищені вимоги до таким складовим процесу різання: стабільність, стан шпинделя, видалення стружки, система кріплення інструменту, енергоспоживання. Значні радіальні зусилля зумовлюють високу складність виконання операції.

Довгокромкові фрези короткого виконання рекомендуються для [11]:

- обробка невисоких, але широких виступів;
- обробка паза на повну ширину, рівну діаметру інструменту.



Рисунок 3.4 – Схема обробки виступів фрезеруванням

Довгокромкові фрези подовженого виконання рекомендуються для фрезерування виступів з помірною радіальною глибиною різання та фрезерування за контуром на потужних верстатах.

Для обробки невеликих, але розташованих глибоко виступів слід використовувати подовжені фрези. Для обробки більш віддалених місць використовуйте подовжувачі Coromant Capto.

Довгокромкові фрези також доступні у подовженому виконанні для особливо глибоких виступів. Однак у цьому випадку слід обмежити ширину різання.

Таблиця 3.2 – Кінцеві фрези для фрезерування виступів

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 390 С демпфером	CoroMill® 790
						
Діаметр фрези (D_0), мм	10 – 20	10 – 25	20 – 80	12 – 40	20 – 40	25 – 100
Макс. глибина різання (a_p), мм	38	11	5,5	15,7	10	12 / 18
Забезпечення перпендикулярності	+++	+++	+++	++	++	++
Оброблюваний матеріал						

Фрези зі змінними пластинами та цільні твердосплавні фрези являють собою прекрасне рішення для обробки виступів, які вимагають збільшеного вильоту інструменту. Найкращим вибором є універсальна фреза CoroMill 390. Її виконання із вбудованим демпфер дозволяє вести ефективну обробку глибоко розташованих поверхонь.

Фреза CoroMill 790 хорошим вибором для обробки заготовок із кольорових металів, а цільнотвердосплавна кінцева фреза CoroMill Plura має величезну кількість різноманітних геометрій і підходить для виконання операцій фрезерування в найрізноманітніших умовах [11].

Таблиця 3.3 – Довгокромкові фрези для фрезерування виступів

	Довгокромкова фреза CoroMill® 390	Довгокромкова фреза CoroMill® 690	Довгокромкова фреза для чистової обробки
			
Діаметр фрези (D_c), мм	32 – 200	50 – 100	50 – 80
Макс. глибина різання (a_p), мм	85	112	150
Забезпечення перпендикулярності			+++
Оброблюваний матеріал			

Довгокромкові фрези зазвичай використовуються для обробки глибоких виступів. Для загальної чорнової обробки у стабільних умовах найкраще підходять фрези CoroMill. Для обробки титану рекомендується вибирати фрези сімейства CoroMill 690.

Серед усіх фрез даного типу, довгокромкова фреза для чистової обробки забезпечує найкращі результати щодо якості обробленої поверхні. Крім того, усі перераховані вище фрези підходять для контурної обробки та фрезерування кругових ребер жорсткості

Особливу увагу слід приділяти вимогам щодо потужності, необхідної на здійснення навантажених проходів, що мають місце при обробці довгокромковими фрезами. Надійність закріплення інструменту також має величезний вплив на результати обробки фрезами діаметром менше ніж 50 мм.

Зі збільшенням глибини різання важливішого значення набуває розмір та стабільність з'єднання інструменту. Це пояснюється значними радіальними зусиллями різання при обробці прямокутних виступів, особливо довгокромковими фрезами. З'єднання Coromant Capto забезпечує максимальний рівень стабільності та мінімальне відхилення всіх типів фрез, що має вирішальне значення під час роботи зі збільшеним вильотом. Також потрібно забезпечувати безперервний контакт фрези та заготовки.

Під час обробки прямокутних виступів плавний вхід фрези в процес різання дуже важливий з погляду вібраційної стійкості, а також забезпечення належної стійкості інструменту. Слід програмувати врізання інструменту по плавній дузі таким чином, щоб товщина стружки, яка зрізається на виході зубів з різання, дорівнювала нулю. Дотримуючись даних рекомендацій, можна виконувати врізання з високою подачею та більш тривалим періодом стійкості інструмент. Даний метод найчастіше застосовують для операцій обробки зовнішніх кутів, тому що він дозволяє уникати великих навантажень при врізанні.

3.4.3. Фрезерування отворів та западин

Обробку отворів та западин для встановлення і фіксації кріпильних болтів пропонується виконувати одним із спеціальних методів фрезерування [4, 11].

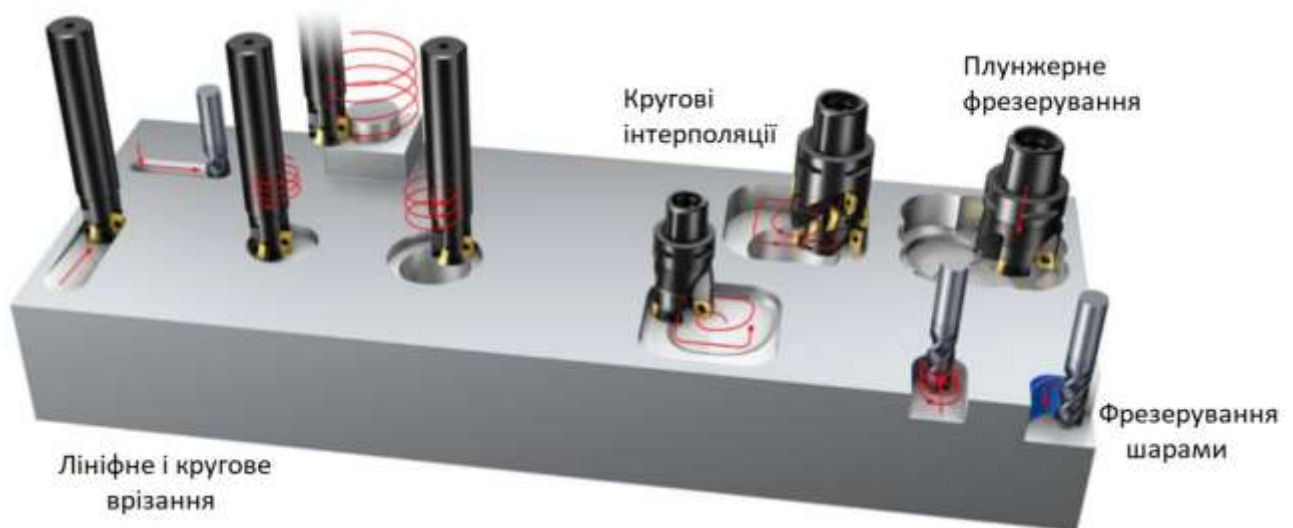


Рисунок 3.5 – спеціальні методи фрезерування

Отвори в пластині на нашу думку краще за все виконувати методом свердління з наступним фрезеруванням методом кругової інтерполяції. Перевагами цього методу є висока швидкість видалення матеріалу при обробці вибірки некруглої форми. Також він підходить для обробки деталей авіаційного спрямування з титану. Однак можуть виникати певні складності з програмуванням процесу.

Як і свердління, розточування найчастіше є найшвидшим методом обробки отвору. Однак з низки причин, розфрезерування іноді може бути альтернативою розточування. Основними методами розфрезерування є: гвинтова інтерполяція з врізанням по трьох осях та розфрезерування з врізанням по 2 осях. Перший метод переважно застосовувати для обробки отвору, глибина якого більша за максимальне значення a_p і в разі підвищеного ризику виникнення вібрацій. Даний метод також дозволяє досягти кращого значення круглості та співвісності отвору, особливо при великому вильоті інструмента. Круглість отвору при розфрезеруванні з врізанням по двох осях та гвинтовій інтерполяції з врізанням по трьох осях також можна покращити, застосовуючи стратегію обробки, при якій обертається не фреза, а заготовка [10].

Розфрезерування заглиблень плунжерним фрезеруванням вимагає попереднього свердління пілотного отвору в той час як фрезерування вибірки з врізанням під кутом застосовується для цільної заготовки.

Метод врізування по 3 осях має перевагу, оскільки дозволяє за допомогою одного інструменту здійснювати обробку тривимірної поверхні для подальшої профільної обробки. Застосування технології фрезерування з високою подачею дозволяє перерозподілити зусилля різання та мінімізувати ризик виникнення вібрацій. При нежорсткій системі та великих вильотах інструменту цей спосіб може бути єдиним рішенням.

У порівнянні з плунжерним фрезеруванням внутрішня обробка висступів є більш швидкісною операцією, але пред'являє підвищені вимоги до програмування.

Зазвичай після попередньої чорнової обробки заглиблень особливо у кутах заготовки залишається припуск. Для досягнення потрібної форми заглиблення, найближчої до чистового профілю деталі, застосовується плунжерне фрезерування інструмент невеликого діаметру. Альтернативною стратегією обробки, яка використовується для зняття припуску в кутах вибіркою є фрезерування з малою шириною контакту. Різновидом такого методу є триоїдальне фрезерування, яке також рекомендується застосовувати для обробки пазів, кишень тощо.

Метод кругової інтерполяції є альтернативою використання традиційного розточувального інструменту. Кругову інтерполяцію можна застосовувати, використовуючи більшість фрез з кутом у плані 90 градусів, здійснюючи кільцевий прохід.

Одночасне переміщення фрези за трьома координатам X , Y і Z з врізанням під кутом найчастіше використовується для обробки заглиблень та кишень. Даний метод є альтернативою свердлінню з наступним розточування.

Для обробки западин та кишень існує дві основні стратегії обробки [11]:

1. Кругова інтерполяція з врізанням по 3 осях характеризується невеликою глибиною різання a_p . Для неї рекомендується використовувати фрезу з невеликим кутом у плані, CoroMill 210 або відповідну CoroMill 316 чи CoroMill Plura з геометрією, оптимізованою для високих подач. Ще однією альтернативою є круглі пластини.

Технологія фрезерування з високою подачею забезпечує великий об'єм видаленого металу і є першим вибором для менш жорсткого обладнання (наприклад, ISO 40) та для обробки заглиблень зі складним профілем, таких як штампи та прес-форми.

Слід уникати фрезерування вздовж вертикальної стінки, так як втрачається ефект використання малого кута в плані і різко збільшується глибина різання.

Максимальний діаметр фрези для цього способу має бути рівним 1,5 радіусу кута оброблюваного отвору. Гвинтове врізання здійснюється на глибину фрезерування, а траєкторія переміщення - проти годинникової стрілки.

При розфрезеруванні западин максимальне значення $a_c = 70\% D_c$.

Глибина різання для фрез із круглими пластинами 25% іС.

Радіус траєкторії переміщення інструмента в кутку має бути рівний D_c .

2. Кругове розфрезерування (врізання по двох осях) з великою глибиною різання a_p . Для забезпечення хорошого видалення стружки та запобігання повторного її перерізання або зминання в отворі краще використовувати верстат з горизонтальним розташуванням шпинделя (ISO 50). Подачу ЗОЖ слід здійснювати під високим тиском або стиснутого повітря через шпиндель.

D_c не повинен перевищувати 75 % діаметра отвору. Рекомендується використовувати велику осьову глибину різання – максимальне значення якої $a_p = 2 \cdot D_c$.

Захід в отвір рекомендується здійснювати спіральною траєкторією. Потрібно постійно контролювати ширину фрезерування, максимальне значення якої $a_e = 30\% D_c$. Це дозволить забезпечити контроль величини радіального припуску, мінімізацію вібрацій у кутках та підвищення продуктивності:

Під час програмування траєкторії руху використовуйте максимально можливий радіус у кутку та застосовуйте спіральну траєкторію переміщення фрези. Також рекомендується використовувати максимально можливий діаметр фрези (D_c); доопрацювання в кутку слід вести інструментом меншого діаметра, що не перевищує 1,5 радіус в кутку.

3.4.4. Фрезерування різьбових отворів

Різьбофрезерна операція є завершальною в технологічному процесі виготовлення плити кріплення робота. Фрезерування різьблення в заготовках, які не обертаються є гарною альтернативою отриманню різьб за допомогою мітчика і навіть може замінити операцію нарізання різьблення токарним різцем.



Рисунок 3.9 – Схема процесу фрезерування різьби

Фрези CoroMill дозволяють нарізати різьблення максимально близько до виступу або до дна отвору. Переривчастий характер різання забезпечує хороше стружковідведення, особливо при обробці в'язких матеріалів.

Таблиця 3.5 – Інструмент для фрезерування різьб

	CoroMill® Plura	CoroMill® 327	CoroMill® 328
			
Крок, мм	0.7 – 3	1 – 4.5	1.5 – 6
Діаметр фрези (D_c), мм	3.2 – 19	11.7 – 21.7	39 – 80
Оброблюваний матеріал			

Кінцеві фрези CoroMill Plura, а також фрези CoroMill 327 та 328 мають пластини зі спеціалізованими геометріями для нарізування різьблень.

Перевагами застосування фрез CoroMill для нарізування різьблень є;

- один інструмент можна використовувати для отримання правого та лівого різьблення;
- один інструмент використовують для великого діапазону діаметрів без обмежень щодо максимально можливого діаметру отвору;
- можна виконувати нарізання різьб впритул до виступів та дна глухого отвору;
- можливість обробки різьб з довільним полем допуску;
- дані фрези є оптимальними при необхідності роботи з великим вильотом без підвищеного ризику виникнення вібрацій;
- забезпечують хороший контроль за стружкоутворенням та надійне відведення стружки;
- мають висока ефективність при обробці загартованих сталей, а також матеріалів з низькою оброблюваністю і поганим стружкодробленням;
- внутрішнє підведення СОЖ сприяє нарізанню різьблень в заготовках та важкооброблюваних матеріалах;
- в разі поломки інструмент легко видалити з отвору без пошкодження заготовки.

При нарізанні різьб фрезами CoroMill 327 та CoroMill 328 одна пластинка використовується для отримання різьблень з різним кроком. Низькі зусилля

різання роблять ці фрези гарною альтернативою для нарізування різьблення в отворах середнього та великого діаметра, а також в умовах низької жорсткості, тобто при роботі з великим вильотом та/або при нарізування різьблення в тонкостінних заготовках. Вони мають невисокі вимоги до потужності, добре підходять для формування великого зовнішнього різьблення на деталях з асиметрією. Рекомендуються до застосування у дрібносерійному та одиничному виробництві.

Фрези CoroMill Plura забезпечують формування різьблення за один круговий оберт інструмента (обіг 360°).

Під час виконання технологічної операції потрібно забезпечувати плавний вхід та вихід фрез CoroMill Plura, CoroMill 327 та CoroMill 328. Перевагу надають є попутному фрезеруванню. При нарізанні різьб у матеріалах підвищеної твердості або інших важкооброблюваних матеріалах доцільніше розділити операцію на кілька проходів, зменшивши a_e .

Висновки за розділом

Запропонована плита для кріплення робота UR 10 на зварювальному столі є технологічною. Вона має ознаки корпусних та фланцевих деталей. Наявні в її конструкції поверхні доцільно обробляти на верстаті з ЧПК методом фрезерування. В технологічному процесі виготовлення деталі переважають операції торцевого і контурного фрезерування. Запропонована технологія також дозволяє виконувати фрезерувати циліндричні та різьбові отвори, використовуючи при цьому стандартний ріжучий інструмент

4. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ SOLIDWORKS CAM

4.1. Вибір верстата та інструментів

Розробку технології та обґрунтування параметрів процесу виготовлення плити для кріплення робота UR-10 до зварювального стола виконуємо з використанням програмного модуля Solidworks CAM. Для цього на першому етапі роботи нами було побудовано 3D-модель плити (див. рис. 2.5) [14, 16].

Для розробки технологічного процесу використовувались базові налаштування програми Solidworks 2025. Майбутній технологічний процес передбачає виготовлення плити методом фрезерування на верстаті з числовим програмним керуванням.

На початку роботи запускався програмний модуль Solidworks CAM, в який завантажувалась попередньо створена 3D-модель плити. Розробка технології виготовлення відбувалася в декілька етапів. Розглянемо кожен з них.

Першим етапом розробки технології виготовлення плити був вибір необхідного верстата. В діалоговому вікні програми доступним є вибір звичайного фрезерного верстата, а також фрезерних верстатів з 4 та 5 осями. Оскільки деталь буде виготовлятися методом фрезерування, ми зупинили свій вибір на фрезерному верстаті, вибравши його з можливого списку.



Рисунок 4.1 – Вибір типу верстата для механічної обробки деталі

Перейшовши до вкладки «Кошик для інструментів» ми можемо бачити наявний перелік інструментів, які в ньому знаходяться, та інструменти, які може використовувати модуль Solidworks CAM для автоматичного створення керуючої програми для верстата з ЧПК. За замовчуванням залишимо кошик 2 та переходимо до вкладки «Постпроцесор». Вибір постпроцесора є однією з головних складових процесу створення керуючої програми для верстатів з ЧПК.



Рисунок 4.2 – Вибір кошика інструментів для механічної обробки деталі

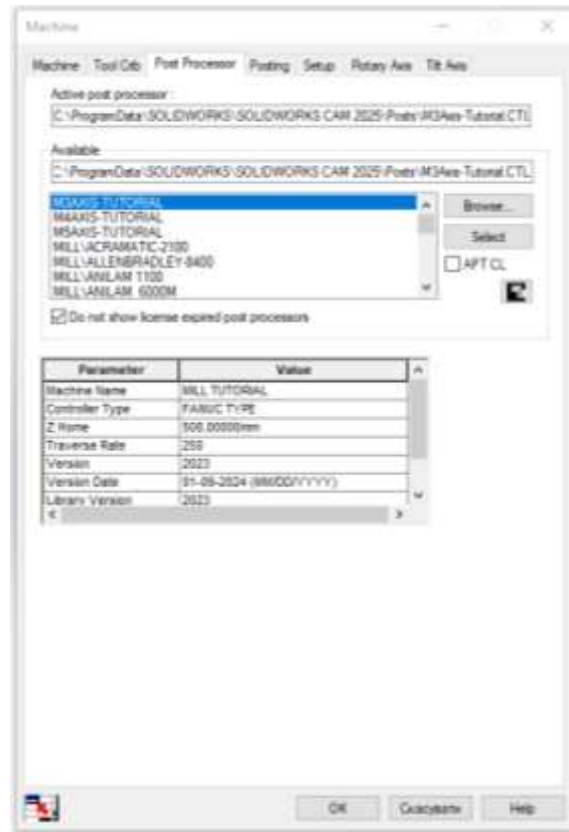


Рисунок 4.3 – Вибір постпроцесора для механічної обробки деталі

В стандартному функціоналі Solidworks CAM закладено кілька постпроцесорів для фрезерування, а також декілька постпроцесорів для токарної обробки. В нашому випадку ми обираємо трьохосьовий постпроцесор M3AXIS-TUTORIAL і переходимо до наступної вкладки, в якій можна налаштовувати параметри постпроцесора. В ній ви можете вибрати, який фактор буде керувати охолодженням: постпроцесор чи інструмент. Для кожного інструменту під час

його створення ви можете задати спосіб охолодження. В нашому випадку налаштування залишаються за замовчуванням [17].



Рисунок 4.3 – Вибір способу охолодження



Рисунок 4.5 – Налаштування додаткової стійки

Наступні три вкладки «Установ», Вісь обертання» та «Вісь нахилу» створені спеціально для додаткових осей, тобто для додаткової стійки, на якій закріплюється деталь. В нашому випадку вони нам не потрібні, тому ми повертаємось на вкладку «Верстат» і завершуємо вибір натиснувши на кнопку «Ok».

4.2. Обґрунтування параметрів заготовки

Наступним етапом розробки процесу та створення керуючої програми є встановлення параметрів заготовки. Для цього відкриваємо менеджер заготовок. В ньому доступні кілька видів задачі параметрів заготовки. Однак спочатку потрібно обрати тип матеріалу заготовки. З переліку наявних матеріалів можна

вибрати низьковуглецеву, середньо- та високолеговану, нержавіючі та інструментальну сталь, різні алюмінієві сплави, ковкий та сірий чавун, пластмаси та інші конструкційні матеріали.

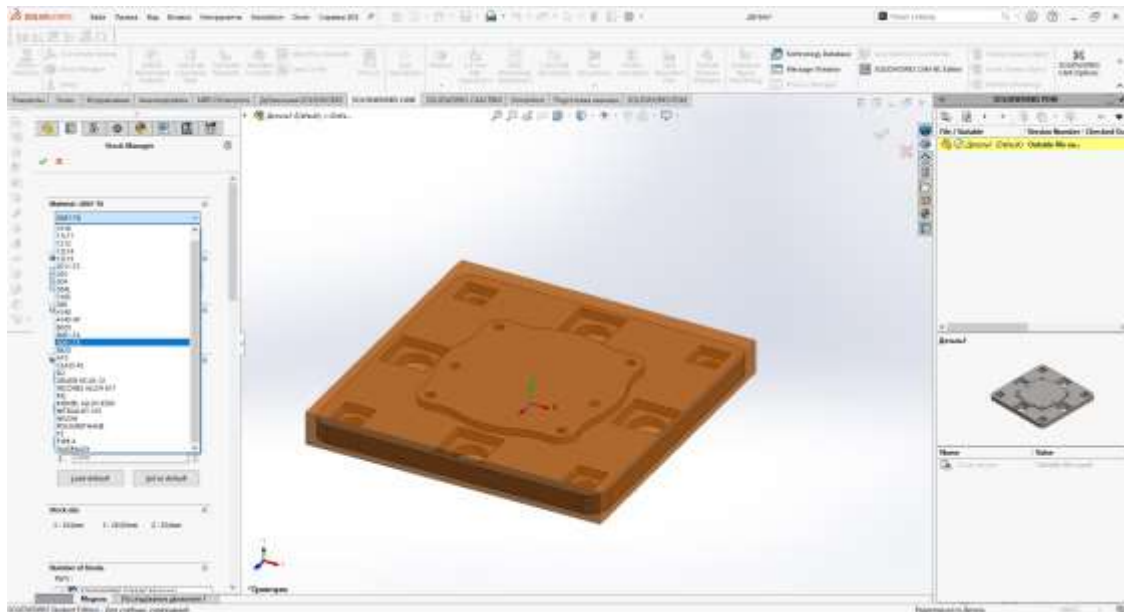


Рисунок 4.6 – Вибір матеріалу заготовки

Далі вибирається тип заготовки. Програма пропонує різні типи заготовок. Серед них можна обрати габаритну заготовку, коли модуль автоматично задає розміри заготовки за габаритами моделі, можна витягнути її з ескізу, коли попередньо створюється ескіз, а потім з нього витягується заготовка. Існує також можливість імпортувати заготовку з xtl-файлу, якщо у вас вже існує певна заготовка і ви з неї хочете створити іншу модель.

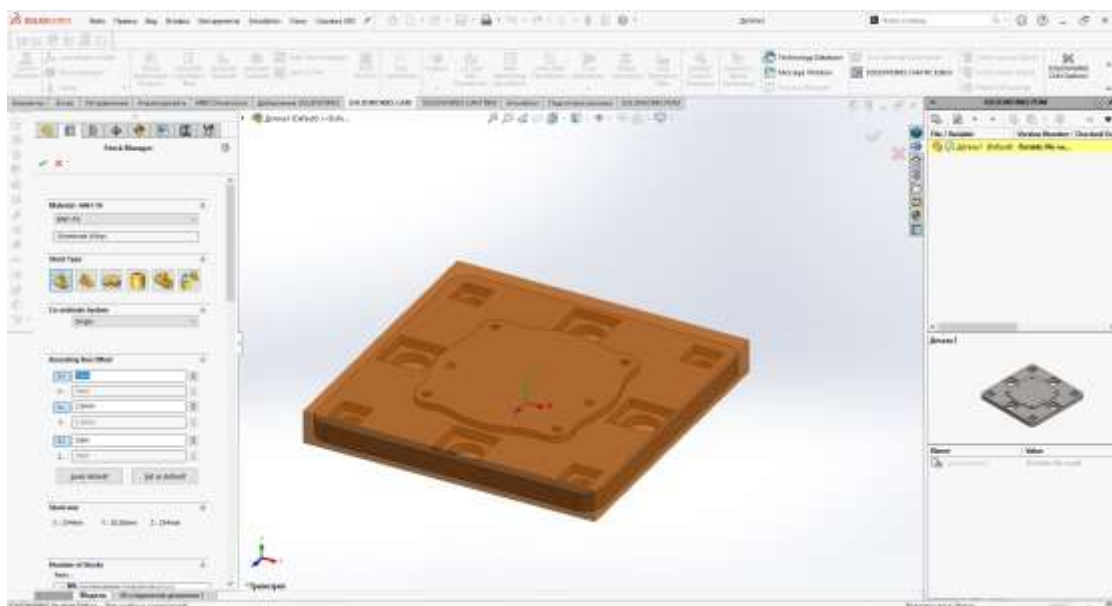


Рисунок 4.7 – Вибір типу заготовки

Вибравши габаритну заготовку можна задати необхідні припуски на механічну обробку, якщо це необхідно [20].

Для заготовки, з якої буде виготовлятися плита для кріплення робота до зварювального стола ми обрали габаритну заготовку з наступним припуском на механічну обробку по осях: $X - 2 \text{ мм}$, $Y - 2,5 \text{ мм}$; $Z - 2 \text{ мм}$.

Наступним етапом був вибір системи координат. Програма пропонує вибрати її двома методами:

1 – система координат SOLIDWORKS – програмний модуль автоматично від'єднується до системи координат, яка вже була створена під час створення моделі деталі;

2 – система координат задається вручну по об'єкту, вершині габаритного паралелепіпеда деталі або вершині габаритного паралелепіпеда заготовки.

В нашому випадку система координат задано по об'єкту, яким є верхня площина деталі.

На даному етапі завершується підготовка програмного модуля SOLIDWORKS CAM для створення керуючої програми для виготовлення плити кріплення робота за допомогою верстата з числовим програмним керуванням.

4.3. Розробка плану обробки заготовки та генерування необхідних траєкторій руху металообробного інструменту

Наступний етап створення керуючої програми для верстата з ЧПК розпочинається з автоматичного розпізнавання елементів твердотілої моделі. Для цього запускаємо автоматичне розпізнавання елементів, натиснувши на відповідний символ на панелі керування програмою, після чого запуститься розрахунок і розпізнавання елементів. В дереві побудови з'явиться вкладка «Фрезерний установ». На поверхні моделі з'явилась стрілка, направлена вниз. Це свідчить про те, що наша база знаходиться знизу заготовки.

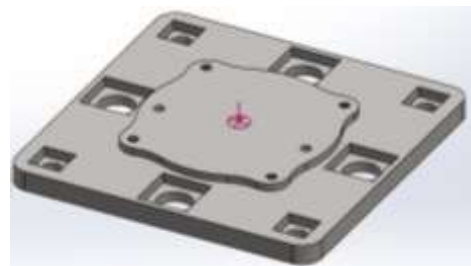


Рисунок 4.8 – Базування заготовки

Нижче під вкладкою «Фрезерний установа» ми можемо бачити перелік усіх елементів, які були розпізнанні автоматично (рис. 4.10).

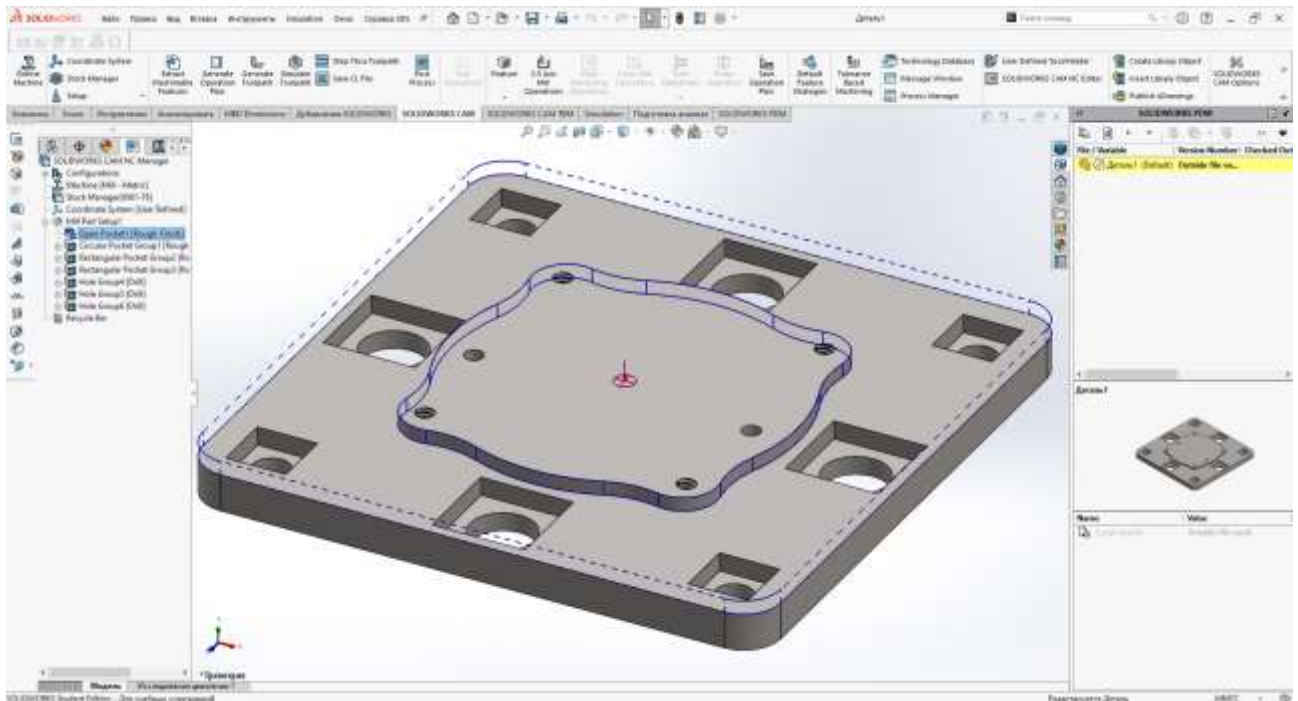


Рисунок 4.9 – Аналіз елементів, автоматично розпізнаних програмним модулем

Поки не був створений план обробки усі елементи будуть виділені синім кольором. Тому наступним етапом є генерування плану обробки деталі. Для цього натискаємо на відповідний символ на панелі програми і програма автоматично створить усі операції, необхідні для обробки даної заготовки.

Програма автоматично переходить на вкладку «Дерево операцій» і в дереві побудов ми будемо бачити перелік операцій, які будуть виконуватися під час обробки заготовки. Поки для них не буде створено траєкторій вони також будуть підсвічуватися синім кольором. Для їх створення необхідно натиснути на

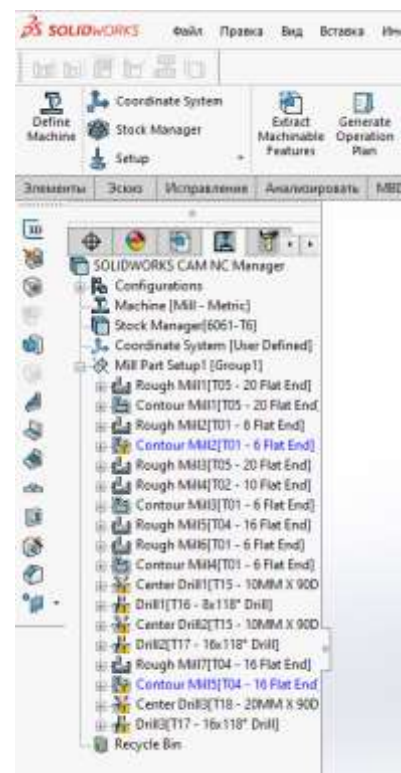


Рисунок 4.10 – Згенерований план обробки заготовки

відповідний символ на панелі програми. Після натискання траєкторії будуть також формуватися автоматично.

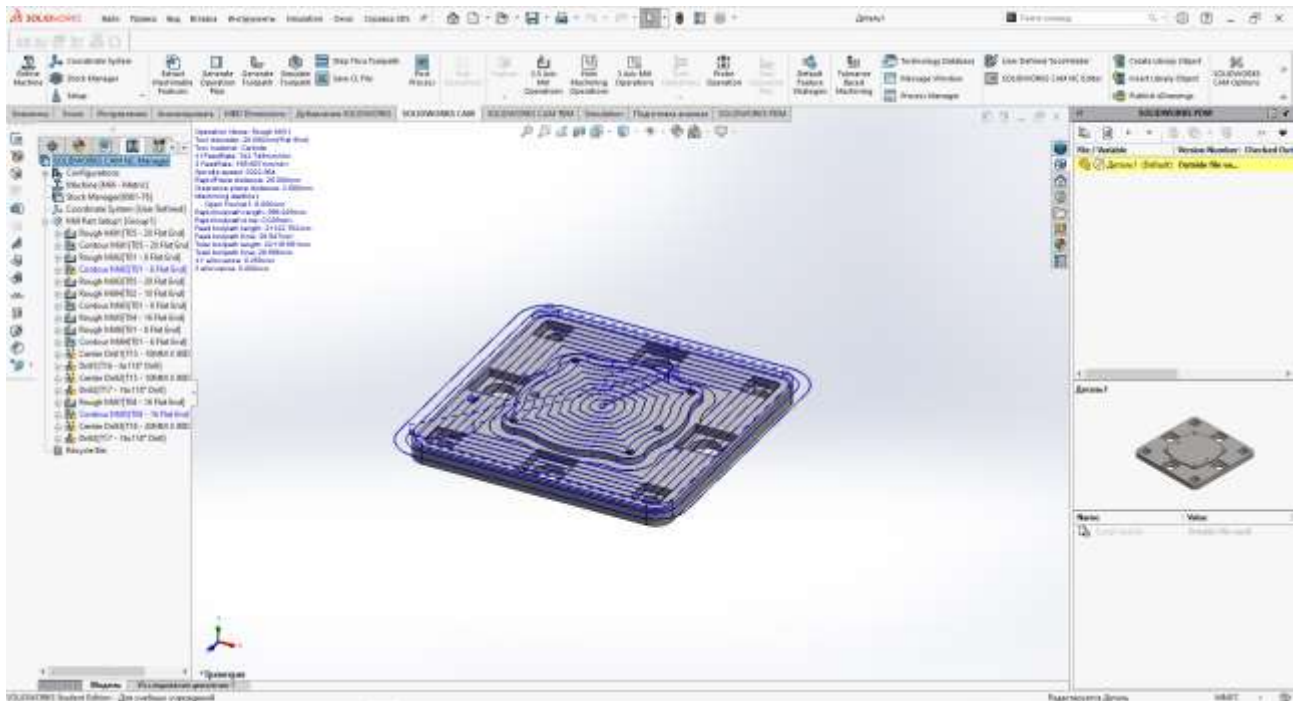


Рисунок 4.11 – Траєкторії руху інструменту

Якщо після побудови траєкторій деякі операції й надалі підсвічуються синім кольором, це означає що під час їх виконання не відбувається видалення матеріалу, тобто він вже був видалений до її проведення, а отже ця операція не потрібна і її можна видалити в корзину. При потребі видалені операції можна відновити з корзини.

На деяких операціях в дереві побудови ми можемо побачити знак оклику «!». В більшості випадків це вказує на те, що інструмент для виконання цих операцій був взятий не з кошика інструментів 2, який ми вибрали на попередньому етапі налаштування програми. В нашому випадку, інструменти для центрування і свердління були взяті з іншого інструментального кошика.

Перейшовши на вкладку «Дерево інструментів» ми можемо побачити яку з операцій буде виконувати той чи інший інструмент. Так наприклад для фрези Ø16 мм існує дві операції (рис. 4.12).

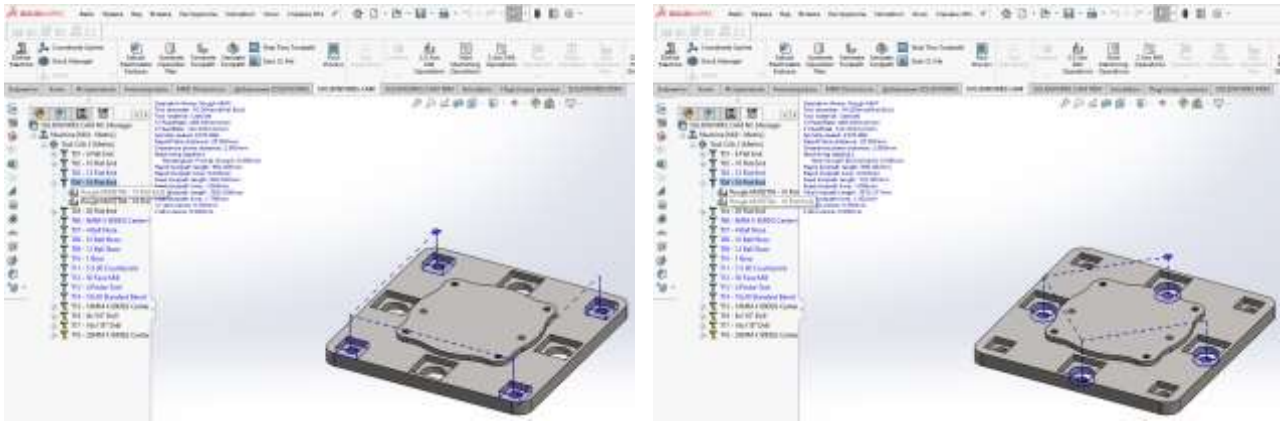
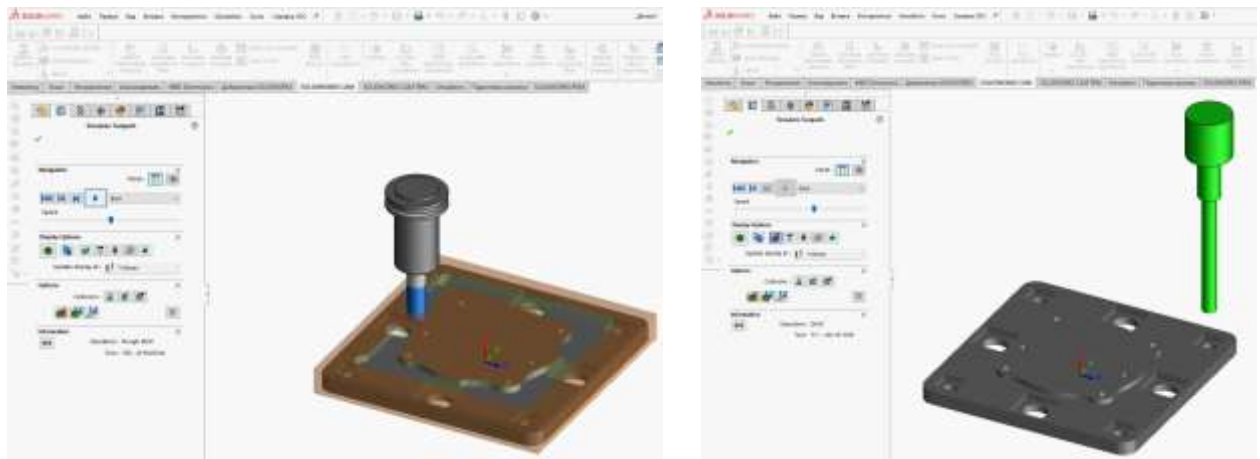


Рисунок 4.12 – Технологічні операції, які виконуються одним інструментом

Програма також дає можливість сортувати операції відсортувати операції, наприклад, задавши спочатку чорнову обробку а потім контурну.

Перевірку правильності створення траєкторій інструменту виконували за допомогою функції симуляції. Для цього натискаємо на символ «Симуляція траєкторій», вибираємо швидкість та інструменти колізій, які дають змогу переглянути можливі конфлікти, а також вказуємо параметри відображення.



а)

б)

Рисунок 4.13 – Симуляція процесу обробки заготовки

а – початок обробки; б – завершення процесу

Як бачимо, конфлікту інструменту з оснасткою та деталлю не відбувається.

4.4. Створення та збереження керуючої програми

Після того, як ми створили операції обробки заготовки та згенерували траєкторії руху інструментів мам залишається тільки створити керуючу програму на основі G-кодів. Для цього на панелі програмного модуля SOLIDWORKS CAM є два символи: G1 та CL [17]. Вибравши функцію G1 програма виконає процес генерування G-кодів для створених траєкторій руху інструменту. Модуль дозволяє формувати програму в кількох форматах файлів. Вибравши потрібний формат і активізувавши функцію вказавши в опціях «Редактор SOLIDWORKS CAM NC» та активізувавши модуль почне генерувати необхідні G-коди. Після завершення генерування необхідно завершити процес, після чого автоматично відкриється вбудований редактор SOLIDWORKS CAM NC Editor.

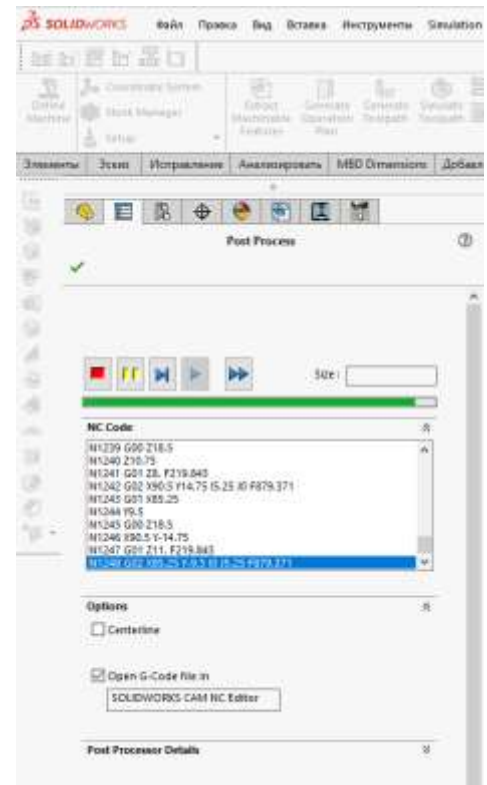


Рисунок 4.13 – Генерування G-кодів

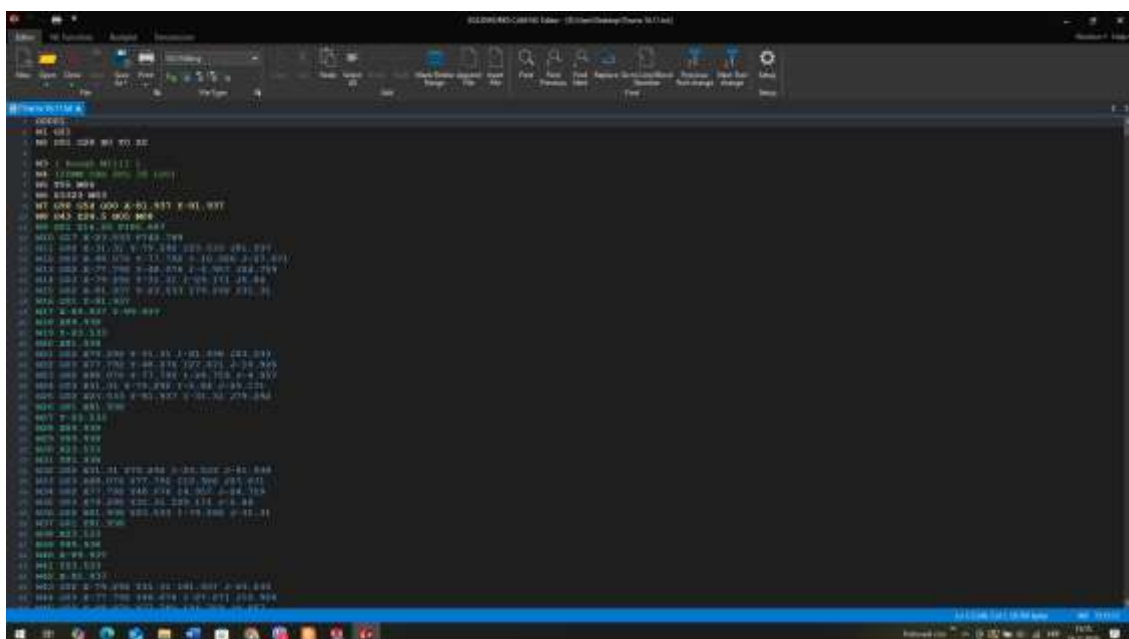


Рисунок 4.14 – Вікно вбудованого редактора SOLIDWORKS CAM NC Editor

В ньому можна переглянути отриману програму у вигляді G-кодів.

Вибравши функцію CL «Зберегти CLфайл» слід вказати місце його збереження та зберегти файл в потрібній папці. Далі в будь який час ви можете використовувати файл з отриманою програмою керування верстатом.

Висновки за розділом

Для розробки та обґрунтування технологічного процесу виготовлення плити кріплення робота на зварювальному столі використовувався програмний модуль Solidworks CAM. За його допомогою було підібрано верстат та необхідний технологічний інструмент, визначено параметри заготовки, складено план її обробки та згенеровано необхідні траєкторії руху металообробного інструменту, оптимізовано маршрут обробки та створено керуючу програму для верстата з числовим програмним керуванням. Розроблена технологія є гнучкою і може бути застосована на різних металообробних верстатах.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз вимог з охорони праці під час роботи на верстатах

Загальні положення

До роботи на металообробних верстатах допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли спеціальне навчання й одержали дозвіл на виконання фрезерних робіт.

Не слід торкатися до електропроводів та інших частин, що проводять струм, а також самому усувати несправності електрообладнання для уникнення ураження електричним струмом.

Бути уважним, не займатись сторонніми справами й розмовами, не відволікати увагу інших.

Не стояти і не проходити під піднятим вантажем або поблизу нього.

Постійно виконувати правила техніки безпеки, утримувати своє робоче місце в чистоті й порядку, не загромождувати проходи.

Палити в спеціально відведених місцях.

Помітивши порушення правил по техніці безпеки іншою особою або небезпеку для оточуючих, попередити цю особу або механіка про необхідність дотримання вимог, що забезпечують безпеку праці.

У випадку травмування або недомагання закінчити роботу, сповістити про це механіка і звернутися в медпункт.

Вимоги безпеки перед початком роботи.

Надіти робочий одяг. Застібнути або обв'язати обшлага рукавів, заправити одяг так, щоб не було кінців, що розвиваються.

Оглянути робочий одяг, забрати всі предмети, що заважають при роботі. Робочий інструмент і пристрої розкласти в зручному й безпечному для користування порядку і перевірити справність.

Переконатися в тому, що робоче місце достатньо освітлене і світло не буде сліпити очі [23].

Перевірити наявність, справність і міцність кріплення огороження та інших частин, що обертаються.

Перевірити чи не обірваний провід заземлюючого пристрою і його з'єднання.

При закріпленні інструменту в шпинделі за допомогою клинків, гвинтів, планок та інших пристроїв ці елементи не повинні виступати поза межі шпинделя. У випадку неможливого виконання цієї вимоги поверхні вказаних елементів слід закривати захисним пристроєм.

Перевірити на холостому ході справність верстату, про всі несправності сповістити механіка і до їх усунення до роботи на верстаті не приступати.

Вимоги безпеки під час роботи.

Знімаючи інструмент, необхідно обертати їх тільки вручну. Забороняється для виконання цієї операції включати шпиндель верстата.

Під час роботи верстата забороняється торкатися обертових частин, вводити руку в зону їх руху, класти на верстат деталі та інструменти.

При обробці в'язких матеріалів (сталей) необхідно застосовувати фрези з спеціальною заточкою зубів або пристрої, які забезпечують роздроблення стружки в процесі різання. При обробці крихких матеріалів і при утворенні роздрібної на малі частини стружки повинні застосовуватись стружковідвідники.

Обпиловка, поліровка, зачистка абразивним полотном деталей, що обробляються на верстатах, повинна проводитися за допомогою спеціального інструменту і методами, які забезпечують безпеку виконання цих операцій.

Перед кожним включенням верстату переконатися, що його пуск нікому не загрожує. Інструмент слід підводити до деталі плавно, без ударів і різкого натиску.

Вимкнення верстату необхідно здійснювати в наступних випадках: при тимчасовому закінченні роботи; при перерві в подачі електроенергії; для очищення, мащення і наладки верстату; при підтягуванні болтів, гайок, клинків та інших з'єднань деталей; при замірі деталей, які обробляються.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Для уникнення травмування – вставляти або виймати деталі, які обробляються на столі верстата чи в його пристроях кріплення лише тільки після повної зупинки.

Під час встановлення деталі, яка обробляється в лещатах верстату слідкувати за надійністю його кріплення й правильністю базування.

У випадку поломки ріжучого інструменту вимкнути верстат. Під час роботи верстату не нахилятись близько до фрези.

Команду «Стій» виконувати швидко, хто б її не подав – це команда запобігання аварії та нещасних випадків.

Після вимикання верстату не допускається сповільнювати обертання фрези рукою або будь-яким іншим предметом.

При виявленні пожежі негайно викликати пожежну бригаду і прийняти заходи по ліквідуванню пожежі наявними засобами пожежогасіння.

Вимоги безпеки після закінчення роботи.

Вимкнути електрообладнання.

Привести до ладу робоче місце. Прибрати інструмент, обладнання, пристрої у відведене для них місце.

Зняти спецодяг, помити лице, руки теплою водою з милом, при можливості прийняти душ.

Повідомити майстра про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

5.2. Математичне моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час роботи на верстатах

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов і помилок працівників (операторів) різних систем. В ньому потрібно вести математичну обробку даних, з метою одержання ймовірності виникнення травматичних випадкових подій. Розрахунки спрямовані на зниження нещасних випадків на виробництві [3].

Вивчаючи модель процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію (явище), що є причиною травмонебезпечних чи аварійних ситуацій.

Розглянемо випадок виробничого травматизму під час токарної обробки отворів кришки підшипників на свердлильному верстаті. У даному випадку може відбутися травма працівника, внаслідок ураження електричним струмом, захоплення робочого одягу рухомими частинами верстата та використання верстата не за призначенням або на недозволених режимах. Головні події розміщують у верхній частині аркуша паперу і зверху донизу розміщують інші події. У побудованій моделі базові події мають форму круга. Нерозкриті базові події зображують у вигляді ромба, прямокутник подія, що виникає як результат дії фактора.

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу у вгору починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення подій вказуємо безпосередньо на символи зображення події. Ймовірності виробничих подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “охорона праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкт. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20 або 30%, то ймовірність відповідно становить 0,2 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень.

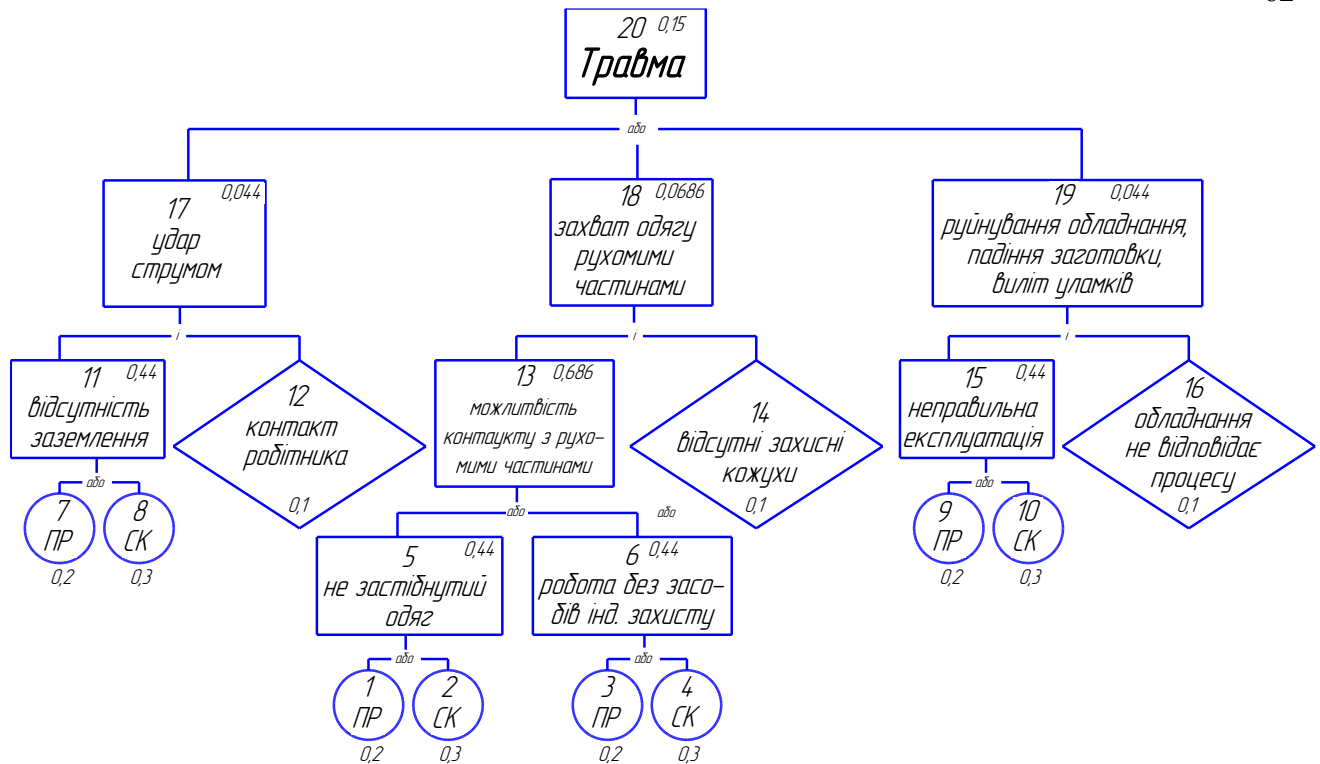


Рисунок 4.1 - Модель процесу формування та виникнення травми

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Ймовірність події P_5 визначаємо наступним чином

$$P_5 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 \quad (4.1)$$

Ймовірність подій P_6 , P_{11} , P_{15} буде рівною події P_5 , оскільки базові події для них є однаковими.

Ймовірність події P_{13}

$$P_{13} = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6 = 0,44 + 0,44 - 0,44 \cdot 0,44 = 0,6864 \quad (4.2)$$

Ймовірність події P_{17}

$$P_{17} = P_{11} \cdot P_{18} = 0,44 \cdot 0,1 = 0,044 \quad (4.3)$$

Ймовірності подій P_{19} буду рівною події P_{17} , оскільки події P_5 , P_6 , P_{11} , P_{15} рівні між собою.

Ймовірність події P_{18}

$$P_{18} = P_{13} \cdot P_{14} = 0,6864 \cdot 0,1 = 0,069 \quad (4.4)$$

Ймовірність події P_{20}

$$P_{20} = P_{17} + P_{18} + P_{19} - P_{17} \cdot P_{18} - P_{17} \cdot P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} \quad (4.5)$$

$$P_{24} = 0,044 + 0,069 + 0,044 - 0,044 \cdot 0,069 -$$

$$-0,044 \cdot 0,044 - 0,069 \cdot 0,044 = 0,15$$

Таким чином, на робочому місті під час обробки отворів кришки підшипників свердлінням за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних діях на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,15 (15 %).

Такий високий показник пояснюється великою кількістю небезпечних факторів та високими вимогами щодо кваліфікації працівників, якості виконання технологічного процесу та умов безпеки праці.

Висновки за розділом

В даному розділі проаналізовано вимоги нормативно-правових документів щодо охорони праці та виробничої санітарії під час виконання робіт в механічних цехах на металообробних верстатах різанням.

Встановлені основні чинники та причини виникнення травмонебезпечних ситуацій під час роботи на свердлильних верстатах.

Розроблено логічні моделі виникнення окремих травмонебезпечних ситуацій та проведено визначення ймовірності виникнення травмонебезпечної ситуації в конкретних умовах виробництва шляхом математичного моделювання.

В результаті моделювання встановлено, що за наявних небезпечних факторів та недоліків в організації праці ймовірність виникнення травми становить 15 %. Усунення всіх недоліків та підвищення контролю з ОП дозволить мінімізувати виробничий травматизм на підприємстві.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Одною із проблем формування сучасних високопродуктивних роботизованих зварювальних комірок є поєднання роботів-маніпуляторів з іншим зварювальним обладнанням. Це стосується і зварювального робота UR 10, конструкція якого не передбачає можливості закріплення його на спеціальному зварювальному столі, плита якого має стандартні кріпильні отвори. Розробка перехідної кріпильної плити для встановлення робота на зварювальний стіл дозволяє вирішити дану проблему.

Запропонована конструкція перехідної кріпильної плити дозволяє кріпити на ній робот UR 10, використовуючи наявні на ньому привалочні площини, кріпильні та установчі отвори. Кріпильні отвори плити мають діаметр і розташовані таким чином, що дозволяють встановлювати її на зварювальних столах, плити яких мають стандартні отвори діаметром 16 мм та 28 мм.

Розроблене робоче креслення та 3D-модель плити дозволяє використати програмне забезпечення Solidworks CAM для розробки технологічного процесу виготовлення деталі та створення керуючої програми для верстата з ЧПК. Використання систем автоматизованого проєктування та виробництва, зокрема програмного модуля Solidworks CAM, надає широкі можливості для моделювання, симуляції та генерації керуючих програм для верстатів з ЧПК. Це дозволяє ще на етапі підготовки виробництва мінімізувати ризики, оптимізувати режими різання та забезпечити необхідну точність виготовлення деталі.

Запропонована плита для кріплення робота UR 10 на зварювальному столі є технологічною. Вона має ознаки корпусних та фланцевих деталей. Наявні в її конструкції поверхні доцільно обробляти на верстаті з ЧПК методом фрезерування. В технологічному процесі виготовлення деталі переважають операції торцевого і контурного фрезерування. Запропонована технологія також дозволяє виконувати фрезерувати циліндричні та різьбові отвори, використовуючи при цьому стандартний різучий інструмент.

Розроблена технологія та створена керуюча програма є гнучкою і може бути застосована на різних металообробних верстатах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.
2. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
3. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
4. Довідник по металорізальних верстатах та пресовому обладнанні. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.metalinstryment.com>
5. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090.202 „Технологія машинобудування” усіх форм навчання. Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. 64 с.
6. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64466.
7. Зварювальний стіл SST80/35M. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://svartech.com.ua/ua/p532814281-svarochnyj-stol-sst8035m.html>.
8. Зварювальні столи. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cominpro.com.ua/uk/zvariuvalni-stoly/standartni-zvaryuvalni-stoly.html>
9. Інноваційна техніка і технології для електродугового зварювання та наплавлення / В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов, М. М. Бриков, Н. О. Макаренко, Г. В. Жук, С. А. Лой. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. 262 с.
10. Каталоги інструментів, ГОСТи та довідкова література: – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ocean.biz.ua/catalog-i-price>
11. Каталоги Sandvik Coromant. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://polidecktech.com/all-catalogs/catalog-sandvik-coromant/>

12. Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПК. Житомир: ЖІТГ, 2001.
13. Когут М.С. Технологія машинобудування. Практикум до виконання курсового проекту для студентів спеціальностей «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» та «Обладнання переробних і харчових виробництв». Львів: ЛНАУ, 2010. 114 с.
14. Козяр М.М., Фещук Ю.В., Парфенюк О.В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник, Ю.В. Фещук, О.В. Парфенюк. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.
15. Лебедєв В. О. Універсальний маніпулятор з можливістю низькочастотної вібраційної обробки зварювальної ванни Патент на корисну модель / В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов, І. В. Лендел. – Публікація відомостей 10.06.2013, Бюл. № 11.
16. Л. К. Лістовщик. Основи геометричного моделювання в програмі SOLIDWORKS ЧАСТИНА 1 Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання. Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023. 70 с.
17. Макшанцев В.Г. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни CAD/CAM системи для студентів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". Краматорськ: ДДМА. 2018. 57 с.
18. Методичні вказівки до виконання комп'ютерних практикумів з дисципліни "Пакети прикладних програм для конструювання електричних машин", використання систем автоматизованого проектування AutoCAD та SolidWorks для конструювання електричних машин / Уклад.: Ю.М. Васьковський, Ю.А. Гайдено, С.С. Цивінський. Київ: НТУУ "КПІ ІМ. І.СІКОРСЬКОГО"
19. Модульні зварювальні столи. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://yusmetall.com.ua/modulni-zvaryvalni-stoli>.
20. Новохат О. А. 3D-інженерія: SolidWorks [Електронний ресурс]: конспект лекцій: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 Галузеве машинобудування. КПІ ім. Ігоря

Сікорського. Електрон. текст. дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 250 с.

21. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

22. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямом «Інженерна механіка». Київ: Політехніка, 2006. 190 с.

23. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

24. Професійні зварювальні столи GPPH. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gp-ph-group.com>

25. Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк: Вежа, 2018. 172 с.

26. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) з дисципліни "Технологія машинобудування" для студентів Механіко-машинобудівного інституту, інженерно-фізичного та поліграфічного факультетів / Укл. С. С. Добрянський, В. К. Фролов, В. А. Ковальов. Київ: Політехніка, 2002. 78с.

27. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Вища школа, 1993. 414 с.

28. Сердюк В.С. Основи оброблення матеріалів різанням та інструмент. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Технічне обслуговування і ремонт устаткування підприємств машинобудування. Київ: Освіта України, 2006. 186 с.

29. Стискін Г.М., Ревнівцев М.П., Берізко М.М., Мелещик В.А. Інструменти для механічної обробки матеріалів. Львів: Оріяна-Нова, 2002. 240 с.

30. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. Київ, 2015. 199с.

31. Швець О.П., Стукалець І.Г. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" Львів: ЛНАУ, 2023. 56 с.

32. Швець О.П. Технологія машинобудування: Методичних рекомендацій до виконання практичних робіт студентами ОС «Магістр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування. Львів, 2019. 74 с.

33. Швець О.П., Коруняк П.С., Березовецький С.А. Технології машинобудування. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи на тему: «Підбір ріжучого інструменту за каталогами» здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G11 «Машинобудування». Львів, 2025. 16 с.

34. Шпак Я.В., Ланець О.С., Гурський В.М. Трьохмірне моделювання у програмі SolidWORK. Методичні вказівки та інструкція до виконання індивідуальних контрольних робіт. Львів: Рукопис, 2011. 30 с

35. INTRODUCING SOLIDWORKS. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf.

36. Lebedev V., Kozyrco O. The realization of task coordinate control of instrument and work piece motions at mechanized and automatic arc welding. Electrotechnic and Computer Sistem. 2015. № 19. Pp. 41-45

37. Pires J. Norberto, Loureiro Altino, Bölmsjö Gunnar. Welding Robots / Technology, System Issues and Application. Springer-Verlag London, 2006. 180 p.

38. ROBOTMETA_A5_2023_WEB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://autowelding.pro/upload/iblock/981/981e8335402c.pdf>.

39. UR10/ CB3. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/77527/99319_UR10_User_Manual_ru_E67ON_Global.pdf.

40. UR10e. El Robot Colaborativo Industrial de Uso Medio. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://htlelec.com/universalrobots-ur10e>.

ДОДАТКИ

O0001
N1 G21
N2 G91 G28 X0 Y0 Z0

N3 (Rough Mill1)
N4 (20MM CRB 2FL 38 LOC)

...
N509 G00 Z24.5
N510 Z49.5

N511 (Contour Mill1)
N512 X92.708 Y10.952

...
N537 Z49.5 M09
N538 G91 G28 Z0

N539 (Rough Mill2)
N540 (6MM CRB 2FL 19 LOC)

...
N802 Z49.5 M09
N803 G91 G28 Z0

N804 (Rough Mill3)
N805 (20MM CRB 2FL 38 LOC)

...
N963 Z49.5 M09
N964 G91 G28 Z0

N965 (Rough Mill4)
N966 (10MM CRB 2FL 22 LOC)

...
N1264 Z49.5 M09
N1265 G91 G28 Z0

N1266 (Contour Mill3)
N1267 (6MM CRB 2FL 19 LOC)

...
...
N2120 G80 Z49.5 M09
N2121 G91 G28 Z0

N2122 (Drill2)
N2123 (16.0mm JOBBER DRILL)

...
N2132 G80 Z49.5 M09
N2133 G91 G28 Z0

N2134 (Rough Mill7)
N2135 (16MM CRB 2FL 32 LOC)

...
N2201 Z49.5 M09

N1429 Z49.5 M09
N1430 G91 G28 Z0

N1431 (Rough Mill5)
N1432 (16MM CRB 2FL 32 LOC)

...
N1530 Z49.5 M09
N1531 G91 G28 Z0

N1532 (Rough Mill6)
N1533 (6MM CRB 2FL 19 LOC)

...
N1926 G00 Z18.5
N1927 Z49.5

N1928 (Contour Mill4)
N1929 X-101.449 Y90.6

...
N2088 Z49.5 M09
N2089 G91 G28 Z0

N2090 (Center Drill1)
N2091 (10MM X 90DEG CRB SPOT DRILL)

...
N2098 G80 Z49.5 M09
N2099 G91 G28 Z0

N2100 (Drill1)
N2101 (8.0mm JOBBER DRILL)

...
N2108 G80 Z49.5 M09
N2109 G91 G28 Z0

N2110 (Center Drill2)
N2111 (10MM X 90DEG CRB SPOT DRILL)
N2202 G91 G28 Z0

N2203 (Center Drill3)
N2204 (20MM X 90DEG CRB SPOT DRILL)

...
N2213 G80 Z49.5 M09
N2214 G91 G28 Z0

N2215 (Drill3)
N2216 (16.0mm JOBBER DRILL)

...
N2227 G28 X0 Y0
N2228 M30