

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Олег ЛЕВЧЕНКО
(підпис)

“ ” 2026 p.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Автоматизований верстат з мехатронним модулем для згинання дроту

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-22

Фурманський Вячеслав Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

доц., к.т.н., доцент Муращенко Альона Миколаївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доц. Муращенко Альона Миколаївна
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (під

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М.
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. каф. ТВЛА, доц., к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання,

Борис Р.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

(підпис)

Київ – 2026 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО
(підпис)

“ _____ ” _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту**

_____ Фурманському Вячеславу Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту «Автоматизований верстат з мехатронним модулем для згинання дроту»

керівник проєкту Муращенко Альона Миколаївна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “01” червня 2026 року №2019-с

2. Термін подання студентом проєкту 05.06.2026

3. Вихідні дані до проєкту: Матеріал - мідь (Cu); Діаметр дроту $d = 2$ мм; $p_m = 0,7$ МПа – абсолютний тиск стиснутого повітря; $P_2 = 754$ Н – технологічне навантаження; $s = 100$ мм – довжина ходу; $m = 7,1$ кг – маса приєднувальних рухомих частин; $t = 0,4$ с – необхідний час спрацювання;

4. Зміст пояснювальної записки: анотації, 4 розділи, (1. Різновид верстатів для гнуття дроту; 2. Інженерне проєктування та обґрунтування параметрів мехатронної системи верстата; 3. Технологія машинобудування; 4. Охорона праці; Висновки, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо) креслення загального вигляду, пневмосхема, електросхема,

кінематична схема, гільза, кришка, поршень, шток, креслення технології виготовлення, презентація

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	Муращенко А.М. доцент каф.ПГМ		
2. Технологія машинобудування	Кореньков В.М. доц. ТМ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проєктування	20.04.2026	Виконав
2	Розробка проєкту	20.04. - 10.05.2026	Виконав
3	Проходження практики	20.04. - 17.05.2026	Виконав
4	Робота над проєктом та виконання креслень	20.04. - 30.05.2026	Виконав
5	Доопрацювання проєкту	30.05. - 02.06.2026	Виконав
6	Захист дипломного проєкту	16.06. - 19.06.2026	Виконав

Студент

(підпис)

____Вячеслав ФУРМАНСЬКИЙ____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

____Альона МУРАЩЕНКО____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт на тему: «Автоматизований верстат з мехатронним модулем для згинання дроту» складається з 4 розділів, обсяг пояснювальної записки – 116 сторінок друкованого тексту, включає в себе 86 рисунків, 7 таблиць, 6 креслень формату А1 та 38 літературних джерел.

Метою даного дипломного проєкту є розробка надійного та ефективного автоматизованого верстата для обробки мідного дроту, що забезпечує високу точність позиціонування, згинання під заданим кутом та якісне відрізання готової деталі. Така машина повинна бути простою в експлуатації, економічною та мінімізувати вплив людського фактору на виробничий процес.

У першому розділі розглядаються існуючі типи верстатів для згинання та відрізання дроту, особливості їх конструкції, принцип дії та сфери застосування.

У другому розділі розроблено власну конструкцію автоматизованого верстата, здійснено обґрунтований перехід на пневматичний привод. Виконано необхідні кінематичні та силові розрахунки, створено принципову електропневматичну схему. Також розроблено апаратну базу системи керування.

У третьому розділі представлено технологію виготовлення основного вузла конструкції – зокрема, плита основна. Описано вибір матеріалів, обґрунтовано послідовність технологічних операцій, підібрано обладнання та різальний інструмент для механічної обробки.

У четвертому розділі проаналізовано фактори охорони праці, які мають вплив при експлуатації та виготовленні верстата: мікроклімат, освітлення, електробезпека, шум, вібрація та пожежна безпека.

Ключові слова: автоматизований верстат, мідний дріт, пневматичний привод, система керування.

ABSTRACT

The diploma project on the topic "Automated Machine with a Mechatronic Module for Wire Bending" consists of 6 chapters. The explanatory note comprises 116 pages of printed text, including 86 figures, 7 tables, 6 A1 blueprints, and 38 bibliographic references.

The aim of this diploma project is to develop a reliable and efficient automated machine for copper wire processing, ensuring high positioning accuracy, precise bending at a specified angle, and high-quality cutting of the finished part. This machine is designed to be user-friendly and cost-effective, while minimizing the influence of the human factor on the production process.

The first chapter reviews existing types of wire bending and cutting machines, examining their design features, principles of operation, and areas of application.

The second chapter introduces an original design for the automated machine, including a justified transition to a pneumatic drive. The necessary kinematic and power calculations were performed, and a fundamental electro-pneumatic diagram was developed. Additionally, the hardware basis for the control system was designed.

The third chapter presents the manufacturing technology for the main structural component, specifically the base plate. It details the material selection, justifies the sequence of technological operations, and specifies the chosen equipment and cutting tools for machining.

The fourth chapter analyzes the occupational health and safety factors impacting the operation and manufacturing of the machine, including microclimate, lighting, electrical safety, noise, vibration, and fire safety.

Keywords: automated machine, copper wire, pneumatic drive, control system.

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: Автоматизований верстат з мехатронним модулем для згинання дроту

Київ – 2026

Зміст

Вступ

.....	10
Розділ 1. Різновид верстатів для гнуття дроту.....	12
1.1 Аналіз різновиду верстатів для гнуття дроту.....	13
1.2 Існуючі машини гнуття прутків	15
1.2.1 Сфери застосування	19
1.2.2 Рівень автоматизації	19
1.2.3 Принцип роботи	21
1.2.4 Схемні рішення	23
1.2.5 Переваги та недоліки розглянутих верстатів	24
1.3 Методи та методики вирішення проблематики.....	26
Висновок до розділу 1	28
Розділ 2. Інженерне проєктування та обґрунтування параметрів мехатронної системи верстата	29
2.1 Обґрунтування компонувальних рішень та конструктивне виконання вузлів верстата.....	29
2.1.1 Опис загального вигляду.....	30
2.1.2 Вузол вирівнювання та рихтування дроту	33
2.1.3 Механізм подачі	36
2.1.4 Механізм згинання.....	39
2.1.5 Механізм відрізання	41

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Фурманський			Автоматизований верстат з мехатронним модулем для згинання дроту	Літера	Лист	Листів
Перевір.		Муращенко А.М					7	
Реценз.						Кафедра прикладної гідроаеромеханіки та		
Н. Контр.								
Затверд.								

2.2	Автоматизація операцій верстата за допомогою електропневматичних приводів.....	42
2.2.1	Автоматизація механізму притискання роликів у вузлах подачі та вирівнювання	43
2.2.2	Автоматизація відрізного механізму із застосуванням лінійного пневмоприводу	44
2.3	Розрахунок параметрів пневматичної системи верстата	47
2.3.1	Розрахунок потрібних зусиль для деформування міді.....	47
2.3.2	Статичний розрахунок пневмоциліндра відрізання	49
2.3.3	Статичний розрахунок пневмоциліндра притискання.....	51
2.3.4	Розрахунок параметрів компресора	55
2.3.5	Розрахунок продуктивності автоматизованого верстата.....	57
2.4	Вибір та обґрунтування комплектуючих верстата	58
2.4.1	Підбір електропневматичного обладнання	59
2.4.1	Підбір електричного обладнання	63
2.5	Розробка програмного забезпечення системи керування	66
2.5.1	Опис алгоритму за логічними мережами (Networks)	66
2.5.2.	Створення Allocation листа	67
2.5.3	Написання коду	69
	Висновок до розділу 2	72
	Розділ 3. Технологія машинобудування	74
3.1.	Завдання на розробку технологічного процесу	74
3.2	Вибір заготовки. Розрахунок припусків.....	75
3.3	Розробка маршрутного технологічного процесу	76
3.3.1	Технологічний маршрут	77
3.4	Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання.....	83

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 8
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

3.5 Оснащення операцій	87
3.6 Написання управляючої програми	93
Висновок до розділу 3	97
Розділ 4. Охорона праці.....	98
4.1 Вимоги до виробничого приміщення та робочого місця.....	99
4.1.1 Вимоги до мікроклімату.....	99
4.1.2 Вимоги до освітлення.....	99
4.1.3 Вимоги до розміщення обладнання та підлоги	99
4.1.4 Електробезпека та заземлення.....	100
4.1.5 Пожежна безпека	100
4.2 Інструкція з охорони праці при експлуатації спеціалізованого мехатронного верстата для гнуття дроту.....	101
Висновок до розділу 4	103
Загальні висновки... ..	103
Список використаних джерел.....	103
Додаток 1. Приклад коду виконання одного циклу в програмі CoDeSys.....	110
Додаток 2. Операції розділу технологія машинобудування.....	111

Вступ

У сучасних умовах стрімкого розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема FPV-дронів, критично важливим для виконання бойового завдання є забезпечення надійного радіозв'язку та передачі відеосигналу [1]. Високу якість та стабільність в умовах активних радіоперешкод забезпечують антени з круговою поляризацією, найпопулярнішим типом яких є антена типу «Клевер» (конюшина) [2]. Виготовлення таких антен вимагає високої точності згинання мідного дроту, оскільки навіть мінімальні відхилення в геометрії пелюсток призводить до зміни резонансної частини та погіршення характеристик зв'язку.

На сьогодні більшість подібних виробів виготовляється або ручним способом із застосуванням примітивних кондукторів, або на універсальних і дороговартісних ЧПК – верстатів. Відсутність спеціалізованих, компактних та недорогих автоматизованих рішень робить процес масштабування виробництва складним [3]. Отже, розробка спеціалізованого мехатронного верстата для автоматизованого згинання конюшини з інтегрованою системою зворотного зв'язку є першочерговим інженерним завданням в сучасних реаліях, яке дозволить підвищити продуктивність, мінімізувати вплив людського фактору та знизити відсоток браку.

Мета і задача проєкту – підвищення ефективності та точності процесу виготовлення антен типу «Клевер» шляхом розробки та автоматизації спеціалізованого мехатронного комплексу.

Основні задачі проєкту:

1. Провести аналіз існуючих технологій та обладнання для згинання дротів різних діаметрів.
2. Провести інженерні розрахунки та підібрати стандартне обладнання.
3. Створити принципову схему роботи верстата, описати функціонал та компоненти.
4. Розробити власну 3-Д модель відповідно до розрахунків.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 10
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

5. Розробити систему керування, для коректної та безпечної роботи верстата.
6. Описати технологічний процес виготовлення основної деталі.
7. Надати рекомендації з охорони праці при експлуатації верстата.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вдосконаленні процесу виготовлення антен шляхом застосування алгоритмів адаптивного керування. Використання зворотного зв'язку за положенням дозволяє автоматично корегувати кут згинання в режимі реального часу, компенсуючи фізико-механічні похибки матеріалу без необхідності ручного переналагодження системи.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена модель верстата, підібрана апаратна база та запропонована логіка автоматизації можуть бути безпосередньо впроваджені на підприємствах, що займаються серійним складанням БПЛА та комплектуючих до них. Це дозволить суттєво зменшити час на виготовлення однієї одиниці продукції та забезпечити високу повторюваність геометричних параметрів антен.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 11
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Розділ 1. Різновид верстатів для гнуття дроту

Процес просторового формоутворення металевих заготовок стандартних перерізів є однією з найбільш поширених та затребуваних технологічних операцій у сучасному машинобудуванні. До класу виробів суцільного або трубчастого перерізу належить надзвичайно широкий спектр прокату: від масивних товстостінних труб та будівельної арматури до прецизійного м'якого дроту. Незважаючи на спільну фізичну природу процесу згинання, обладнання для виконання цих операцій кардинально відрізняється за своїми масогабаритними показниками, кінематикою виконавчих механізмів та принципами керування [4].

На сьогоднішній день у промисловості застосовується велика кількість різноманітних згинальних верстатів. Їх вибір жорстко детермінований фізико-механічними властивостями матеріалу, діаметром заготовки, мінімально допустимим радіусом згину та серійністю виробництва. Класифікацію такого обладнання доцільно розглядати у вигляді технологічного спектра: починаючи від надпотужних гідравлічних і електромеханічних трубозгинальних машин, орієнтованих на важке машинобудування, і закінчуючи високодинамічними мехатронними комплексами для формоутворення дроту [5,6].

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 12
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

1.1 Аналіз різновиду верстатів для гнуття дроту

Найбільш популярним та потрібним процесом є гнуття профільних труб з складною геометричною формою. На Рис1.1 представлено промисловий верстат TE25LR [7]. Дана машина складається з станини(1), системи подачі(2) згинальна головка(3) та система відрізання(4), серводвигун(5). Даний верстат може згинати в 2 осях, що забезпечує виготовлення будь якого геометричного профілю.

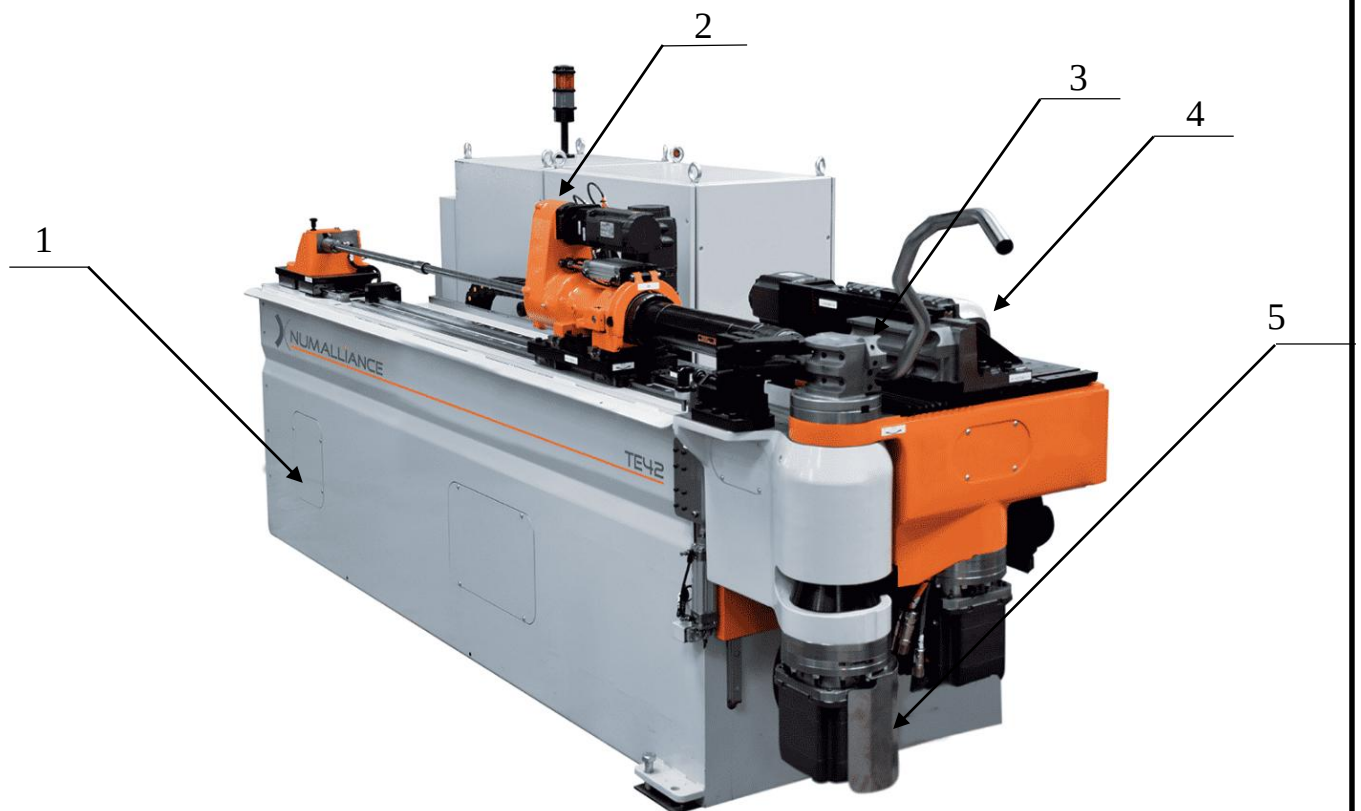


Рис 1.1 Верстат для гнуття труб TE25LR [7] (1 – станина, 2 – система подачі, 3- згинальна головка, 4 – система відрізання, 5 – серводвигун)



Рис 1.2 Приклади готових виробів на верстаті TE25LR [7]

Яскравим прикладом сучасного високоефективного згинального обладнання є лінійка повністю електронних ЧПК – верстатів від компанії BLM GROUP. Дана мехатронна машина здатна створювати складне просторове 3Д-формоутворення профілів квадратного перерізу великих розмірів з високою точністю та мінімальним радіусом згину. Завдяки застосуванню потужних серводвигунів(3) замість гідравліки, такі верстати забезпечують ідеальним контроль крутного моменту. Даний верстат складається з станини(1), системи подачі(2), серводвигуна(3), головка(4), яка слугує упором для труби, модуль згинання(5).

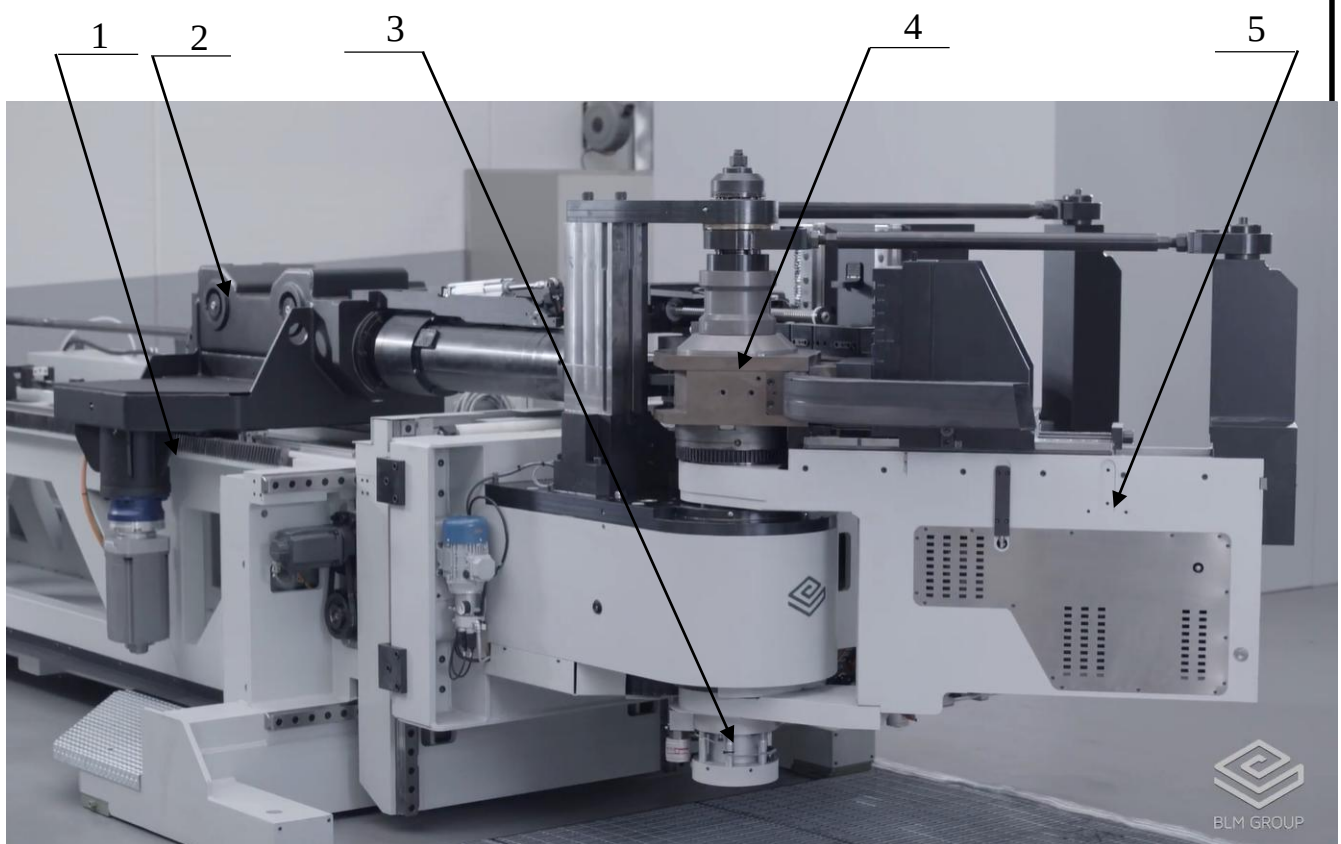


Рис 1.3 Верстат для гнуття профільних труб BLM GROUP [8] (1 – станина, 2 – система подачі, 3 – серводвигун, 4 – головка)



Рис1.4 Приклад готових робіт на верстаті BLM GROUP [8]

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 14
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Окремим, найбільш технологічно розвиненим класом обладнання для просторового формоутворення є багатоцільові мехатронні комплекси безперервного циклу, що працюють безпосередньо з бухтовим (рулонним) матеріалом(1). Типовим представником такого класу є автоматизовані центри рівня Cippa серії Coilbender та їх аналоги. Даний верстат є найбільш технологічно розвинутим з інтегрованими етапами всіх етапів виробництва, а саме: вирівнювання труби(2), подачі(3), згинання(4), відрізання(5), та переміщення готового виробу в пакувальну зону(6). В ньому присутні елементи електроніки та пневматики, які використовуються для забезпечення багатовісьового руху виконавчого пристрою 4 та 5.

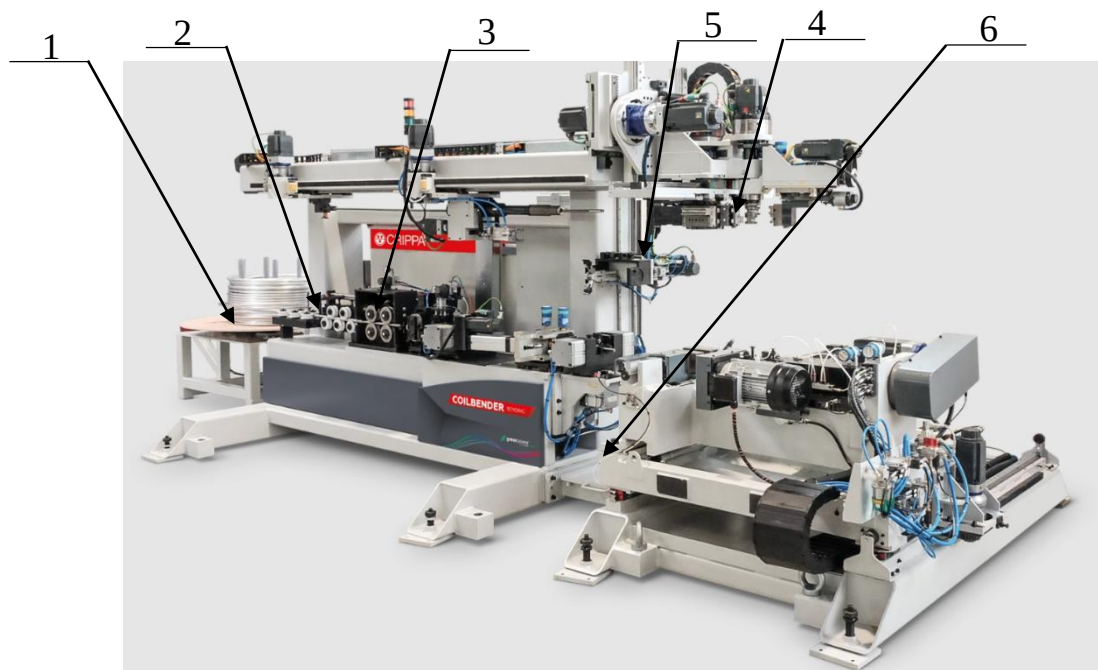


Рис 1.5 Верстат Cippa [9] (1 – бухтовий матеріал, 2 – вирівнювання труби, 3 – система подачі, 4 – система згинання, 5 – система відрізання)

1.2 Існуючі машини гнуття прутків

На сучасному етапі розвитку машинобудування процеси просторового (2Д та 3Д) формування металевого дроту є повністю автономним та автоматизованим. На промисловому ринку представлено широкий спектр подібних верстатів з ЧПК [7-9]. Сучасні автоматизовані верстати для гнуття

зазвичай оснащують системами безперервної подачі матеріалу з бухти, поворотним згинальним механізмом та модулями контролю якості.

Однак, аналіз технічних характеристик таких універсальних промислових верстатів показує, що вони орієнтовані переважно на великосерійне виробництво масивних деталей. Зазвичай в таких машинах використовують сталеві або чавунні дроти. Застосування подібного обладнання для вузькоспеціалізованого завдання – виготовлення компактних антен з м'якого дроту діаметром 2 мм – є технологічно не можливо, через малі габарити виробу на виході.

Зображення на рис 1.1 є прикладом верстата для гнуття металевого дроту



Рис1.6 Верстат для гнуття IP Automation i8-SC [10] (1 – система вирівнювання, 2 – екран програмування, 3 – станина, 4 – система відрізання)

На даному верстаті(Рис1.6) ми бачимо систему вирівнювання дроту(1), інтерактивний екран програмування(2), станина(3), згинальна головка з інтегрованою системою відрізання дроту(4). Це типовий багатовісьовий автоматизований верстат, створений для гнучкого масового виробництва найрізноманітніших 3Д-деталей.

Одним із прикладом верстата для гнуття дроту будь якої форми та в 2-х осях є 582BM EVV E-FLEX(Рис 1.7). Даний верстат є повністю автоматизований та має системи переднатягу(1), вирівнювання дроту(2), подача(3), інтерактивний екран програмування(4), механізм обертання навколо дроту(5), головка для згинання перша(6), головка для згинання друга(7) та система відрізання(8).



Рис1.7 Верстат 582BM EVV E-FLEX [11] (1 – система переднатягу, 2 – система вирівнювання, 3 – система подачі, 4 – екран, 5 – механізм обертання, 6 – головка згинальна перша, 7 – головка згинання друга, 8 – система відрізання)

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ



Рис 1.8 Приклад готових виробів на верстаті 582BM EVV E-FLEX [11]

Як видно на Рис 1.8, верстат має змогу згинати малі радіуси та малі діаметри дроту будь якої форми.

При згадуванні формування дроту, найбільш популярним є верстат для виготовлення пружин. На Рис 1.9 показано один з типових варіантів.

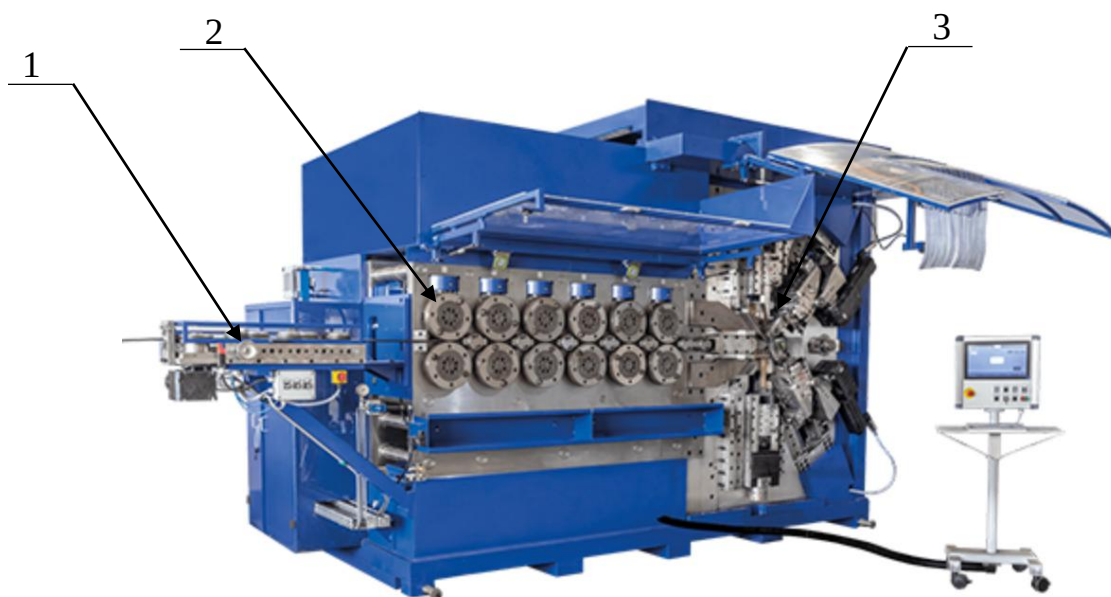


Рис1.9 Верстат для виготовлення пружин [12] (1 – система вирівнювання, 2 – система подачі, 3 – система обхвату та згинання)

Верстат складається з наступних компонентів: система вирівнювання дроту(1), система подачі(2) та система обхвату та згинання(3). Даний верстат

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 18
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

відрізняється принципом утворення форми, так як в системі згинання мінімум 4 виконавчі пристрої.

1.2.1 Сфери застосування

Технології просторового формування дроту є невід’ємною складовою сучасного промислового виробництва. Завдяки високій міцності, пружності та відносно низькій собівартості дротяних матеріалів, вироби з них інтегровані майже у всі сфери людської діяльності. Галузі застосування даних верстатів можна поділити на 4 великі категорії [5]:

1. Машинобудування та транспорт: виготовлення пружин, напрямні елементи, кронштейни і т.д.
2. Будівництво та архітектура: виготовлення арматурних хомутів, елементи просторових каркасів, гаків і т.д.
3. Товари широкого вжитку: виготовлення візків для супермаркетів, стелажів, каркасів меблів.
4. Медицина та прецизійне приладобудування: виготовлення ортодонтичних дуг, ендоскопічних зондів.

Як ми бачимо вироби з дротів застосовуються для різноманітних цілей.

1.2.2 Рівень автоматизації

На Рис 1.10 представлено ручну машину для гнуття дроту [13]. Такий інструмент використовується оператором вручну. Операція є повністю не автоматизованою та займає багато часу. Використовується для одиничних потреб згинання дроту.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 19
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		



Рис. 1.10 [13]

На рис 1.11 зображено невеликий верстат, з системою подачі та згинання. Робота оператора полягає у вирівнюванні дроту та налаштування згинального механізму вручну.

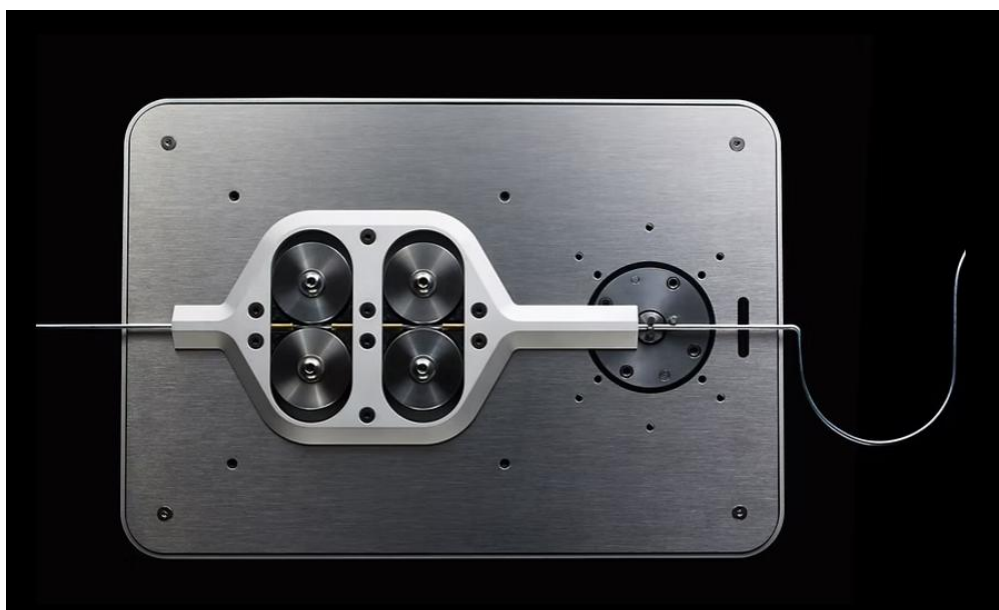


Рис 1.11 [14]

Повністю автоматизований верстат без участі людини представлено на Рис 1.9, він виконує всі функції без оператора, потрібно тільки замінювати вчасно бухту.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 20
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

1.2.3 Принцип роботи

Як ми бачимо з аналізу всіх типів верстатів гнуття труб та дроту принцип роботи полягає у використанні 3 основних модулів.

Перший головний модуль це система вирівнювання. Так як дріт приходить на виробництво в бухтах, то його потрібно неодмінно вирівняти для подальшої роботи з ним. Через кривизну дроту можливість отримання браку зростає в кілька разів. Цей механізм складається з блоку послідовно встановлених роликів в шаховому порядку малого діаметру. На Рис 1.12 зображено типовий механізм вирівнювання дроту, який складається з станини(1), роликів малого діаметру(2)

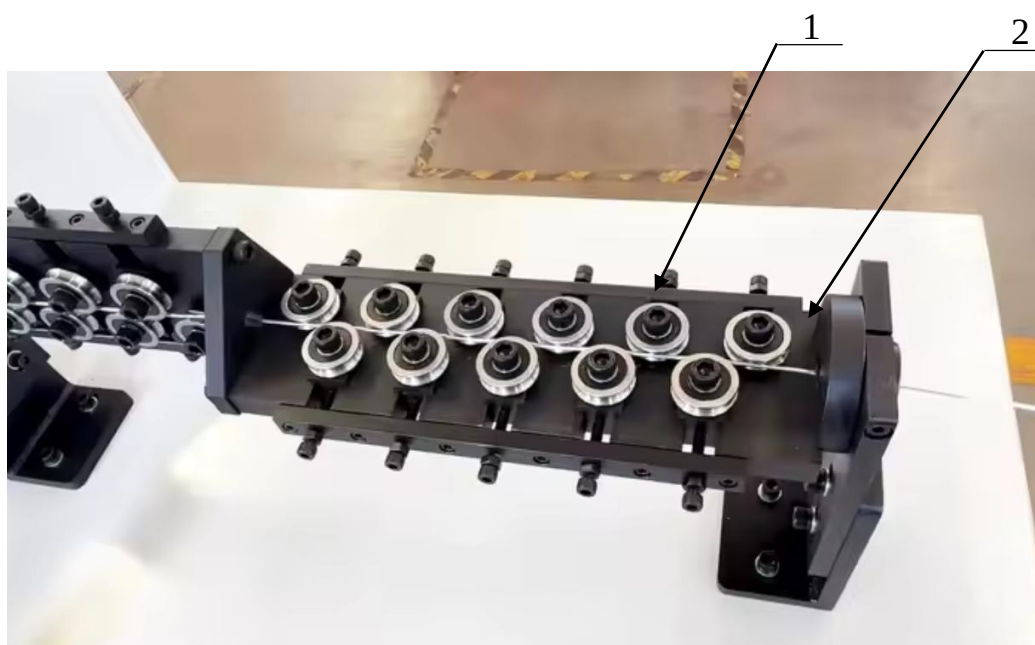


Рис 1.12 Система вирівнювання дроту [15] (1 – станина, 2 – ролики)

Наступним головним модулем є система подачі. В основному вона складається з фрикційних роликів великого діаметру які за рахунок тертя протягують дріт, без механічних пошкоджень, в робочу зону на потрібну довжину. В рух приводяться за рахунок великих сервомоторів на точно заданий кут. Це забезпечує високоточне переміщення дроту вздовж осі в зону

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

робочого інструменту. На Рис.1.13 зображено типову конструкцію, а саме станина(1) ролики великого діаметру(2)

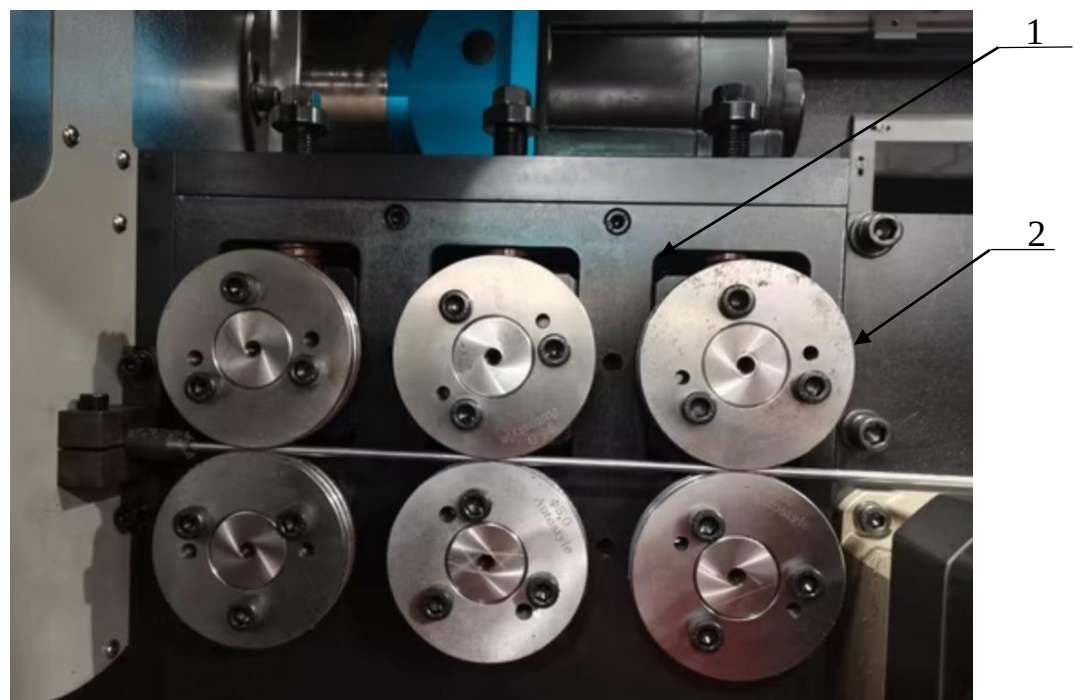


Рис. 1.13 Типова конструкція механізму подачі [15] (1 – станина, 2 – ролики)

Кінцевим механізмом є система згинання дроту. Часто застосовується кругла головка, в залежності від кінематичної схеми верстата вона може мати кілька ступенів свободи: вона обертається навколо осі дроту, переміщається в радіальному напрямку та повертає сам згинальний інструмент. Деформація металу досягається завдяки обкочуванню дроту навколо центральної матриці

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 22
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

або за допомогою висувних штифтів. На Рис 1.14 зображено типовий механізм гнуття який складається з двох матриць: першої (1) та другої (2).

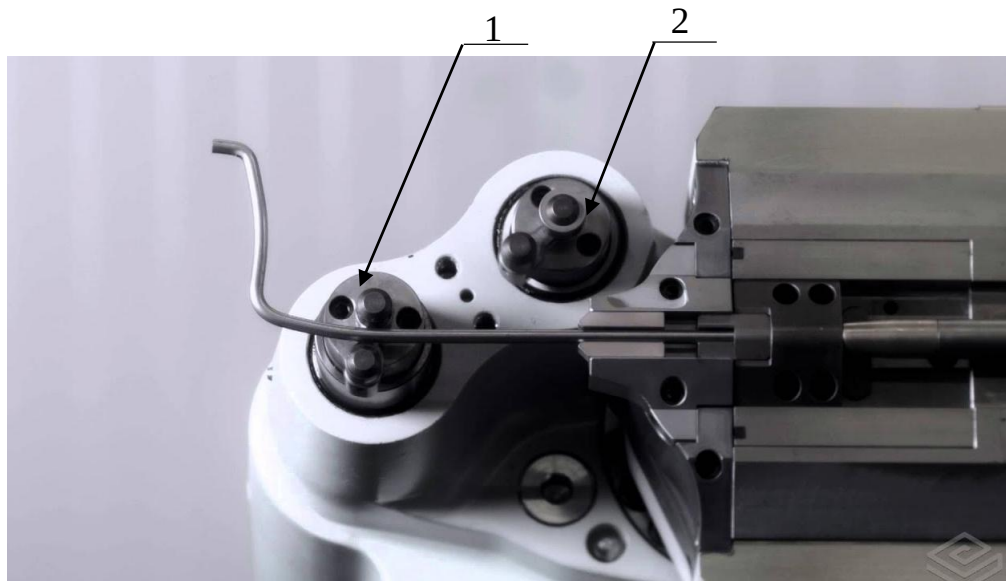


Рис 1.14 Типовий механізм згинання [15] (1 – матриця перша, 2 – матриця друга)

1.2.4 Схемні рішення

Проектування будь-якого сучасного автоматизованого обладнання вимагає чіткого поділу його архітектури на логічні підсистеми. У мехатроніці механічна частина (залізо) та електронна частина (керування) не існують окремо — вони працюють як єдиний безперервний контур. Тому для повного розуміння того, як саме верстат перетворює програмний код у фізичне формоутворення заготовки, необхідно детально опрацювати його базові схемні рішення [16].

Схемні рішення виконують роль своєрідного технічного фундаменту. Вони дозволяють абстрагуватися від складних 3D-моделей і побачити чисту логіку роботи машини: звідки береться енергія, як вона трансформується і куди передаються керуючі сигнали. Це дає змогу ще на етапі раннього проектування правильно підібрати компонентну базу та виключити можливі конфлікти між вузлами.

На рисунку 1.15 представлено електричну схему верстата на базі ардуіно [17]:

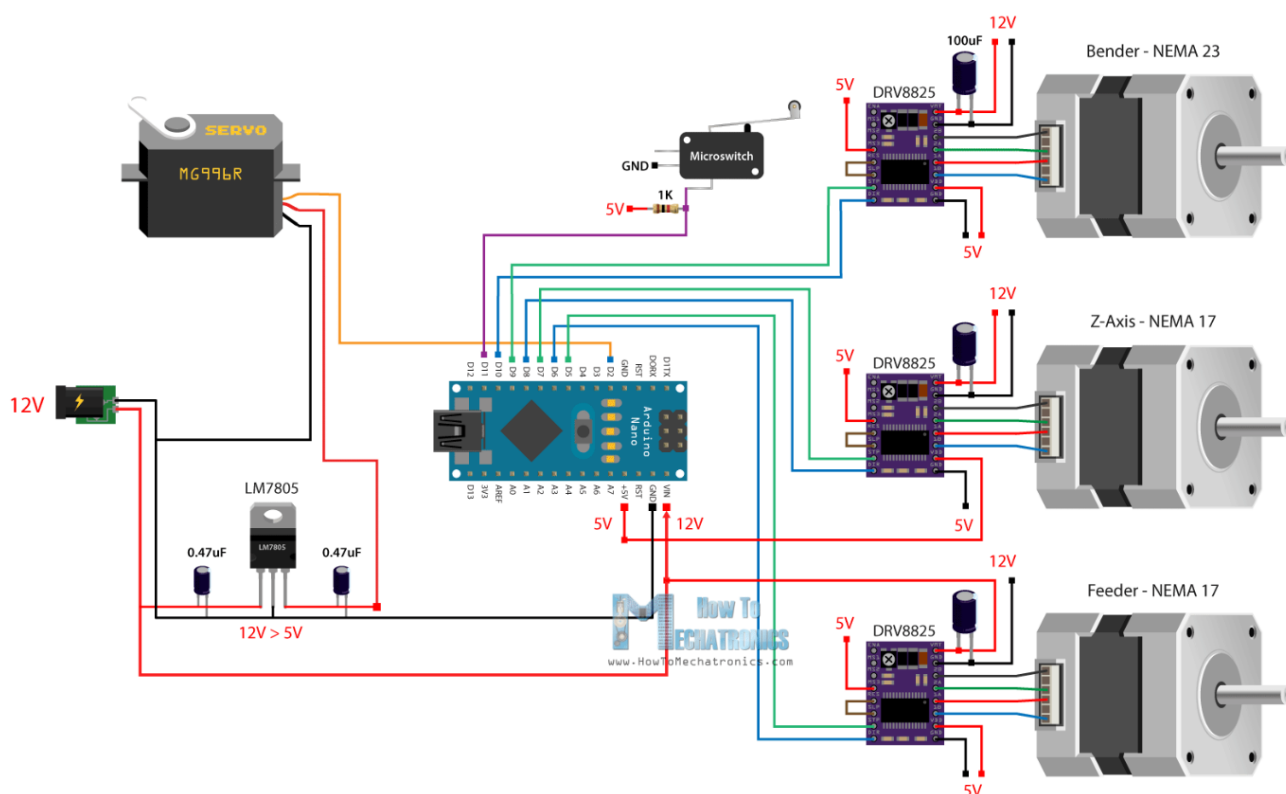


Рис 1.15 Електрична схема верстата [17]

1.2.5 Переваги та недоліки розглянутих верстатів

Для остаточного обґрунтування технічних вимог до проектованої мехатронної системи доцільно систематизувати результати огляду існуючих технологій. За результатами аналізу верстатів можна виділити кілька переваг та недоліків.

Промислові ЧПК-верстати для дроту (Рис 1.7). Головна перевага цього обладнання - це висока продуктивність, швидкість роботи та здатність формувати 3-Д форму будь якої конфігурації. Це можливо завдяки потужному програмному забезпеченню. Проте їхнім недоліком є те, що вони орієнтовані на твердий метал великого діаметру такі як сталь та подібні, на таких верстатах гнути мідь діаметром 2 мм буде недоцільно через її велику пластичність. Також дане обладнання зорієнтоване на великосерійне виробництво і використовувати його для виготовлення «клеверів» просто

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
24

невигідно - занадто дороге обладнання. Також великою перевагою таких верстатів є повна автоматизація всіх робочих процесів, тому кожна деталь виходить дешевше і простіше. Завдяки виключенню людського фактору з виробництва кожна деталь виходить однаковою, що в межах виготовлення конюшин з міді є критично важливим. Недоліком таких автоматизованих систем є їхні масогабаритні параметри, як видно з Рис 1.7 верстат має великий розмір що не підходить для виготовлення антен в межах обмеженого простору. Для спрощення аналізу складемо таблицю переваг та недоліків готових верстатів[7-15].

Таблиця 1.1 Переваги та недоліки готових верстатів

Переваги	Недоліки
Висока продуктивність	Не пристосовані до обробки м'яких металів(міді)
Швидкість роботи	Зорієнтоване на великосерійне виробництво
Здатність виготовлення будь якої форми	Висока вартість обладнання
Повна автоматизація	Масогабаритні параметри
Ідеальна повторюваність виробів	

1.3 Методи та методики вирішення проблематики

Створення спеціалізованого мехатронного верстата для формоутворення мідного дроту діаметром 2 мм вимагає комплексного інженерного підходу. Оскільки проектуване обладнання поєднує в собі точну механіку, силові приводи та електронну систему керування, для вирішення поставленої проблематики застосовується низка взаємопов'язаних методів та методик дослідження [6,16].

1. Метод автоматизованого проектування(CAD-моделювання)

Основним інструментом інженера при розробці нових виробів або при удосконаленні та автоматизації існуючих використовують системи тривимірного моделювання, наприклад програма SolidWorks. Цей метод дозволяє не лише розробити концептуальну ідею механічних вузлів, електроніки а й верстата в цілому. Також такий метод дозволяє провести просторовий аналіз на наявність кінематичних конфліктів. Додатково проводиться симуляція всього верстата на роботу всіх механічних елементів.

2. Аналітичний та розрахунковий-кінематичний метод

Для забезпечення заданої точності геометричних параметрів антен застосовується класичні методи теорії механізмів та машин та опору матеріалів. Зокрема використовуються наступні методики розрахунку: зусиль пластичної деформації металу, необхідний крутний момент на валу виконавчих механізмів, передавальних відношень зубчастих та пасових передач, швидкості подачі та обертання згинальної матриці [4-5].

3. Методи синтезу систем керування мехатронними комплексами

Вирішення проблеми точного висування довжини дроту та синхронізації рухів всіх моторів базується на методах теорії автоматичного керування. Для цього використовується методика розробки алгоритмів крокового позиціонування. Програмне керування верстатом вимагає перетворення лінійних міліметрів висування заготовки та кутових градусів згину у відповідну кількість дискретних електричних імпульсів (кроків), що подаються на драйвери сервокрокових двигунів. Також використовується

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст.
						26
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

методика поєднання всіх датчиків та двигунів в одну спільну мехатронну систему для реалізації та автоматизації верстата [6,16].

4. Експериментальні методики

Після виготовлення верстата або його основних елементів проводиться цикл тестувань для калібрування датчиків, налагодження сили притискання роликів для уникнення проковзування, вимірювання фактичної геометрії отриманих пелюсток, коригування програмного коду по факту встановлення верстата [16].

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 27
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 1

На основі проведеного в першому розділі комплексного аналізу технологій та обладнання для просторового формоутворення металів можна зробити кілька ключових висновків.

Стрімкий розвиток галузі БПЛА створив масовий попит на високоточні антени кругової поляризації. Однак на ринку обладнання наразі відсутні готові спеціалізовані рішення для їх виготовлення. Існуючі універсальні ЧПК верстати є економічно не рентабельними та масогабаритно-надлишковими для потреб згинання дроту міді. З іншого боку використання ручних кондукторів для виготовлення антен призводить до великої кількості браку через значний вплив людського фактору.

З огляду на це є один справедливий варіант для вирішення виявленої проблема – створення автоматизованого вузькоспеціалізованого настільного верстата. Дана розробка повинна містити в собі концепцію безперервного машинного циклу, яка включає в себе інтегроване розмотування бухти, роликове рихтування міді, точне фрикційне дозування та згинання. При цьому обладнання повинно зберігати поверхневий шар мідного провідника та не деформувати метал.

Для успішної реалізації проекту було сформовано комплексну методологічну базу. Вона включає в себе застосування методів 3D моделювання для просторової компоновки вузлів та проведення анімації, аналітичний метод теорії механізмів та машин для розрахунку кінематичних ланцюгів та методів автоматичного керування для автоматизації виробництва.

У результаті аналізу існуючих рішень та сформованих вимог до проектованої мехатронної системи утворено чітке технічне завдання. Вимоги розглянуті вище є вихідними даними для розробки функціональних та кінематичних схем верстата.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 28
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Розділ 2. Інженерне проектування та обґрунтування параметрів мехатронної системи верстата

Розробка сучасного автоматизованого обладнання з числовим програмним керуванням вимагає комплексного інженерного підходу, де механічна конструкція, електронна база та програмні алгоритми розглядаються як єдиний синергетичний комплекс [16]. Для досягнення високої точності формоутворення антен необхідно враховувати сукупність взаємопов'язаних чинників: від фізико-механічних властивостей мідного дроту та умов контактного тертя у вузлах подачі до динамічних характеристик приводів та дискретності обробки сигналів контролером [5, 6]. Тільки через глибоке опрацювання всіх конструктивних нюансів та проведення точних розрахунків можливе створення надійної мехатронної системи, здатної забезпечити повторюваність геометричних параметрів виробів у автоматичному режимі [16]. В цьому розділі буде проводитися конструювання верстату повністю з «нуля», використовуючи стандартні інженерні підходи.

2.1 Обґрунтування компоновальних рішень та конструктивне виконання вузлів верстата

При розробці верстата для гнуття дроту ключовим та першочерговим став вибір такої кінематичної схеми, яка б забезпечувала жорсткість при гнутті дуже малих радіусів та високу повторюваність геометрії біполярних антен. При аналізі всіх існуючих рішень які розписані в розділі 1 та виходячи з технічного завдання, було прийнято рішення зупинитися на консольно-роликовій системі з окремим рухомим відрізним модулем. Така компоновка дозволяє відділити кінематику верстату від просторового формування дроту, для спрощення проектування та обслуговування.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 29
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.1.1 Опис загального вигляду

Проектування верстата здійснювалося з урахуванням специфіки виготовлення антен типу «конюшина», що мають складну просторову форму. Антена призначена для використання в галузі радіоелектронної боротьби(РЕБ), розроблена для точкової роботи в заданому вузькому діапазоні, що робить її ідеальним вибором для завдань, які потребують високої точності та стабільного сигналу [18]. На рисунку 2.1 продемонстровано готову антену з круговою поляризацією, яка складається з випромінювальних елементів (1) виготовлених з мідного дроту зігнутого у спеціальну форму, центральний фідер (2) – це кабель для з'єднання пелюсток з роз'ємом, вузол живлення (3) – це критично важлива ділянка де всі пелюстки сходяться разом, SMA – роз'єм (4) призначений для підключення антени до радіопередавача.

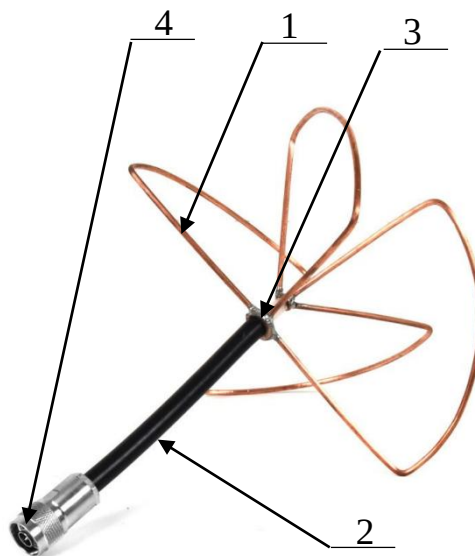


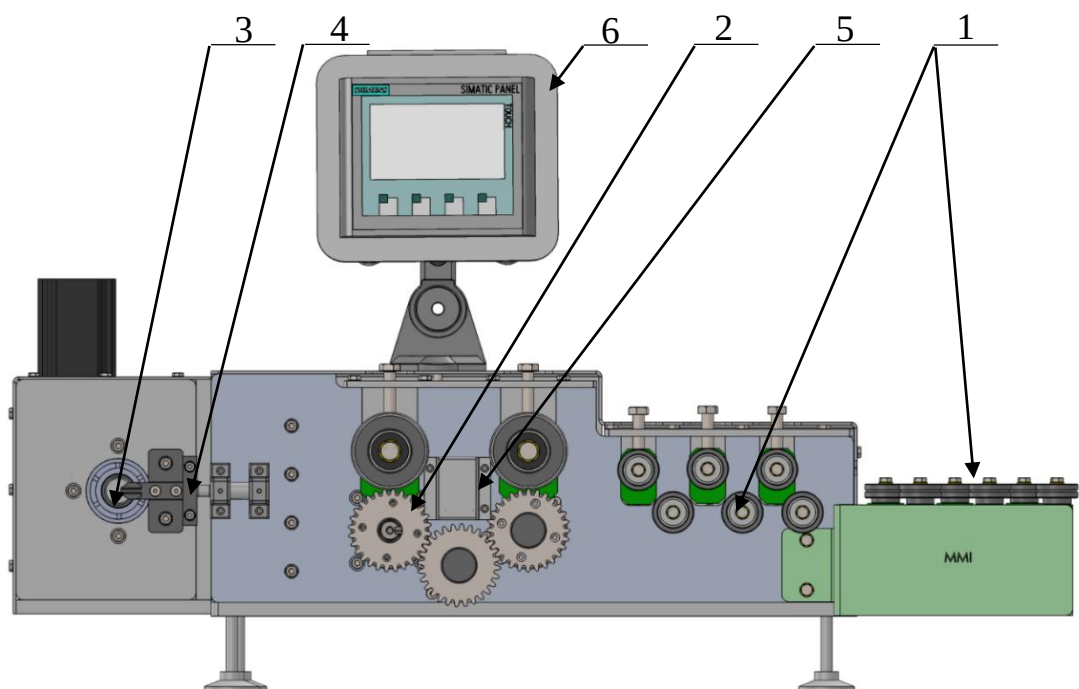
Рис 2.1 Антена з круговою поляризацією [18] (1 – випромінювальні елементи, 2 – кабель, 3 – вузол живлення, 4 – SMA – роз'єм)

Як зрозуміло з опису – антена є геометрично складною через дуже малі радіуси згину. Відповідно через це з'являється складність у масштабуванні виготовленні даного виробу, основною проблемою є те що кожен випромінювальний елемент(1) повинен бути точно в розмірах з мінімальним допуском. Враховуючи ці технологічні проблеми, було спроектовано спеціалізований верстат для автоматичного гнуття мідного дроту (Рис 2.2). Це

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 30
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

дозволяє забезпечити високу повторюваність геометрії та масштабувати процес. На Рис 2.2 продемонстровано загальний вигляд верстата розробленого для гнуття пластичної міді. Основою та перевагою проєкту є його модульна компоновка, що зумовлена специфікою геометрії антен. Оскільки мідний пруток дуже пластичний було прийнято рішення про консольне розташування робочих органів.

Конструкцію умовно можна розділити на чотири окремі функціональні модулі: горизонтальне та вертикальне вирівнювання дроту (1), вузол подачі дроту (2), вузол згинання (3) та вузол відрізання готового дроту (4). Кожен з цих вузлів буде описано згодом. Також в даній конфігурації верстату присутні датчик закінчення дроту (5) та екран для задання параметрів випромінювача (6).



(6)

Рис 2.2 Загальний вигляд верстата для гнуття міді (1 – горизонтальне та вертикальне вирівнювання, 2 – вузол подачі, 3 – вузол згинання, 4 – вузол відрізання, 5 – датчик закінчення дроту, 6 – екран)

Так як верстат має відносно малі габарити, а саме: довжина 768мм, ширина 383мм, висота 461мм, його можна розмістити в будь якому приміщенні та місці, так як механізм не потребує спеціалізованих умов. Одним з прикладом розміщення верстату є звичайні стелажі, які є на кожному військовому складі або виробництві. На Рис 2.3 представлено варіант встановлення з максимально компактним розміщенням бухти. Дане рішення задовольнить приміщення з обмеженим простором. Додатково до верстату в даній конфігурації встановлюється датчик контролю натягу (1), натяжний ролик(2), мотор-редуктор подачі міді з бухти (3).

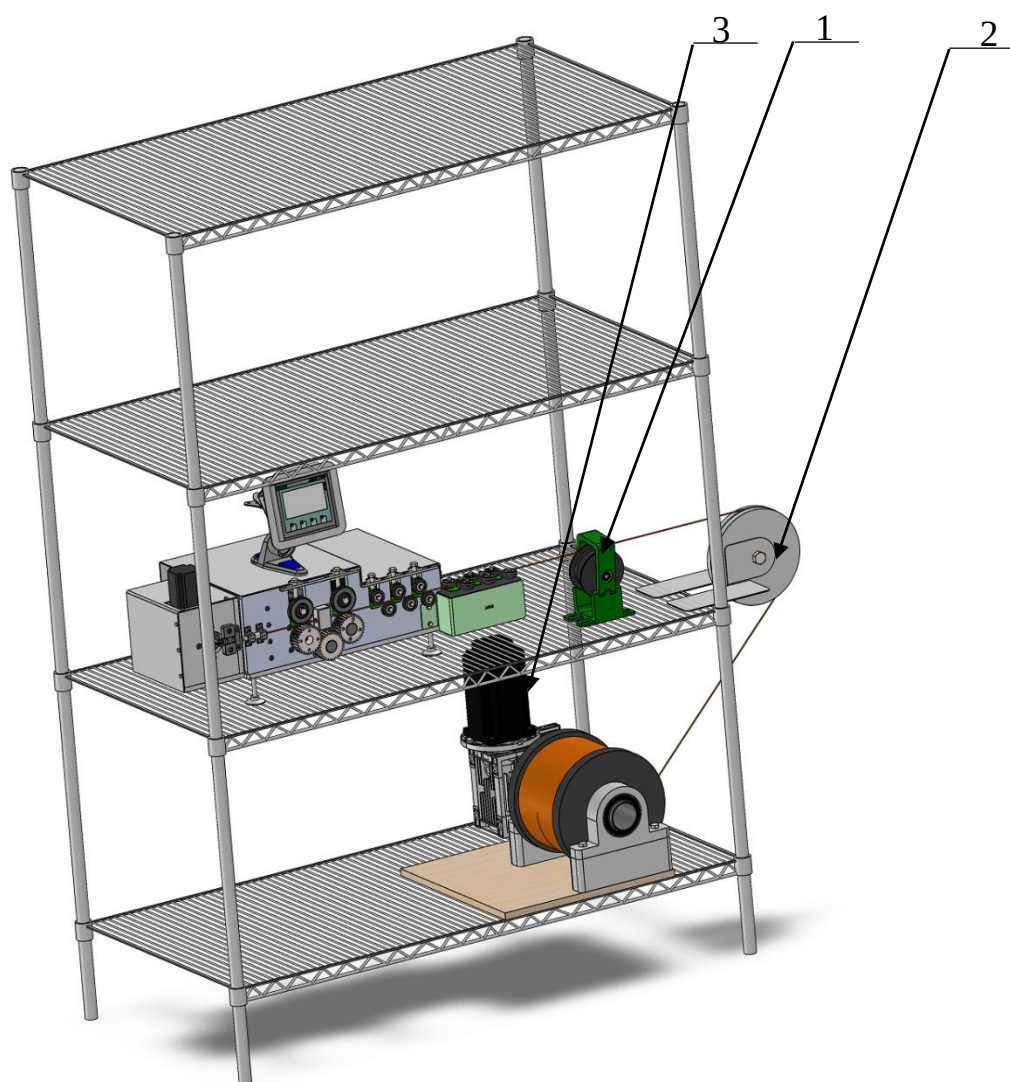


Рис 2.3 Верстат встановлений на стелажі (1 – датчик контролю натягу, 2 – натяжний ролик, 3 – мотор-редуктор)

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
32

Розглянемо кожен вузол окремо відповідно до послідовності роботи: вирівнювання → подача → згинання → відрізання. Така компоновка дозволяє досягти максимальної ефективності роботи верстату без участі людини.

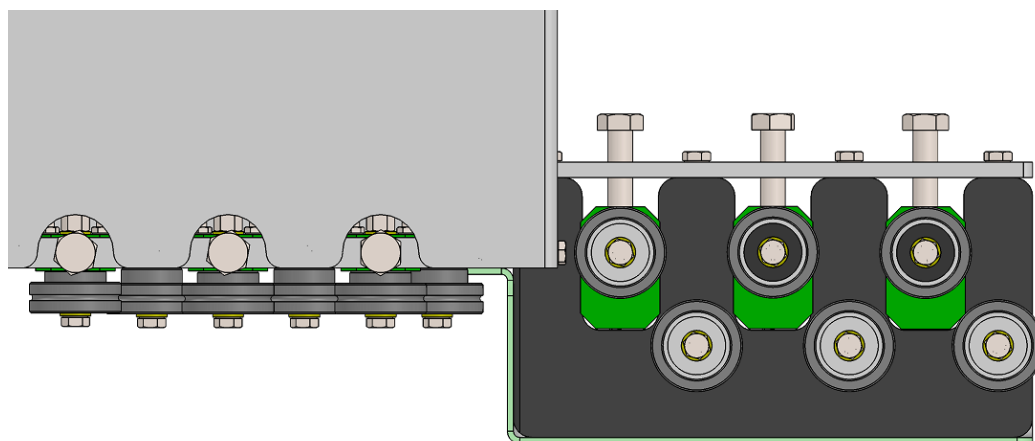
2.1.2 Вузол вирівнювання та рихтування дроту

Вузол вирівнювання є першою і важливою ланкою механізму. Його основне завдання – усунення кривизни матеріалу, так як його зберігають в бухтах (Рис 2.4).

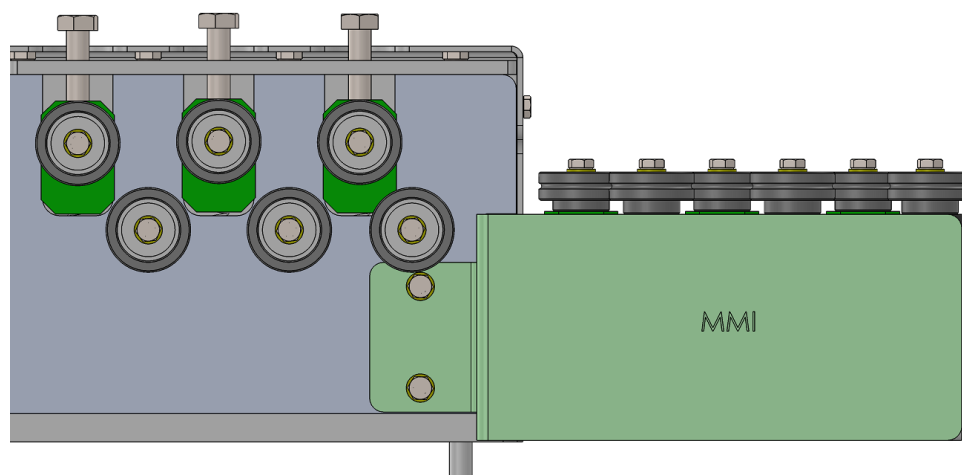


Рис 2.4 Приклад зберігання міді в бухтах [19]

Для забезпечення стабільної роботи було обрано схему багатороликового рихтування у двох площинах. На Рис 2.5 а) продемонстровано вирівнювання горизонтальне, а на Рис 2.5 б) вертикальне.



а)



б)

Рис 2.5 Механізм вирівнювання а)вертикальний, б)горизонтальний

Як видно з Рис2.5 вирівнювання в 2-х площинах відбувається однаковим механізмом, в подальшому розглядатиметься вертикальний механізм. Проаналізуємо конструктивні особливості вузла Рис2.6: він складається з серії роликів які розташовані у шаховому порядку. Кожен ролик (1) встановлено на підшипник (2), що мінімізує опір при натягуванні дроту кроковим двигуном.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
34

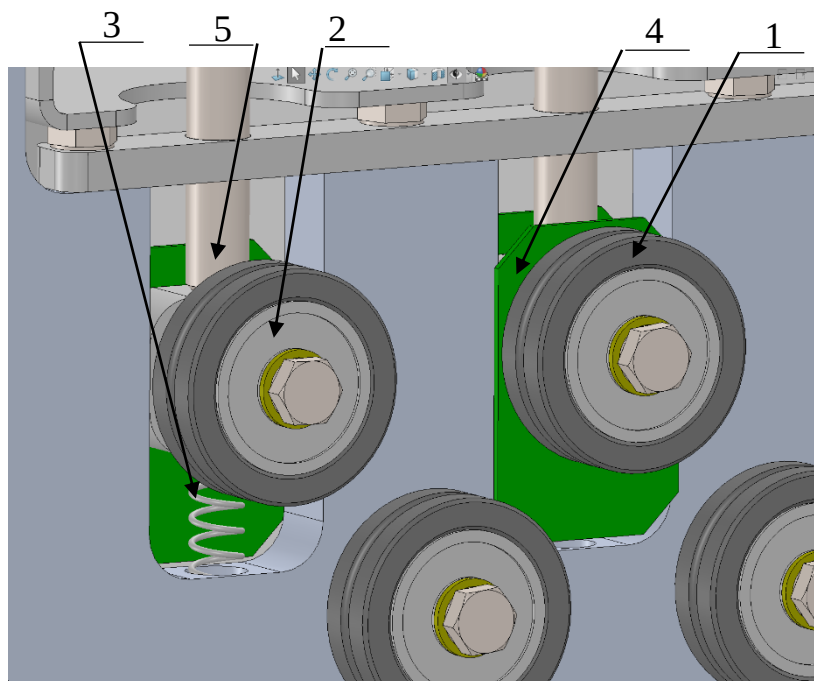


Рис2.6 Будова вузла вирівнювання (1 – ролик, 2 – підшипник. 3 – пружина, 4 – сталева пластина, 5 – притискний гвинт)

При проектуванні враховано важливість регулювання сили притискання роликів до пластичної міді. Тому було застосоване рішення з пружиною(3), яка виконує одночасну роль демпфера та вертикального переміщення, та притискним гвинтом (5). Така система дозволяє налаштувати зусилля, яке потрібно для того щоб дріт вирівнювався без критичних деформацій. Для утримання роликів в своєму місці використовується сталева пластина (4) Вирівнювання відбувається за рахунок знакозмінної пружно-пластичної деформації дроту.[5]

Для виготовлення роликів було обрано сталь 40Х з наступним азотуванням. Такий вибір зумовлений тим, що постійне тертя мідного дроту по поверхні роликів може призвести до їх швидкого виходу з ладу та утворення наклепу. Висока твердість робочої поверхні (50...54HRC) гарантує довговічність вузла без необхідності частої заміни елементів.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 35
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.1.3 Механізм подачі

Механізм подачі є важливим та невід’ємним вузлом всього верстата. Він повинен забезпечувати точне дозування довжини відповідно до заданого розміру «конюшини». Оскільки дріт проходить через систему рихтувальних роликів механізм подачі повинен долати значний опір тертя відповідно до цього потрібно забезпечити високий показник крутного моменту на ведучому валу [16].

Конструктивне виконання вузла зображено на Рис 2.7, який складається з роликів (1), на підшипниках (2), приводної шестерні (3), шестерні «паразитки» (4), датчика закінчення дроту (5),

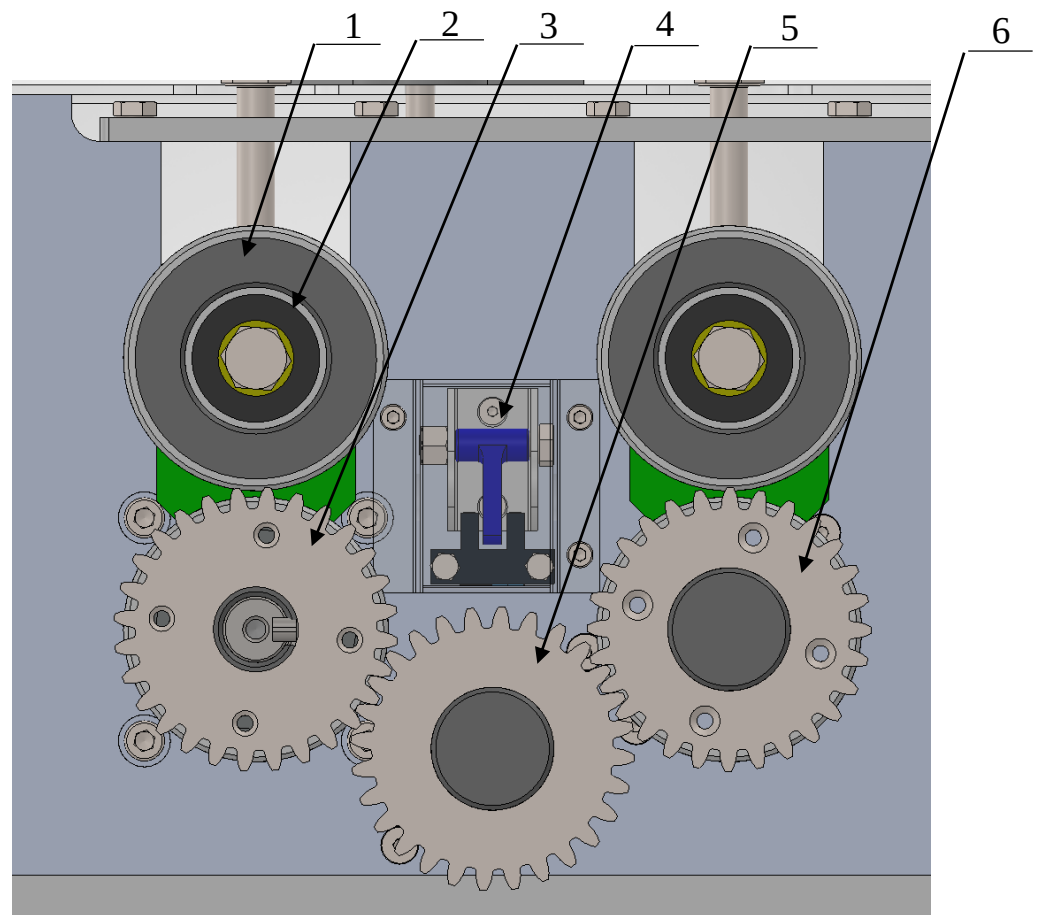


Рис 2.7 Механізм подачі (1 – ролик, 2 – підшипник, 3 – приводна шестерня, 4 – шестерня паразитка, 5 – датчик закінчення дроту, 6 – шестерня)

Принцип роботи полягає в тому, що від вихідного валу редуктора рух передається на ведучий ролик Рис 2.8 (1) до якого приєднано ведучу циліндричну прямозубу шестерню Рис 2.7 (3). Через шестерню «паразитку» рух передається до наступного ролика Рис 2.8 (2) до якого приєднано шестерню Рис 2.7 (6). Таким чином механізм нагадує принцип роботи редуктора, де через зубчасту передачу передається зусилля на інший вал. [20]. У механізмі подачі як у механізмі вирівнювання використана система притискання та демпферування (Рис 2.8) пружиною (3) та гвинтом (4). Також застосовано систему центрування за допомогою металевих пластин (5).

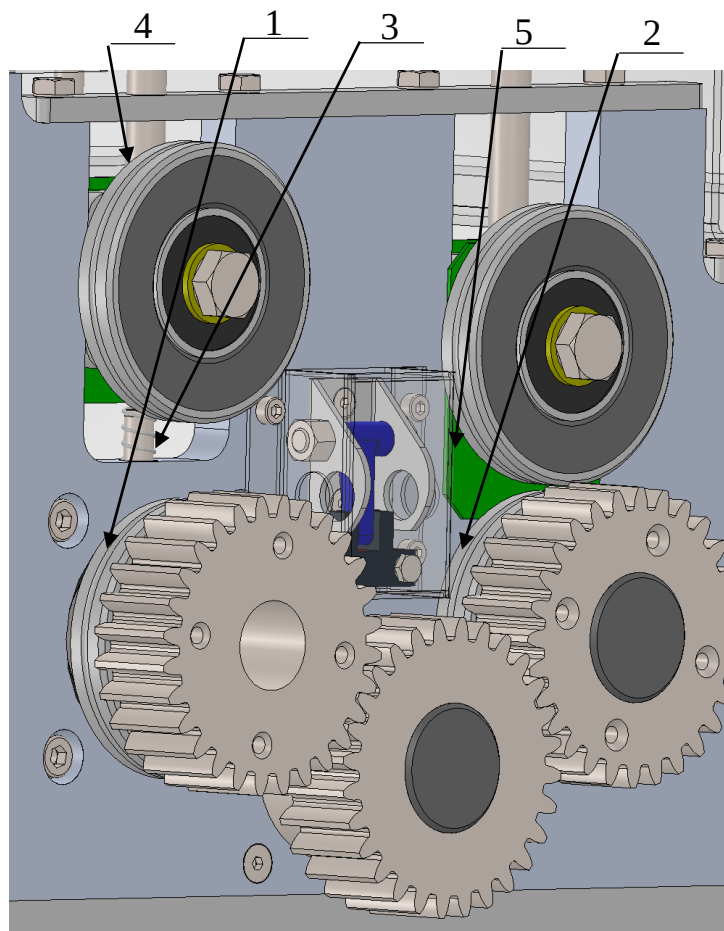


Рис 2.8 Компоненти механізму подачі (1 – ведучий ролик, 2 – ролик, 3 – прямозуба шестерня, 4 – гвинт, 5 – металеві пластини)

В основі модуля (рис 2.9) лежить кроковий двигун NEMA 23 (1), який працює в парі з планетарним редуктором PX57-N016 (2). На відміну від черв'ячних редукторів, планетарний механізм забезпечує високий ККД та має малі габарити. Використання редуктора за передавальним числом 1:6 дозволяє не тільки швидко подавати мідь до згинального механізму, а й збільшити тягове зусилля, щоб подолати силу тертя. Завдяки високій роздільній здатності один крок двигуна відповідає малому переміщенню дроту, що гарантує точність лінійних розмірів «конюшин».

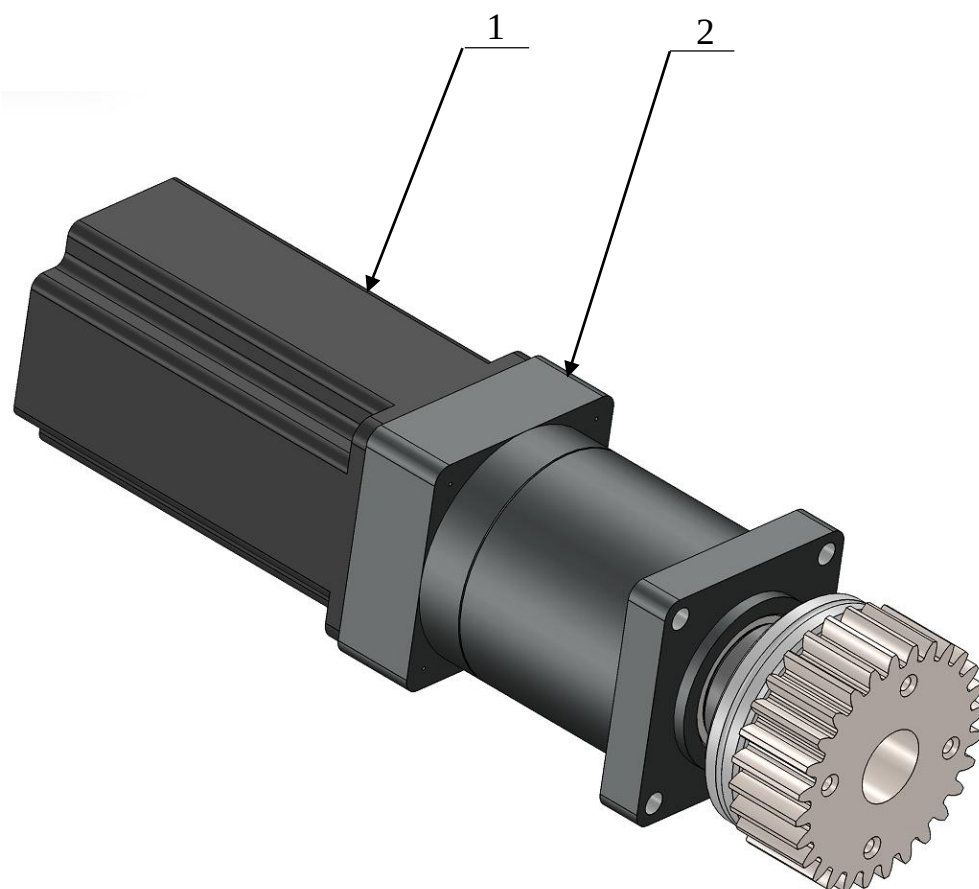


Рис 2.9 Виконавчий пристрій механізму подачі (1 – двигун NEMA 23, 2 – редуктор PX57-N016)

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 38
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.1.4 Механізм згинання

Механізм згинання є найважливішим та найбільш відповідальним вузлом, який забезпечує формування пелюсток антени заданої конфігурації. Особливістю виготовлення антен полягає у необхідності створення малих радіусів згину при дотриманні кутів та розміру дуги. При проектуванні потрібно враховувати пластичність міді та обрати шпindel який зможе створювати форму будь якої конфігурації.

Конструктивне рішення вузла представлено на Рис 2.10, який складається з згинальної головки (1). Вона має в собі згинальний штифт (2), який зміщений від центру на певну відстань для згинання дуже малих радіусів. Жорсткість для міді створюється завдяки направляючій (3), яка одночасно виконує роль упору.

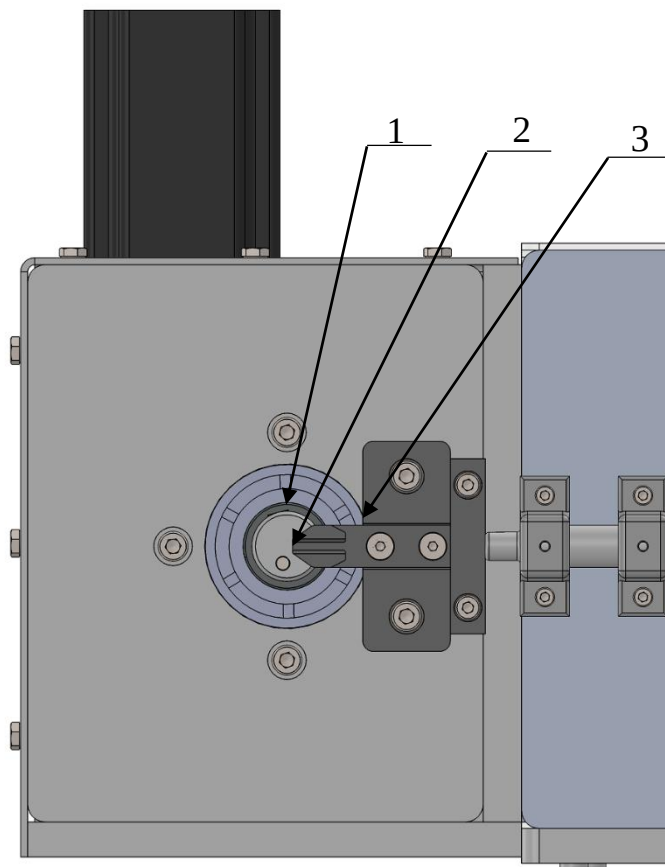


Рис 2.10 Механізм згинання (1 – згинальна головка, 2 – згинальний штифт, 3 – направляюча)

В основі згинального механізму як і в механізмі подачі лежить кроковий двигун NEMA 23 (1), але вже з використанням черв'ячного редуктора NMRV030 (2), так як це забезпечить механізм високим згинальним моментом, який потрібний для легкого та швидкого формування «клеверів». Також система забезпечена датчиками крайніх положень(3).

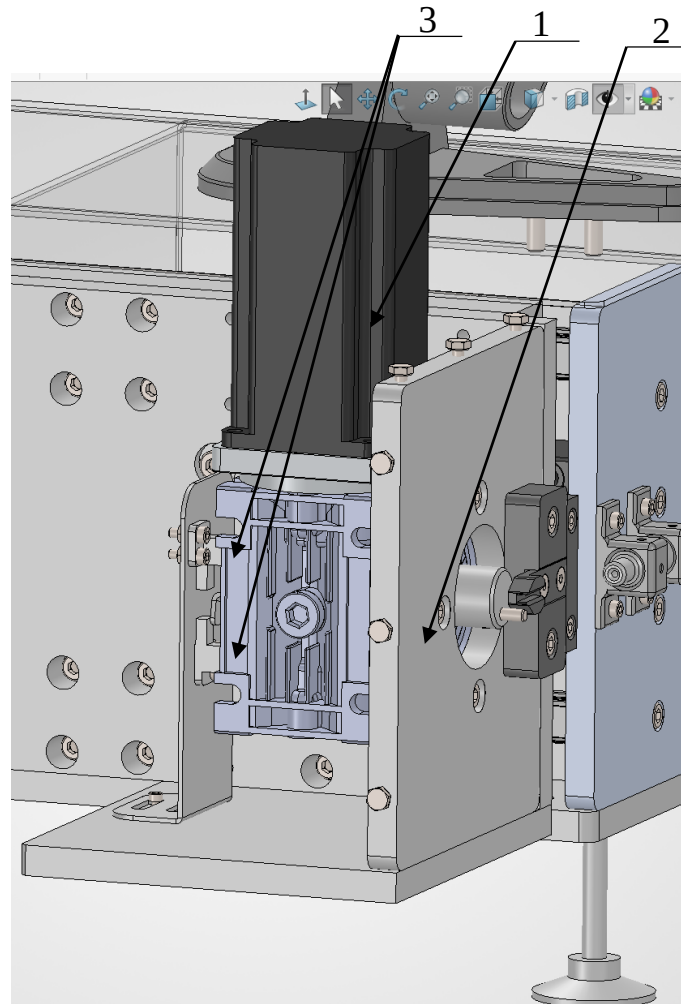


Рис 2.11 Компоненти механізму згинання (1 - двигун NEMA 23, 2 - черв'ячний редуктор NMRV030, 3 – датчик крайніх положень)

Враховуючи що шпиндель та штифт постійно перебувають під дією зосередженого навантаження, до них потрібно застосувати підвищенні вимоги щодо жорсткості та зносостійкості. Згинальний палець виконано з інструментальної сталі У8А. Для підвищення твердості застосовано гартування до твердості 52...56 HRC. Шпиндель виконаний зі сталі 45. Це забезпечує необхідну стабільність осей обертання.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 40
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.1.5 Механізм відрізання

Фінальним етапом технічного циклу є відділення готового виробу від основної катушки дроту. Механізм повинен відрізати чітко за вказаним розміром та без утворення задирок. На Рис 2.12 представлено зовнішню частину вузла відрізання з використанням твердосплавного гострого ножа (1), прямою та одночасно упорною втулкою (2).

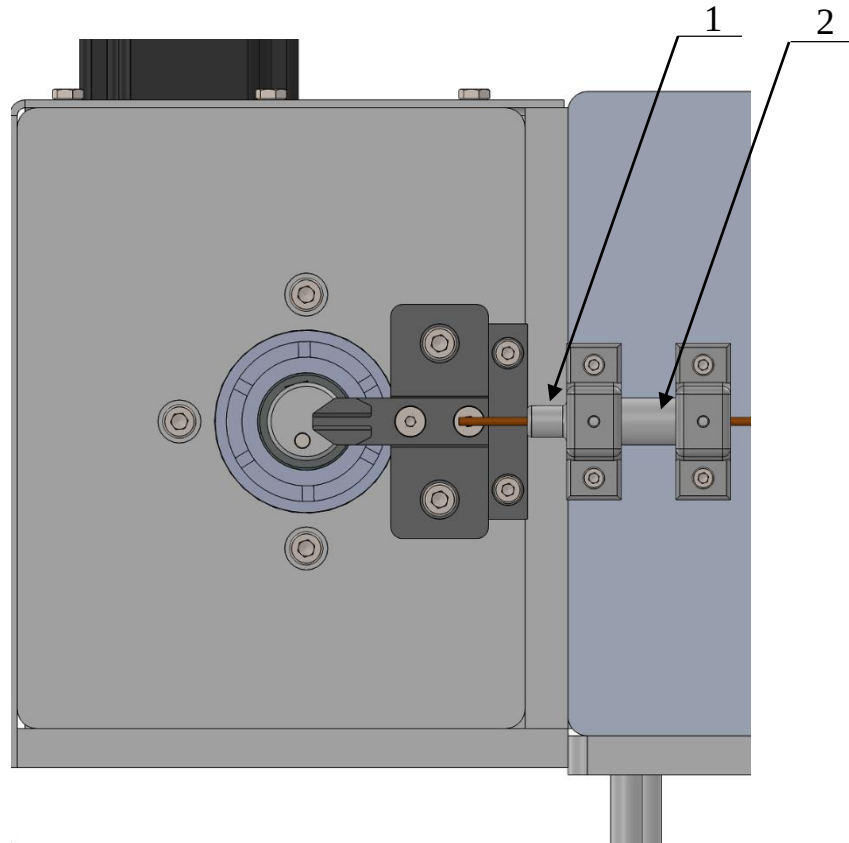


Рис 2.12 Вузол відрізання зовні (1 – ніж, 2 – напрямна втулка)

Перед початком проектування механізму було поставлено питання як перетворити обертальний момент двигуна в поступальний рух цілої каретки. Для вирішення цього питання було прийнято рішення звернутися до стандартних 3-х осевих фрезерних верстатів. Конструктивне виконання вузла представлено на Рис 2.13. Основним виконавчим пристроєм є сервокроковий двигун NEMA 17 (1), який через зубчасту пасову передачу (2), з передаточним відношенням 1:2 для забезпечення потрібного моменту, передає обертовий рух на гвинт кульково-гвинтовій пари (КГП) SFU-1605 (3). Обертання гвинта

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 41
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

змушує гайку КГП (4) переміщувати рухома каретка (5), на якій закріплено ніж (Рис 2.12 (1)) та знаходиться механізм згинання (Рис 2.10). Вузол рухається на стандартних напрямних (6) HIWIN HGL15, які часто використовуються у верстатному обладнанні. Свої крайні положення механізм розуміє за рахунок механічних датчиків (7) Z-15GW22-B, також верстат контролює свою координату в будь який момент часу за рахунок індуктивного датчику відстані (8). Така компоновка дозволяє відсікати готові «конюшини» швидко та точно, та сам контролює свої крайні положення та координату в реальному часі для забезпечення повної автономності.

2.2 Автоматизація операцій верстата за допомогою електропневматичних приводів

Ефективність роботи сучасного мехатронного обладнання безпосередньо залежить від раціонального вибору типу виконавчих

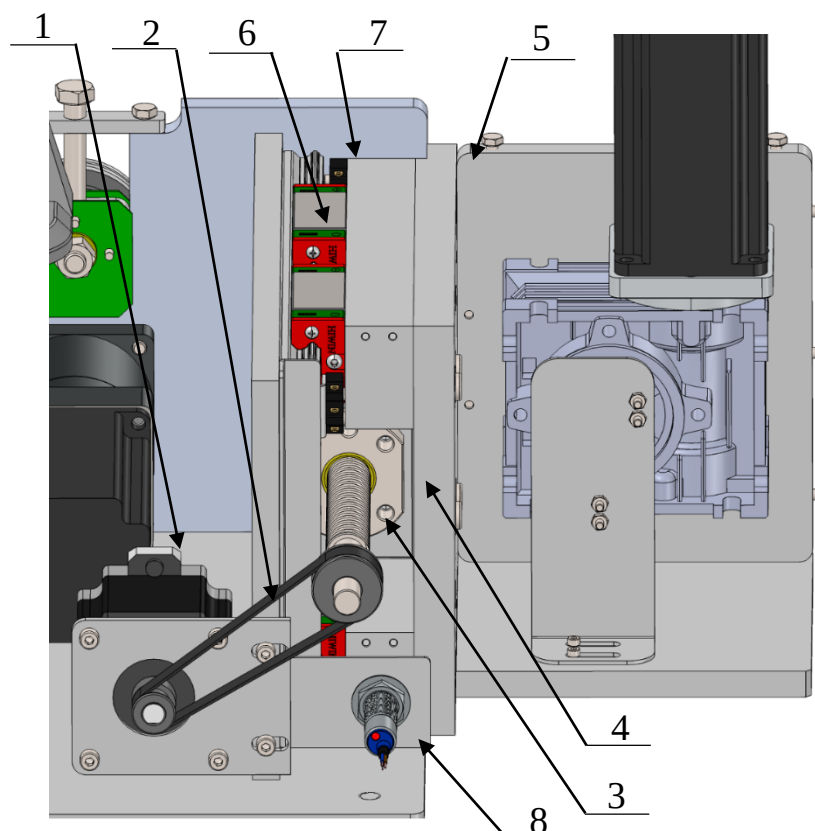


Рис 2.13 Вузол відрізання (1 - NEMA 17, 2 – пасова передача, 3 – КГП, 4 – гайка КГП, 5 – каретка, 6 – напрямні, 7 – механ. датчики, 8 – опт. датчик)

механізмів для кожної окремої технологічної операції. У процесі оптимізації конструкції верстата для автоматизованого просторового гнуття дроту було прийнято рішення про перехід до концепції гібридної електропневматичної системи приводів.

Запропонована конфігурація верстата в пункті 2.1 має ряд недоліків. Для постійної та якісної роботи потрібно слідкувати за виконавчими пристроями, здійснюючи перевірку натягу притискних гвинтів (Рис 2.6 (5) та Рис 2.8 (4)). У одного верстату таких вузлів вісім, тобто оператору потрібно час від час закручувати всі ці болти і з досить великою точністю, що може зайняти до години робочого часу. Також досить вагомою проблемою може стати розтяг ременів, які потрібно контролювати та постійно здійснювати їх натяг або заміну, що також займає час, який верстат міг виготовляти «конюшини». Щоб вузол відрізання працював безперебійно потрібно змащувати кульково-гвинтову пару, для цього потрібно зняти зовнішні кришки та обережно нанести мастило, не замастивши мідь, та ремінь. Всі перераховані вище проблеми створюють умови, при яких верстат напівавтоматизований та потребує постійної присутності оператора та частого обслуговування, що призводить до втрати частки готових виробів. У сучасних реаліях це може стати проблемою.

2.2.1 Автоматизація механізму притискання роликів у вузлах подачі та вирівнювання

У базовій концепції верстата використовується притискання здійснюється механічно, а саме різьбовим з'єднанням. Такий підхід має ряд недоліків: вплив людського фактору, ризик деформації міді, відсутність тонкого налаштування зусилля. Для усунення цих недоліків вузол було повністю перепроєктовано із застосуванням лінійного пневматичного привода. Встановлення компактного пневмоциліндра дозволяє реалізувати систему адаптивного притискання. Перевагами впровадження такої системи є:

1. Стабільність зусилля, яке циліндр забезпечує постійно, повітря працює як пневматична пружина.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 43
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2. Точність налаштування, яке забезпечує притиск з заданою силою, стабільно на кожній з восьми ділянок.

3. Автоматизація заправки, яке завдяки керуванню з контролера відбувається простіше та швидше, за рахунок одночасного розведення та зведення всіх притискних роликів.

Конструктивну реалізацію притискання із застосуванням електропневматики зображено на Рис 2.14, де використано пневмоциліндр (1), притискні ролики подачі (2) та вирівнювання (3)

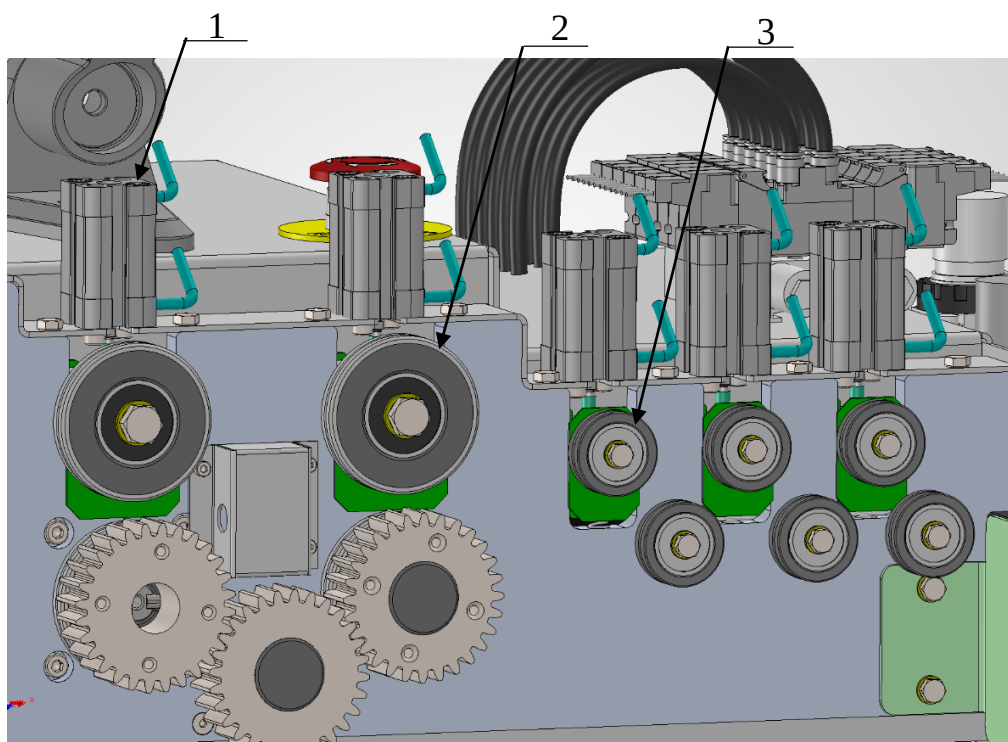


Рис 2.14 Інтегрована пневматика в механізми притискання та вирівнювання (1 – пневмоциліндр, 2 – ролики подачі , 3 – ролики вирівнювання)

2.2.2 Автоматизація відрізного механізму із застосуванням лінійного пневмоприводу

У початковій конфігурації для приведення в дію відрізного механізму передбачалося використання електромеханічної системи, що складалось з крокового двигуна (Рис 2.13 (1)), пасової передачі (Рис 2.13 (2)) та кулько-гвинтової пари (Рис 2.13 (3)). Використання пневмоциліндра спрощує кінематику процесу та прибирає повністю пасову передачу та КГП, що дозволяє зменшити обслуговування верстата. Так як для відрізання потрібна

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 4.4
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

не тільки точність а й високе динамічне зусилля та максимальної швидкості, використання пневматики в цьому механізмі є абсолютно доцільним. Перевагами даного рішення є:

1. Створення різкого ударного імпульсу, так як пневмоциліндр здатний миттєво вивільняти енергію стисненого повітря.
2. Зменшення кількості рухомих механізмів, що дозволяє не витратити час на їх обслуговування
3. Надійність та довговічність, яке забезпечується тим, що пневмоциліндри можуть працювати роками.
4. Проста інтеграція, в якій не потрібно реалізовувати натяг ременю.

Інтегроване рішення по заміні приводних елементів зображено на Рис 2.15, де використано пневмоциліндр (1) та повністю виключено кроковий двигун (Рис 2.13 (1)), пасову передачу (Рис 2.13 (2)), кулько-гвинтову пару (Рис 2.13 (3)), датчики крайнього положення (Рис 2.13 (7)). Завдяки тому, що на циліндр (Рис 2.15 (1)) інтегровані датчики – геркони, у контролера верстат є можливість розуміти початкове та крайнє положення механізму відрізання. При цьому залишаються інтегрованими напрямні HIWIN HGL15 (Рис 2.13 (6)).

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 45
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

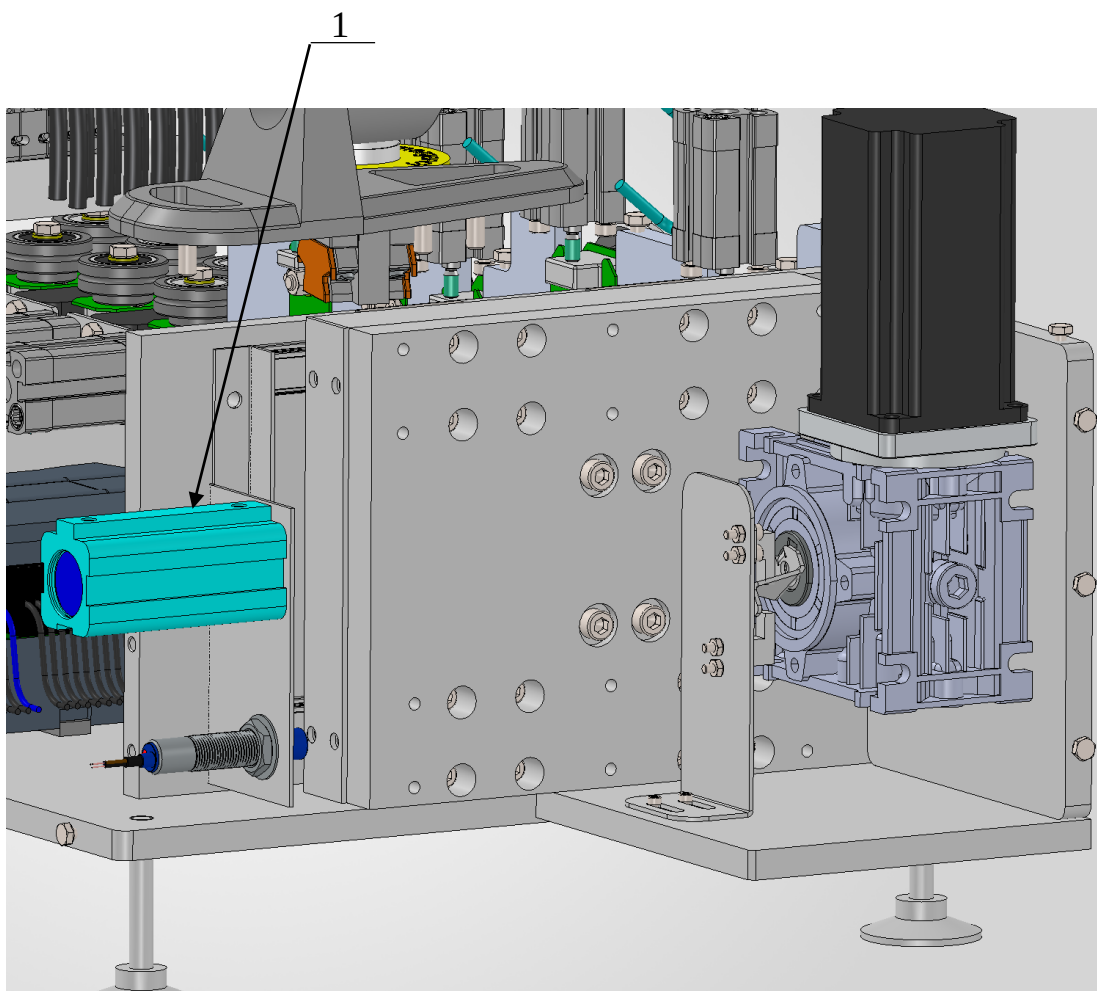


Рис 2.15 Механізм відрізання з інтегрованим пневмоциліндром (позиція 1)

З даною конфігурацією ми отримуємо повністю автоматизований верстат, з спрощеною кінематикою та швидшою роботою.

Верстат з пневматичним обладнанням, так само як і з електричним, можна помістити в приміщення, де мало місця (Рис 2.16), на стандартний стелаж (1). В такій конфігурації до загального габариту додається ще компресор (2) та трубки.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
46

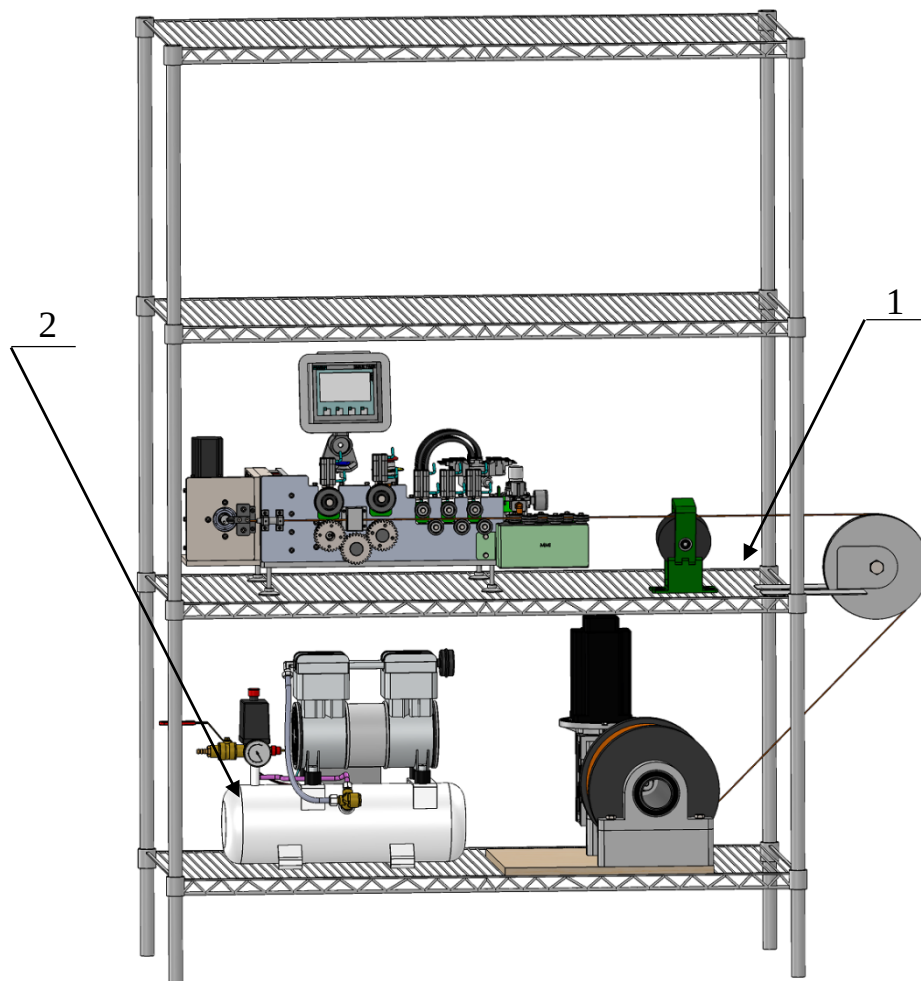


Рис 2.16 Загальний вигляд верстата на стелажі з пневматикою (1 – стелаж, 2 – компресор)

2.3 Розрахунок параметрів пневматичної системи верстата

При проєктуванні та розрахунку пневматичної системи верстата використовуються стандартні інженерні методики, що базуються на законах газової динаміки та прикладній механіці. Головною метою даного підрозділу є визначення геометричних та силових параметрів виконавчих пневмомеханізмів (вузла притискання роликів та відрізного механізму), а також характеристик пневмолінії.

2.3.1 Розрахунок потрібних зусиль для деформування міді

Для правильного вибору виконавчих механізмів необхідно визначити фізико-механічні спротиви мідного дроту при основних технологічних операціях: відрізання та гнуття. Розрахунок базується на властивостях міді та

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 47
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

геометричних параметрах дроту. Для розрахунку прийнято дріт діаметром $d=2$ мм. Подальші формули та принципи розрахунку базують на основних термінах та поняттях опору матеріалів [21].

Вихідні дані для розрахунку:

1. Матеріал: Мідь (Cu);
2. Тимчасовий опір зрізу: $\tau_{зр} \approx 200$ МПа;
3. Межа текучості при згині: $\sigma_T \approx 200$ МПа
4. Діаметр дроту $d = 2$ мм.

Зусилля зрізу $F_{зр}$ є визначальним для вибору параметрів пневмоциліндра механізму відрізання. Воно розраховується з урахуванням площі поперечного перерізу та стану різальних кромek.

Знайдемо площу перерізу міді для подальших обрахунків

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ мм}^2 \quad (2.1)$$

Зусилля зрізу:

$$F_{зр} = k \cdot A \cdot \tau_{зр}, \quad (2.2)$$

де, $k = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ножів.

Підставляємо значення в формулу (2.2) та отримуємо:

$$F_{зр} = 1,2 \cdot 3,14 \text{ мм}^2 \cdot 200 \text{ МПа} = 753.6 \text{ Н}$$

Таким чином для гарантованого перерізання дроту механізм повинен забезпечити статичне зусилля не менше 754 Н.

Для деформування дроту у вузлі гнуття необхідно створити момент, що перевищує межу пружної деформації матеріалу.

Обрахуємо осьовий момент опору перерізу дроту

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 2^3}{32} = 0.785 \text{ мм}^2 \quad (2.3)$$

Необхідний згинальний момент обчислюється за формулою:

$$M_{зг} = W \cdot \sigma_T = 0.785 \text{ мм}^2 \cdot 200 \text{ МПа} = 0.157 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.4)$$

При подачі дроту виникає опір, спричинений тертям у роликах рихтувального вузла та інерцією бухти. Шляхом аналізу для мідного дроту

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст.
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		4.8

малих діаметрів зусилля протяжки $F_{\text{пр}}$ приймається рівним 25-30% від зусилля зрізу [5]:

$$F_{\text{пр}} \approx 0,25 \cdot F_{\text{зр}} \approx 0,25 \cdot 753,6 = 188 \text{ Н} \quad (2.5)$$

Отримані значення є базовими параметрами для подальших розрахунків пневмоприводів та вибору потужності крокових двигунів.

2.3.2 Статичний розрахунок пневмоциліндра відрізання

Для розрахунку потрібно ввести вхідні дані:

$p_m = 0,7$ МПа – абсолютний тиск стиснутого повітря;

$p_a = 0,1$ МПа – атмосферний тиск;

$P_2 = 754 \text{ Н}$ – технологічне навантаження;

$s = 100$ мм – довжина ходу (визначена конструктивно);

$m = 7,1$ кг – маса приєднувальних рухомих частин (визначена конструктивно);

$t = 0,4$ с – необхідний час спрацювання;

Просторове розташування: горизонтальне.

Метою статичного розрахунку є визначення основних геометричних розмірів пневмоциліндра, що забезпечить виконання технологічного завдання.

Визначення діаметру циліндра базується на формулі, яка враховує, що використовується циліндр двосторонньої дії, який розташовано горизонтально:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{0,9 \cdot p_m - p_a}}, \quad (2.6)$$

Знайдемо діаметр поршня відповідно до формули (2.6)

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{754}{0,9 \cdot 0,7 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6}} \cdot 10^3 \approx 43,7 \text{ мм}$$

Знайдену величину округляємо до ближнього значення з нормативного ряду діаметрів [22].

Обираємо $D = 50$ мм.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 49
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Діаметр штока знаходимо із співвідношення:

$$d = (0,25 \dots 0,32)D = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ мм} \quad (2.7)$$

Знайдену величину округляємо до ближнього значення з нормативного ряду діаметрів [22].

Обираємо $d = 16 \text{ мм}$.

Не менш важливим параметром є діаметр умовного проходу приєднувальних отворів, який обраховується наступним чином:

$$d_y \cong D \sqrt{\frac{s}{W_{\text{сер}} t_{\text{оч}}}}, \text{ де} \quad (2.8)$$

$W_{\text{сер}} = 17 \text{ м/сек}$ – середня швидкість потоку стиснутого повітря в підвідній лінії при наповненні робочої порожнини пневмоциліндру. Відповідно до (2.8), діаметр умовного проходу:

$$d_y \cong 50 \text{ мм} \sqrt{\frac{100 \text{ мм}}{17 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \cdot 0,4 \text{ с}}} = 6 \text{ мм}$$

Знайдене значення d_y приєднувального отвору пневмоциліндру округляється до найближчого значення з нормалізованого ряду і вибирається відповідна йому різьба [22]

Таблиця 2.1

Умовний прохід, мм	4	6	8	10	12	13	15	16	20	25
Приєднана різьба	K1/8»		K1/4»	K3/8»			K1/2»		K2/4»	K1»

Відповідно до цього обираємо $d_y = \text{мм}$ та різьбу K1/8»

Ми отримали значення, які дозволяють спроектувати пневмоциліндр двосторонньої дії. Такі розміри дозволяють легко інтегрувати його в механізм відрізання.

2.3.3 Статичний розрахунок пневмоциліндра притискання

Розрахунок проводиться за тією самою методикою що й для циліндра механізму відрізання [22]. Пневмоциліндри притиску призначені для створення нормального зусилля на контактній поверхні ролика з дротом, що необхідно для передачі тягового зусилля за рахунок сил тертя.

Для стабільного протягування мідного дроту діаметром 2мм без проковзування, сила тертя $F_{\text{тертя}}$, що виникає в зоні контакту, має перевищувати сумарний опір протягуванню $F_{\text{опір}}$ (опір у роликах вирівнювання) [21]:

$$F_{\text{тертя}} \geq k \cdot F_{\text{опір}}, \quad (2.9)$$

де, $k = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу зачеплення.

Враховуючи, що:

$$F_{\text{тертя}} \geq f \cdot P_{\text{заг}}, \quad (2.10)$$

де, $f = 0,15 \dots 0,2$ – коефіцієнт тертя між сталевим роликом і міддю.

Скомбінувавши формулу (2.9) та (2.10) отримаємо необхідне зусилля притиску:

$$P_{\text{заг}} \geq \frac{k \cdot F_{\text{опір}}}{f}, \quad (2.11)$$

Згідно з практичними даними для верстатів такого типу, сумарний опір протягуванню дроту діаметром 2 мм складає близько 25...35 Н. Тоді з формули (2.11):

$$P_{\text{заг}} \geq \frac{1,3 \cdot 30}{0,18} = 216 \text{ Н}$$

Вхідні дані для пневмоциліндра:

$p_m = 0,7$ МПа – абсолютний тиск стиснутого повітря;

$p_a = 0,1$ МПа – атмосферний тиск;

$P_2 = 216 \text{ Н}$ – технологічне навантаження;

$P_0 = 10 \text{ Н}$ – зусилля попереднього натягу пружини;

$P_{0\text{max}} = 25 \text{ Н}$ – зусилля пружини;

$s = 40$ мм – довжина ходу (визначена конструктивно);

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 51
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

$m = 0,233$ кг – маса приєднувальних рухомих частин (визначена конструктивно);

$t = 0,1$ с – необхідний час спрацювання;

Знайдемо діаметр поршня з урахуванням сили тяжіння та жорсткості пружини, так як циліндр знаходиться у вертикальному положенні:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{P_2 + P_0 + cs - mg}{0,9 \cdot p_m - p_a}}, \quad (2.12)$$

де, mg – сила тяжіння, cs – жорсткість пружини, яку визначаємо з формули:

$$c \cdot s = P_{0max} - P_0 = 25 - 10 = 15 \text{ Н} \quad (2.13)$$

Виходячи з цього діаметр поршня буде дорівнювати:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{216 + 10 + 15 - 0,233 \cdot 10}{0,9 \cdot 0,7 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6}} = 23,98 \text{ мм}$$

Згідно з стандартним рядом обираємо діаметр $D = 25$ мм [21].

Діаметр штока знаходимо із співвідношення (2.7):

$$d = (0,25 \dots 0,32)D = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мм}$$

Згідно з стандартним рядом обираємо діаметр $d = 10$ мм [21].

Обрахуємо діаметр умовного проходу згідно з формулою (2.8):

$$d_y \cong 25 \text{ мм} \sqrt{\frac{40 \text{ мм}}{17 \frac{\text{М}}{\text{сек}} \cdot 0,1 \text{ с}}} = 3,835 \text{ мм}$$

Ми отримали дуже малий діаметр проходу, який не співпадає з діаметром для механізму відрізання. Приймаємо рішення збільшити діаметр проходу для пневмоциліндра притискання для стандартизації з'єднань та спрощеного обслуговування. Діаметр проходу $d_y = 6$ мм, тип різьби K1/8”.

Для пневмоциліндрів односторонньої дії зі зворотною пружиною при статичному розрахунку повинна бути розрахована і вибрана пружина стискання. Вона виконує важливу роль повернення виконавчого пристрою в початкове положення. При розрахунку і виборі пружини повинні бути

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 52
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

враховані знайдені конструктивні розміри приводу, в габарити якого пружина повинна вписатися. Для уникнення значних втрат зусилля, яке розвивається приводом, необхідно підібрати пружину з мінімальною жорсткістю. При обрахунку буде використане джерело з опору матеріалів [21].

Вхідні дані:

Зусилля попереднього стискання: $P_0 = 10 \text{ Н}$;

Зусилля в кінці робочого ходу: $P_{0max} = 25 \text{ Н}$;

Робочій хід: $s = 40 \text{ мм}$;

Матеріал: Сталь 65Г;

Допустиме напруження при крученні: $[\tau] = 450 \text{ Мпа}$.

Для початку потрібно визначити жорсткість пружини, як відношення приросту зусилля до деформації:

$$c = \frac{P_{0max} - P_0}{s} = \frac{25 - 10}{40} = 0,375 \text{ Н/мм} \quad (2.14)$$

Значення $c = 0,375 \text{ Н/мм}$ відповідає мінімальній жорсткості пружини.

Знайдемо геометричні параметри. Щоб пружина легко розміщувалась всередині гільзи 25мм і навколо штока 10 мм, виберемо такі розміри:

Зовнішній діаметр пружини: $D_{зов} = 25 \text{ мм}$;

Діаметр дроту: $d_{др} = 1,6 \text{ мм}$;

Середній діаметр пружини: $D_{сер} = 25 - 1,6 = 23,4 \text{ мм}$;

Знайдемо індекс пружини для подальших розрахунків:

$$C = \frac{D_{сер}}{d_{др}} = \frac{23,4}{1,6} = 14,6 \quad (2.15)$$

Для подальших розрахунків проведемо перевірку чи не зламається дріт при максимальному зусиллі:

$$\tau = \frac{8 \cdot P_{0max} \cdot D_{сер} \cdot k}{\pi \cdot d_{др}^3}, \quad (2.16)$$

де, $k \approx 1,11$ – коефіцієнт кривизни витка для індексу 12

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 53
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

$$\tau = \frac{8 \cdot 25 \cdot 23,4 \cdot 1,11}{3,14 \cdot 1,6^3} \approx 400,3 \text{ МПа},$$

Умова міцності:

$$\tau < [\tau] \rightarrow 400,3 < 450 \text{ МПа} \quad (2.17)$$

Пружина витримує навантаження.

Обрахуємо кількість витків для пружини:

$$n = \frac{G \cdot d_{\text{др}}^4}{8 \cdot D_{\text{сер}}^3 \cdot c}, \quad (2.18)$$

де, $G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль зсуву для сталі.

Відповідно до формули (2.15):

$$n = \frac{8000 \cdot 1,6^4}{8 \cdot 23,4^3 \cdot 0,375} \approx 14 \text{ виток}$$

Повна кількість витків:

$$n_{\text{пов}} = n + 2 = 14 + 2 = 16 \text{ витків} \quad (2.19)$$

Довжина у стиснутому стані:

$$L_{\text{min}} = n_{\text{пов}} \cdot d_{\text{др}} = 16 \cdot 1,6 = 25,6 \text{ мм} \quad (2.20)$$

Деформація під зусиллям $P_{0\text{max}}$ становить:

$$F_{\text{max}} = \frac{P_{0\text{max}}}{c} = \frac{25}{0,375} = 66,7 \text{ мм} \quad (2.21)$$

Додаємо запас на зазори між витками (10%) та обраховуємо вільну довжину пружини:

$$L_0 = L_{\text{min}} + F_{\text{max}} + (0,1 \cdot d_{\text{др}} \cdot n) \quad (2.22)$$

Підставляємо значення у формулу (2.22):

$$L_0 = L_{\text{min}} + F_{\text{max}} + (0,1 \cdot d_{\text{др}} \cdot n) = 25,6 + 66,7 + 2,7 = 95 \text{ мм}$$

Оскільки хід циліндра 40 мм, а пружина у вільному стані 95 мм, то в зібраному циліндрі вона буде постійно стиснута до довжини 66,7 мм, це забезпечить попередній натяг $P_{0\text{max}} = 25$ Н. При робочому ході вона стиснеться до 28,3 мм, що не перевищує критичну довжину $L_{\text{min}} = 25,6$ мм.

Сформуємо таблицю з обрахованими значеннями пневмоциліндрів

Таблиця 2.2 Обраховані статичні значення циліндрів

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст.
						54
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Параметр	Циліндр відрізання	Циліндр притискання
Тип приводу	Двосторонньої дії	Односторонньої дії
Технологічне зусилля (P_2), Н	753,6	216
Хід штока s , мм	100	40
Діаметр поршня (D), мм	50	25
Діаметр штока (d), мм	20	10
Умовний прохід (d_y), мм	8	8
Робочий тиск (p_m), МПа	0,7	0,7

2.3.4 Розрахунок параметрів компресора

Компресор є основою пневмолінії, тому нижче наведено його розрахунок під наші потреби.

Розрахунок геометричного об'єму повітря за цикл:

Для початку знайдемо об'єм висування для наших циліндрів за формулою:

$$V_{\text{вис}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \quad (2.23)$$

Для циліндра відрізання відповідно до (2.23):

$$V_{\text{вис}} = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} \cdot 100 = 196\,350 \text{ мм}^3 = 0,196 \text{ л}$$

Для циліндра притискання відповідно до (2.23):

$$V_{\text{вис}} = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} \cdot 40 = 19\,625 \text{ мм}^3 = 0,0196 \text{ л}$$

Знайдемо об'єм втягування:

$$V_{\text{втяг}} = \frac{\pi \cdot (D - d)^2}{4} \cdot s \quad (2.24)$$

Для циліндра відрізання відповідно до (2.24):

$$V_{\text{втяг}} = \frac{3,14 \cdot (50 - 20)^2}{4} \cdot 100 = 164\,850 \text{ мм}^3 = 0,165 \text{ л}$$

Для циліндра притискання повітря споживається лише на один хід, тому об'єм втягування не обраховуємо.

Загальний об'єм споживання за такт для циліндра відрізання:

$$V_{ц1} = V_{вис} + V_{втяг} = 0,196 + 0,165 = 0,361 \text{ л} \quad (2.25)$$

Загальний об'єм споживання за такт для циліндрів притискання:

$$V_{ц2} = V_{вис} \cdot 8 = 0,0196 \cdot 8 = 0,157 \text{ л} \quad (2.26)$$

Сумарний геометричний об'єм за один цикл верстата:

$$V_{\Sigma} = V_{ц1} + V_{ц2} = 0,157 + 0,361 = 0,518 \text{ л/цикл} \quad (2.27)$$

Визначимо витрату вільного повітря за формулою:

$$Q = V_{\Sigma} \cdot \frac{P_{роб} + P_{атм}}{P_{атм}} \cdot n \cdot k_{витр}, \quad (2.28)$$

де, $P_{роб} = 6$ Бар – робочий тиск, $P_{атм} = 1$ Бар, $n = 12$ цикл/хв – кількість циклів за хвилину, $k_{витр} = 1,2$ – коефіцієнт на витоки в з'єднаннях та фітингах.

Відповідно до цього за формулою (2.28) отримуємо:

$$Q = 0,518 \cdot \frac{6 + 1}{1} \cdot 12 \cdot 1,2 = 52,2 \text{ л/хв}$$

Вибираємо потужність компресора, коефіцієнт робочого часу (k_p) повинен бути 0,6, так як компресор не може працювати на всі 100%. Необхідна продуктивність компресора на вході:

$$Q_{компр} = \frac{Q}{k_p} = \frac{52,2}{0,6} = 82 \text{ л/хв} \quad (2.29)$$

Відповідно до розрахунків необхідно обрати компресор з наступними характеристиками:

1. Продуктивність не менше 90-100 л/хв.
2. Робочий тиск: 8 бар, щоб забезпечити на елементах стабільні 6 бар.
3. Об'єм ресивера 50 л/хв.
4. Тип: безмасляний

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 56
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.3.5 Розрахунок продуктивності автоматизованого верстата

Для визначення економічної доцільності та ефективності розробленого верстата необхідно розрахувати його продуктивність. Основою для розрахунку є визначення часу одного повного робочого циклу виготовлення деталі.

Час робочого циклу $T_{\text{ц}}$ складається з тривалості окремих технологічних операцій і визначається за формулою:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{зат}} + t_{\text{под}} + t_{\text{гнут}} + t_{\text{відр}} + t_{\text{розт}}, \quad (2.30)$$

де, $t_{\text{зат}}$ – час фіксації заготовки пневматичними притискними циліндрами. Згідно з розробленим алгоритмом керування, для гарантованого виходу штоків встановлено програмну затримку таймера, тому $t_{\text{зат}} = 0,5$ с.

$t_{\text{под}}$ – час прецизійної подачі мідного дроту кроковим двигуном. Приймаючи середню довжину розгортки деталі 100 мм та робочу швидкість подачі 150 мм/с, з урахуванням часу на розгін та гальмування приводу, приймаємо $t_{\text{под}} = 0,8$ с.

$t_{\text{гнут}}$ – сумарний час робочого та зворотного ходу пневмоциліндра механізму згинання (контролюється датчиками ДО1 та ДО2). Виходячи з витрат повітря та діаметра поршня, становить $t_{\text{гнут}} = 0,9$ с.

$t_{\text{відр}}$ – час робочого та зворотного ходу відрізного ножа (контролюється герконами ХN9, Х10). Завдяки використанню швидкокидного клапана становить $t_{\text{відр}} = 0,4$ с.

$t_{\text{розт}}$ – час зняття сигналу з пневмоострова та скидання готової деталі, $t_{\text{розт}} = 0,2$ с.

Підставивши значення в (2.30), отримаємо теоретичний час виготовлення однієї деталі:

$$T_{\text{ц}} = 0,5 + 0,8 + 0,9 + 0,4 + 0,2 = 2,8 \text{ с}$$

Теоретична продуктивність верстата за годину знаходимо наступним чином:

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 57
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_T = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} = \frac{3600}{2,8} = 1285 \text{ шт/год}, \quad (2.31)$$

Для визначення дійсної (експлуатаційної) продуктивності необхідно врахувати коефіцієнт використання верстата K_v . Цей коефіцієнт враховує неминучі простої обладнання: час на заміну котушки з мідним дротом (після спрацювання датчика ДО4), профілактичне обслуговування пневмосистеми та налаштування параметрів на панелі НМІ. Для автоматизованих ліній такого типу приймаємо $K_v = 0,85$. Враховуючи це, дійсна годинна продуктивність:

$$Q_d = Q_T \cdot K_v = 1285 \cdot 0,85 = 1092 \text{ шт/год}, \quad (2.31)$$

Проведені обрахунки показую, що верстат може виготовляти приблизно 1000 шт за годину, це 250 антен типу «клевер» що є ефективно в сучасних реаліях.

2.4 Вибір та обґрунтування комплектуючих верстата

Вибір обладнання є критично важливим етапом, що забезпечує перехід від теоретичних розрахунків до створення повноцінного верстата з автоматизацією. Ефективність механізмів залежить не лише від точності зусиль, а й від надійності підбраного обладнання та ресурсу обраних компонентів. При виборі елементів електропневматики та електроніки було враховано наступні критерії:

1. Надійність та довговічність: використання обладнання від провідних виробників;
2. Стандартизація: вибір обладнання, що відповідає міжнародним стандартам ISO, що спрощує технічне обслуговування та заміну компонентів;
3. Енергоефективність: мінімальні втрати стиснутого повітря;
4. Компактність: так як верстат має багато компонентів і в той час він повинен бути невеликий за розмірами, було підібране відповідне обладнання.

Всі вищеперераховані фактори в комплексі дозволяє забезпечити надійну, швидку та автоматизовану роботу верстата.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 58
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

2.4.1 Підбір електропневматичного обладнання

Пневматична система є основою автоматизованого верстата. Одним із найвідомішим та найнадійнішим виробником пневматичного обладнання є FESTO, по каталогах якого було підібрано компоненти, які використовують стиснуте повітря для роботи, до даного проєкту [23].

Усі пневмоелементи обираються відповідно до тиску 6 Бар

Компресор

Для забезпечення системи стиснутим повітрям, відповідно до розрахунків в п. 2.3.4, обрано безмасляний поршневий компресор з об'ємом ресивера 50 л. Вибір безмасляного типу зумовлений вимогами виробника пневмоавтоматики FESTO щодо чистоти робочого середовища. Компресор забезпечує максимальний тиск 0,8 МПа та продуктивність 150 л/хв, що повністю покриває пікові витрати повітря при одночасному спрацюванні механізмів притиску та відрізання з урахуванням 30% запасу потужності. Відповідно до цього обираємо:

Модель: ABAC Montecarlo OS20P

Рівень шуму: 59 дБ, дуже тихо



Рис 2.17 Обраний компресор [24]

Блок підготовки повітря

Для забезпечення стабільного тиску 6 бар та очищення повітря від конденсату й пилю, що критично для довговічності манжет, обираємо:

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 59
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Модель: MS4-LFR-1/4-D7-CRM-AS

Характеристики: різьба G1/4'', ступінь фільтрації 40 мкм, ручний відвід конденсату

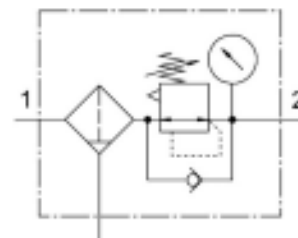


Рис 2.18 Обраний блок підготовки повітря з схемою

Розподільник для механізму відрізання

Модель: VUVG-L14-M52-AT-G14-1P3.

Тип: 5/2.

Різьба: G1/4''



Рис 2.19 Розподільник 5/2

Розподільник для механізму притискання:

Для заощадження місця використовуємо пневмоострів:

Модель: Festo VTUG

Тип: 3/2.

Різьба: G1/4''.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
60

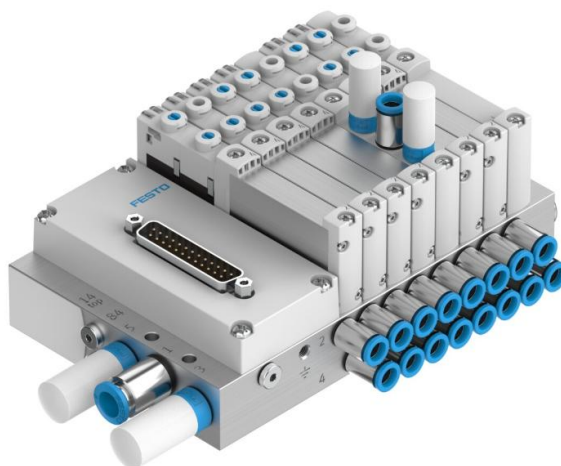


Рис 2.20 Пневмоострів з клапанами 3/2

Швидкоскидний клапан:

Модель: SE-1/4-B.

Різьба: G1/4''.

Стандартний номінальний вихлоп: 1.200 л/хв.



Рис 2.21 Швидкоскидний клапан

Дросель:

Модель: VFOE-LE-T-G14-Q8.

Номінальний потік: 500 л/хв.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Регульований елемент: поворотна ручка з блокуванням.

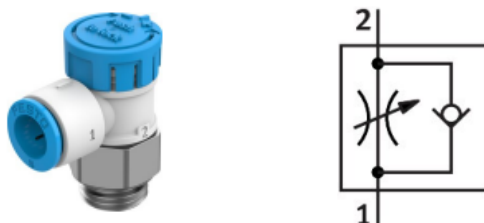


Рис 2.22 Обраний дросель з схемою

Пропорційний регулятор тиску

Дозволяє контролеру змінювати зусилля притиску дроту в реальному часі без участі людини.

Модель: SMC ITV2050-312N.

Сигнал: аналоговий 0-10В

Витрата: 900 л/хв

Вхідний тиск 0-8 бар



Рис 2.23 Пропорційний регулятор тиску

Реле тиску

Призначене для цифрового контролю наявності тиску в магістралі та аварійної зупинки при його падінні.

Модель: SMC ISE30A-01-N-L.

Час спрацювання: 2,5с.

Напруга: 12-24В.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ



Рис 2.24 Електронне реле тиску

Трубка

Модель: PUN-H-8X1,25-BL.

Матеріал: поліуретан.

Зовнішній діаметр: 8мм.



Рис 2.25 Обрана трубка

2.4.1 Підбір електричного обладнання

Для реалізації алгоритму роботи верстата необхідно обрати систему керування, яка забезпечить збір сигналів з датчиків та видачу команд на пневмоострів і привід подачі. Основною напругою для підбору є 24В, що є безпечним та загальноприйнятим в автоматизації.

Програмований логічний контролер

Контролер – це найголовніший компонент системи, яким ми керуємо нашим верстатом і налаштовуємо його. Враховуючі зручність програмування,

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 63
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

необхідність комунікації з обладнанням FESTO та доступність обираємо продукцію компанії Siemens.

Модель: SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC).

Перевагами цього контролера є його компактність, гнучкість у підключенні виконавчих пристроїв, без проміжних реле. Також в контролер вбудовано швидкісний лічильник та виходи для керування кроковими двигунами.

Геркони

Щоб контролер розумів стан механізму, використовуємо безконтактні датчики положення, що встановлюються в пази циліндрів.

Модель: Festo SMT-8M-A-PS-24V-K-2,5-OE.

Тип: PNP

Робоча напруга: 5-30В

Переваги: мають світлодіодну індикацію, що значно полегшує налагодження верстата.

Оптичний датчик

Використовується для відслідкування крайніх положень механізму згинання та закінчення дроту.

Модель: Festo SOOE-RS-PN-S-M8.

Робочий діапазон: 0-6500мм.

Тип світла: червоний-led.

Оптичний датчик відстані

Використовується для відслідковування положення відрізного механізму.

Модель: IFM OID200.

Робоча напруга: 10-30В.

Діапазон вимірювання: 0,03...2м.

Блок живлення

Для живлення всієї низьковольтної частини (PLC, датчики, котушки клапанів) необхідне стабільне джерело живлення.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 64
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Модель: Siemens SITOP PSU100C 24V / 4A.

Вихід: 24В

Має запас потужності, так як сумарне споживання системи складає 1,8-2,2 А.

Проміжне реле

Використовується для гальванічної розв'язки виходів контролера та керуванням потужним навантаженням.

Модель: Finder 38.51.7.024.0050.

Номінальний перемінний струм: 6А.

Резистор

Призначений для безпечної роботи драйверів.

Модель: С2-33.

Діапазон супротиву: 0,1Ом...22 МОм

Кнопка СТОП, СТАРТ

Кнопка СТОП призначена для зупинки системи, з доопрацюванням циклу. Кнопка СТАРТ призначена для запуску системи.

Модель:

Кнопка СТОП: ХВ2-ВС42(Червона, тип «Грибок», NC контакт)

Кнопка СТАРТ: ХВ2-ВА31(зелена, NO контакт)

Драйвер двигуна

Призначений для керування сервокроковим двигуном NEMA 23.

Модель: Leadshine DM542.

Напруга живлення: 20-50В постійного струму.

Струм фази: від 1 до 4,2А

Сервокрокові двигуни

Відповідно до розрахунків в п.2.3.1 обираємо двигун з показниками, які забезпечать надійну протяжку міді та згинальний момент з використанням редукторів.

Модель: iHSS57-36-20.

Напруга живлення: 20-50В.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 65
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Номинальний струм: 5А.

Максимальний момент утримання: 2 Нм.

Максимальна швидкість обертання: 2000 об/хв.

Модуль розширення

У зв'язку з тим що використано 9 пневмоциліндрів, 4 датчики оптичні, 10 герконів, у контролера не вистачило входів та виходів і було прийнято рішення додати модуль розширення.

Модель: SB 1221.

Збільшення: 4 додаткових входи та 4 виходи.

2.5 Розробка програмного забезпечення системи керування

Для автоматизації верстата використано середовище розробки TIA Portal та мову програмування LAD (Ladder Diagram). Вибір мови зумовлений її наочністю та зручністю для діагностики механізмів у реальному часі. Алгоритм базується на послідовному виконанні технологічних кроків із використанням апаратного зворотного зв'язку від датчиків положення. Програмування виконане у вигляді пов'язаних між собою модулів, network – мінімальна функціональна завершена одиниця програмного коду.

2.5.1 Опис алгоритму за логічними мережами (Networks)

Network 1: Перевірка готовності (Home position)

Здійснюється моніторинг усіх наявних датчиків положення (Г1, Г3-Г10). Якщо будь з яких елементів не у початковому стані, запуск автоматичного циклу блокується для запобігання аварійним ситуаціям.

Network 2: Керування тиском (SMC ITV)

Програма перетворює задане значення тиску з панелі HMI (пропорційний регулятор тиску) у цифровий сигнал для аналогового виходу контролера. Це забезпечує тонке налаштування зусилля притискання дроту.

Network 3: Цикл притискання

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 66
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Активация соленоидов Y1-Y8. Поскольку на этих цилиндрах отсутствуют герконы, подтверждение затискания реализовано программно через таймер притискания.

Network 4: Подача дроту

Керування драйвером Leadshine DM542 через виходи РТО. Довжина та швидкість подачі зчитуються з налаштувань користувача.

Network 5: Операція відрізання

Вихід Y9 активується до моменту замикання геркона Г10 (Х9 – ніж відрізав). Після спрацювання Г10 сигнал скидається, і ніж повертається в початкове положення за допомогою швидкокидного клапану.

Network 6: Лічильник готової продукції

Спрацювання лічильник відбувається за фактом успішного спрацювання датчику відрізання геркона Г10(Х9). Дані зберігаються в пам'яті контролера. Кожен крок ножа додає одиницю до загальної кількості. При досягненні ліміту 1000 одиниць, верстат зупиняється.

Network 7: Завершення циклу

Система очікує повернення ножа на датчик Г9 (ХN9), після чого верстат переходить у стан готовності до наступного кроку.

2.5.2. Створення Allocation листа

Allocation лист є невід'ємною частиною будь якого коду, для розуміння за що відповідають змінні та які входи чи виходи використовують. В таблиці 2.3 та 2.4 продемонстровано розподіл входів та виходів контролера.

Таблиця 2.3 Розподіл входів контролера

Позначення	Адреса	Тип	Опис
XN1	а I0.0	BOOL	Г1-геркон притискного циліндра
XN2	а I0.1	BOOL	Г2-геркон притискного циліндра

XN3	a I0.2	BOOL	Г3-геркон притискного циліндра
XN4	a I0.3	BOOL	Г4-геркон притискного циліндра
XN5	a I0.4	BOOL	Г5-геркон притискного циліндра
XN6	a I0.5	BOOL	Г6-геркон притискного циліндра
XN7	a I0.6	BOOL	Г7-геркон притискного циліндра
XN8	a I0.7	BOOL	Г8-геркон притискного циліндра
Start	b I0.0	BOOL	Кнопка START
Stop	b I0.1	BOOL	Кнопка STOP
XN9	b I0.2	BOOL	Г9-геркон циліндра відрізання
X10	b I0.3	BOOL	Г10- геркон циліндра відрізання
XO1	b I0.4	BOOL	Оптичний датчик ДО1
XO2	b I0.5	BOOL	Оптичний датчик ДО2
XO3	e I0.0	BOOL	Оптичний датчик ДО3
PT	e I0.1	BOOL	Присутність тиску в системі
XO4	c I0.0	BOOL	Оптичний датчик ДО4

Таблиця 2.4 Розподіл виходів контролера

Позначення	Адреса	Тип	Опис
Y1	a O0.0	BOOL	Соленоїд притискного циліндра
Y2	a O0.1	BOOL	
Y3	a O0.2	BOOL	
Y4	a O0.3	BOOL	
Y5	a O0.4	BOOL	
Y6	a O0.5	BOOL	

Y7	a O0.6	BOOL	
Y8	a O0.7	BOOL	
Y9	b O0.0	BOOL	Соленоїд циліндра відрізання
Д1	b O0.1	BOOL	Сигнал кроків драйвера
	e O0.0	BOOL	
Д2	e O0.1	BOOL	Сигнал кроків драйвера
	c O0.0	BOOL	
SNC_ITV	AQ0	INT	Аналоговий сигнал тиску

2.5.3 Написання коду

Розробка програмного забезпечення для ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 здійснювалася в інтегрованому середовищі TIA Portal. Для забезпечення високої надійності, зручності налагодження та подальшого обслуговування верстата програму побудовано за модульним (блоковим) принципом. Такий підхід дозволяє оператору або сервісному інженеру швидко локалізувати несправність. Наприклад, якщо датчик закінчення дроту фіксує відсутність матеріалу, програма не зупиняється хаотично, а блокує виконання лише тих блоків, що відповідають за подачу, переводячи верстат у безпечний режим очікування.

Лістинг програми автоматичного циклу:

```
// =====
// NETWORK 1: КОНТРОЛЬ БЕЗПЕКИ ТА ГОТОВНОСТІ СИСТЕМИ
// Блок перевіряє наявність матеріалу, тиску та вихідні положення механізмів
// =====
A "DO4_Дріт_Наявний" // Оптичний датчик закінчення дроту (1 = дріт є)
A "PT1_Тиск_Норма" // Реле тиску (1 = тиск у робочому діапазоні)
A "DO1_Згин_Початок" // Датчик вихідного положення механізму згинання
A "Г1_Ніж_Вит" // Геркон вихідного положення відрізного механізму
AN #Limit_Reached // Блокування, якщо виконано план виробництва
= #System_Ready // Дозвіл на роботу автоматичного циклу
// =====
// NETWORK 2: КЕРУВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ ПРИТИСКАННЯ (ПРОПОРЦІЙНИЙ РЕГУЛЯТОР)
```

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 69
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

```

// Перетворення заданого тиску з панелі HMI у формат аналогового сигналу
// =====
CALL "NORM_X"
    MIN := 0.0, VALUE := #HMI_Pressure_Setpoint, MAX := 10.0, OUT => #Norm_Temp
CALL "SCALE_X"
    MIN := 0, VALUE := #Norm_Temp, MAX := 27648, OUT => "SNC_ITV" // Вихід на регулятор
// =====
// NETWORK 3: ЦИКЛ ФІКСАЦІЇ ТА ПРИТИСКАННЯ ЗАГОТОВКИ
// Активація груп притискачів XO1 та XO2 із програмним контролем часу
// =====
A "Кнопка_СТАРТ"
A #System_Ready
S "XO1"          // Вмикання 1-ї групи притискачів
S "XO2"          // Вмикання 2-ї групи притискачів

CALL "TON_Clamp_Delay"
    IN := "XO1", PT := T#500ms, Q => #Clamping_Confirmed // Затримка на виліт штоків
// =====
// NETWORK 4: ПОДАЧА ТА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДРОТУ
// =====
A #Clamping_Confirmed
A NOT #Feeding_Done
= #Execute_Feeding_Move // Запуск крокового приводу подачі
// =====
// NETWORK 5: АВТОМАТИЧНЕ ЗГИНАННЯ (КОНТРОЛЬ ДО1 ТА ДО2)
// =====
A #Feeding_Done
A "ДО1_Згин_Початок" // Перевірка готовності механізму згинання
S "Y_Bending_Act"    // Команда на згинання
A "ДО2_Згин_Кінець"  // Датчик крайнього робочого положення згинання
R "Y_Bending_Act"    // Повернення механізму згинання
// =====
// NETWORK 6: ВІДРІЗАННЯ ІЗ КОНТРОЛЕМ ВІДСТАНІ ТА КРАЙНІХ ПОЛОЖЕНЬ
// =====
A "ДО2_Згин_Кінець_Мем" // Підтвердження, що згинання виконано
A "ДО3_Відстань_Різу_ОК" // Датчик відстані відрізного механізму (позиція вірна)
A "Г1_Ніж_Вит"          // Ніж готовий до старту
S "Y1"                  // Активація соленоїда відрізного ножа

A "Г2_Ніж_Поч"          // Геркон кінцевого положення ножа (різ завершено)
R "Y1"                  // Скидання команди, ніж повертається вгору
// =====

```

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 70
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

```

// NETWORK 7: ПІДРАХУНОК ПРОДУКЦІЇ ТА ЗАВЕРШЕННЯ ЦИКЛУ
// =====
CALL "IEC_Counter_Parts" (
    CU := "Г2_Ніж_Вит", // Інкремент за фактом фізичного відрізання
    R := "HMI_Reset",
    PV := #HMI_Target_Qty, // Задана кількість виробів
    Q => #Limit_Reached, // Зупинка верстата по виконанню плану
    CV => #Total_Produced // Вивід на екран оператора)
A "Г1_Ніж_Вит" // Підтвердження повернення ножа
A "ДО1_Згин_Початок" // Підтвердження повернення механізму згинання
A NOT "Y1"
= #Cycle_Complete // Система готова до наступної деталі

```

Приклад написання коду для одного циклу гнуття винесено в Додаток 1.

Таке формування коду дозволяє легко та швидко керувати верстатом. Також будь який користувач, в залежності від своїх потреб, може налаштувати машину під свої потреби, що в сучасному світі є безумовною перевагою.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 71
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 2

У результаті виконання другого розділу було розроблено конструктивне рішення автоматизованого верстата для подачі, згинання та відрізання мідного дроту, що базується на поєднанні прецизійного крокового приводу та пневматичних виконавчих механізмів. Вибір такої конфігурації обґрунтовано потребою в досягненні високої точності позиціонування, надійності фіксації та швидкодії при мінімізації впливу людського фактора. Конструкція передбачає застосування механізму подачі на базі драйвера крокового двигуна, блоку пневматичних притискачів та відрізного пневматичного модуля.

Було сформовано систему автоматизації верстат за рахунок оснащення датчиками різних типів. Вони забезпечують правильність та контроль роботи. За рахунок герконів відслідковуються крайні положення механізму відрізання та початкові положення притискних циліндрів. Також оптичні датчики ДО1-ДО4 дозволяються контролювати присутність міді у верстаті, крайні положення механізму згинання та слідкують у реальному часі за механізмом відрізання.

Розроблено принципову електропневматичну схему, яка включає електромагнітні розподільники (соленоїди Y1–Y8 для притискачів та Y9 для відрізання), виконавчі циліндри та систему підготовки повітря з реле контролю тиску (РТ). Виконано розрахунок основних параметрів пневмосистеми, зокрема діаметрів поршнів та силових характеристик виконавчих елементів при робочому тиску 0,6 МПа. Також було розраховано продуктивність верстата за годину, що становить 1000 шт/год. Використання аналогового пропорційного регулятора (SNC_ITV) дало змогу оптимізувати зусилля затискання та уникнути деформації дроту різного перерізу.

Керування системою реалізовано за допомогою програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200, що дозволяє реалізувати жорстку послідовну логіку дій (автомат станів), зчитування даних з датчиків і оперативну реакцію на зміну технологічного процесу. Розроблене програмне

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 72
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

забезпечення гарантує точну синхронізацію високочастотних сигналів керування драйвером (Д1, Д2) із роботою пневматики, виконує автоматичний підрахунок продукції та зупинку верстата по завершенню заданого плану.

Таким чином, було сформовано технічно обґрунтовану і практично придатну конструкцію автоматизованого верстата, що відповідає сучасним вимогам машинобудівного виробництва та може бути успішно інтегрована в існуючі технологічні лінії.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 73
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Розділ 3. Технологія машинобудування

3.1.Завдання на розробку технологічного процесу

Назва деталі	-	«Плита основна»
Службове призначення	-	Деталь є несучим елементом конструкції станка для згинання мідного дроту, займає ключову роль у жорсткості, міцності та надійності всієї машини.
Матеріал	-	Алюмінієвий сплав 6061-Т6
Замовлення	-	5 шт

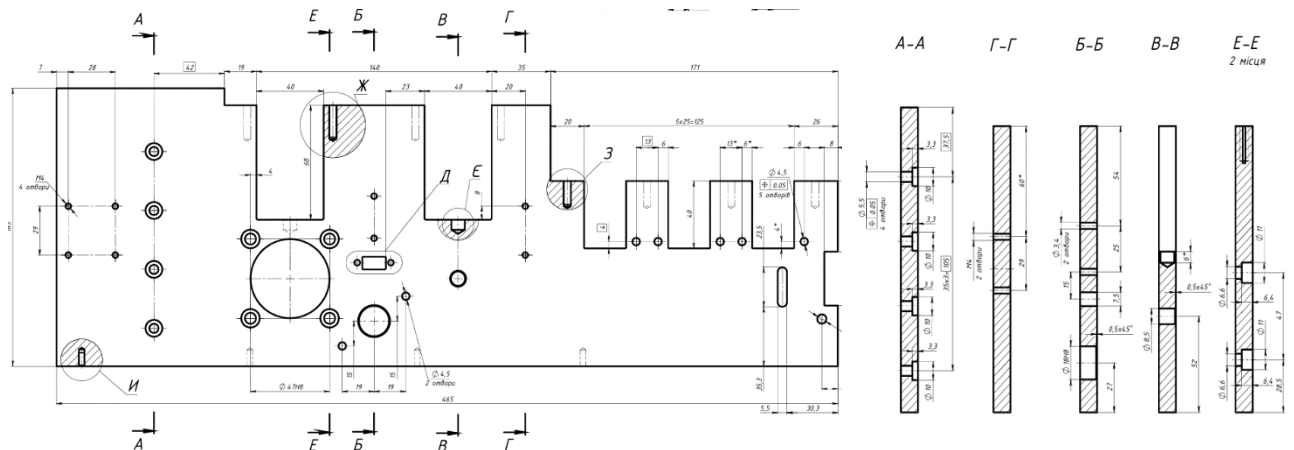


Рисунок 3.0 – Ескіз деталі «Плита основна»

При обробці даної деталі необхідно забезпечити позиціонування отворів згідно з кресленням, а також позиційний допуск усіх приєднувальних різьбових отворів як на основному вигляді, так і отвори з верхньої та нижньої сторони деталі.

Поверхні плити повинні оброблятися та мати шорсткість Ra 6,2 мкм.

Найточніші розміри даної деталі Ø8,5H8 – отвір під встановлення валу , всі інші поверхні обробляються по 14 квалітету.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 74
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

3.2 Вибір заготовки. Розрахунок припусків

При виборі методу отримання заготовки в першу чергу враховують матеріал деталі, тип виробництва, якість поверхонь заготовки та її точність, а також можливості наявного обладнання. В нашому випадку найдоцільнішим є замовити готову пластину у постачальника з подальшим фрезеруванням. Заготовку для деталі з фінальними розмірами 465ммх165мм обираємо по +2.5мм з кожної сторони. В результаті заготовка має розміри 480ммх180мм.

Ціна за 1 кг алюмінію: 391.04 грн./кг

Розміри листа: 1000ммх2000мм

Розмір отриманий в результаті розкрою листа: 480ммх180мм

Ціна за плиту: 54 кг * 391.04 грн./кг= 21 116,16 грн

Призначення припусків виконується табличним методом [26-29].

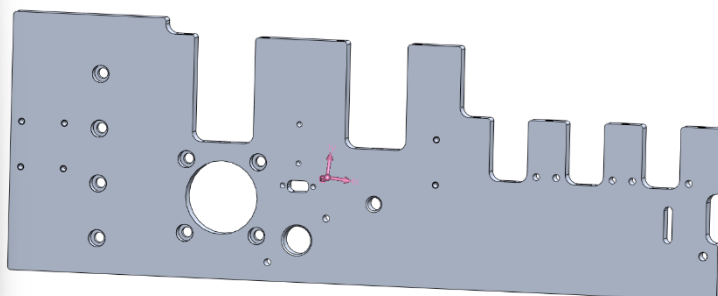
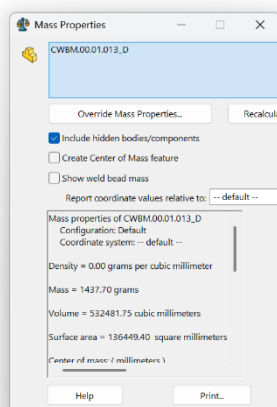


Рисунок 3.1 3D модель заготовки деталі «Плита основна»

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 75
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

3.3 Розробка маршрутного технологічного процесу

Конструкцію деталі можна розділити на сукупність типових геометричних фігур, які об'єднані загальним службовим призначенням деталі. Типовими елементами конструкції є: сукупність площин у різних вісях деталі та сукупність отворів. Практикою машинобудівного виробництва накопичено виробничий досвід технологічних послідовностей оброблення типових поверхонь для забезпечення заданої точності розмірів і параметрів шорсткості робочих поверхонь [26-29].

Для опису маршруту оброблення деталі необхідно ідентифікувати поверхні (рис.3-5).

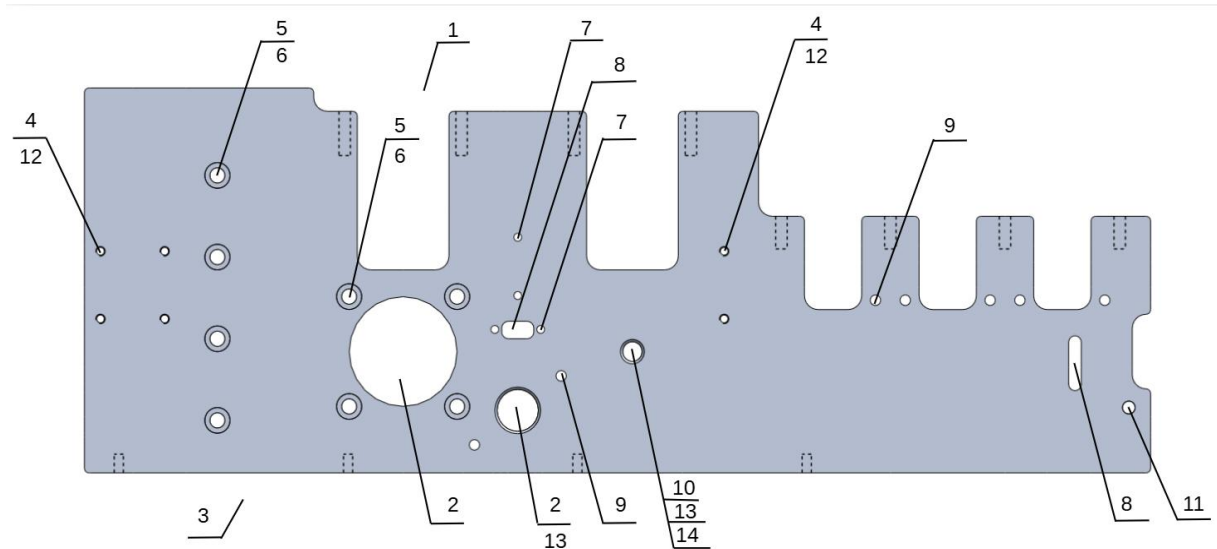


Рисунок 3.2 Нумерація поверхонь деталі на лицевій стороні

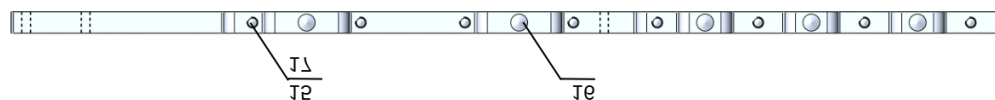


Рисунок 3.3 – Нумерація поверхонь деталі зверху



Рисунок 3.4 Нумерація поверхонь деталі знизу

Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі
винесені в додаток 2, таблиця 3.1

Для всіх операцій обираємо верстат вертикально-фрезерний верстат з ЧПК –
HAAS VF-3

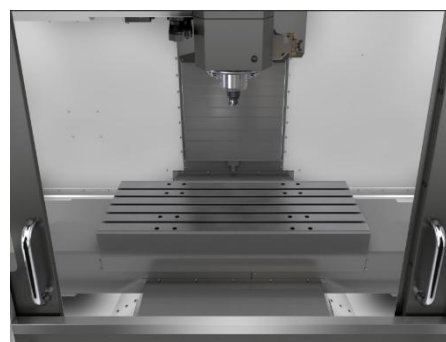


Рисунок 3.5 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК – HAAS VF-3[33]

3.3.1 Технологічний маршрут

Площина лицева

1.Фрезерування чистове

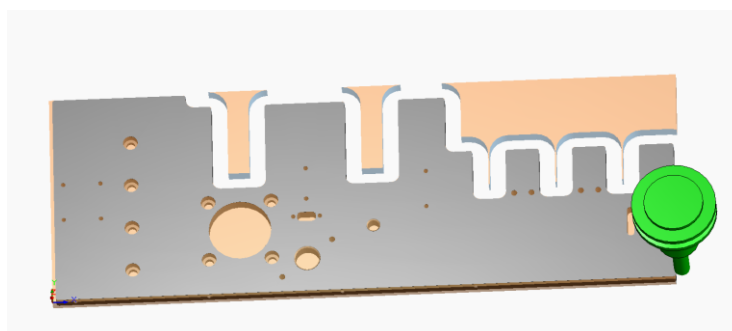


Рисунок 3.6 Фрезерування по контуру зверху і справа

2. Фрезерування чистове

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 77
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

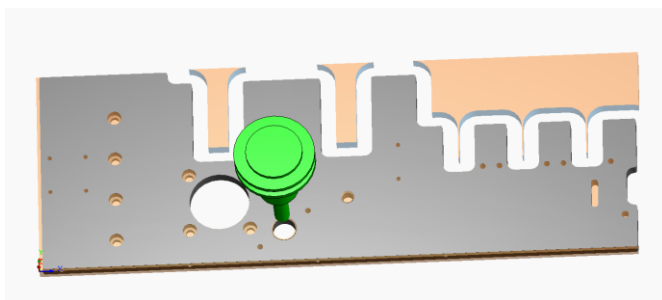


Рисунок 3.7 Фрезерування отворів

3. Фрезерування чистове

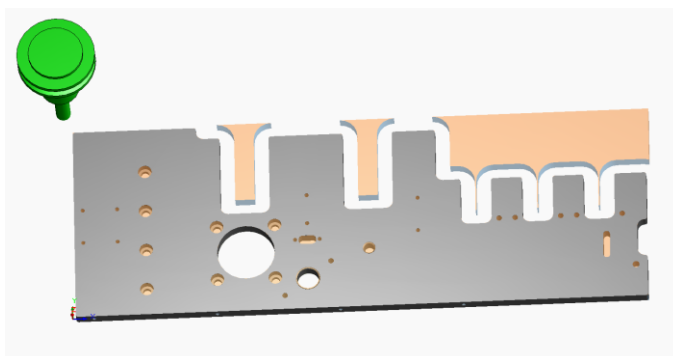


Рисунок 3.8 Фрезерування по контуру зліва і справа

4. Свердлування

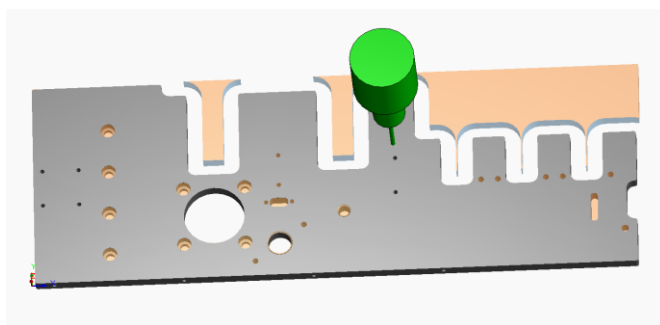


Рисунок 3.9 Свердління групи отворів

5. Свердлування

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 78
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

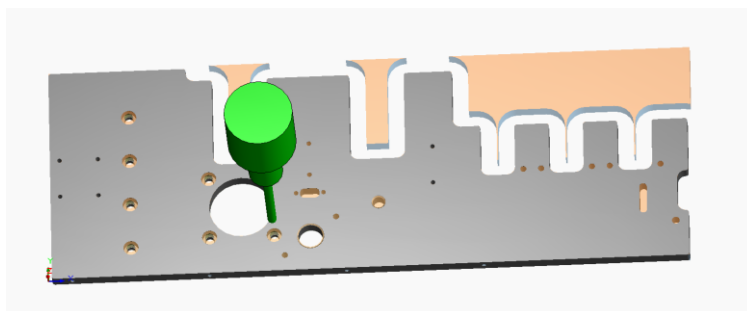


Рисунок 3.10 Свердління групи отворів 2

6. Свердлування

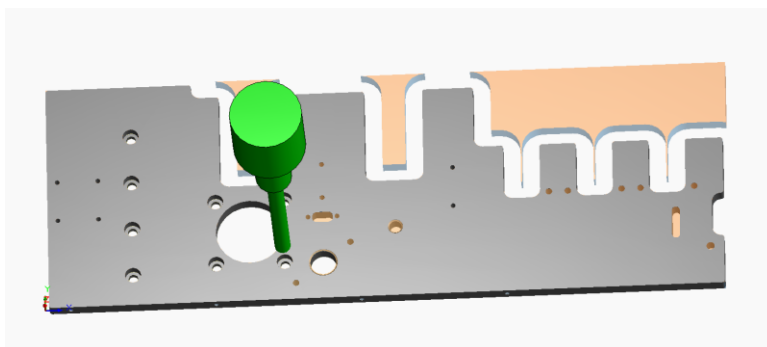


Рисунок 3.11 Свердління групи отворів 3

7. Свердлування

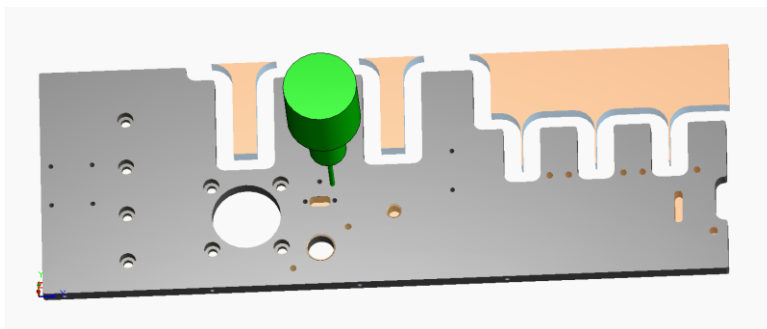


Рисунок 3.12 Свердління групи отворів 4

8. Фрезерування чистове

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 79
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

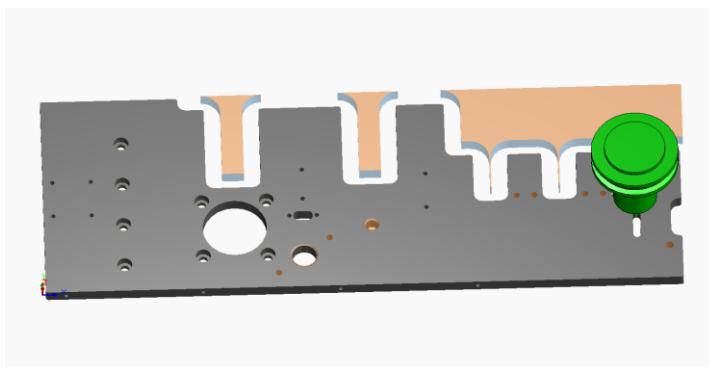


Рисунок 3.13 Фрезерування пазового отвору

9. Свердлування

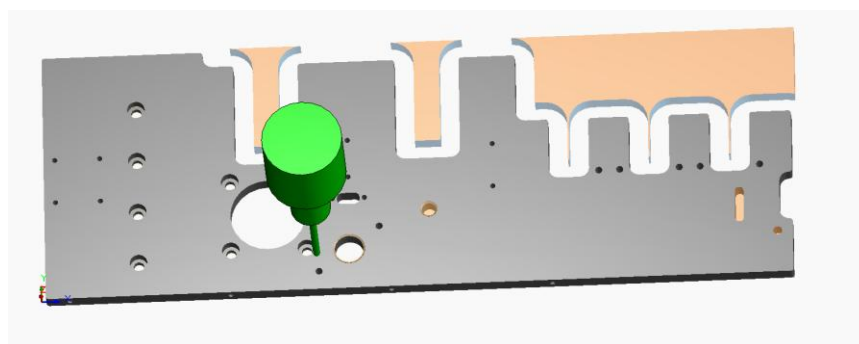


Рисунок 3.14 Свердління групи отворів 5

10. Свердлування

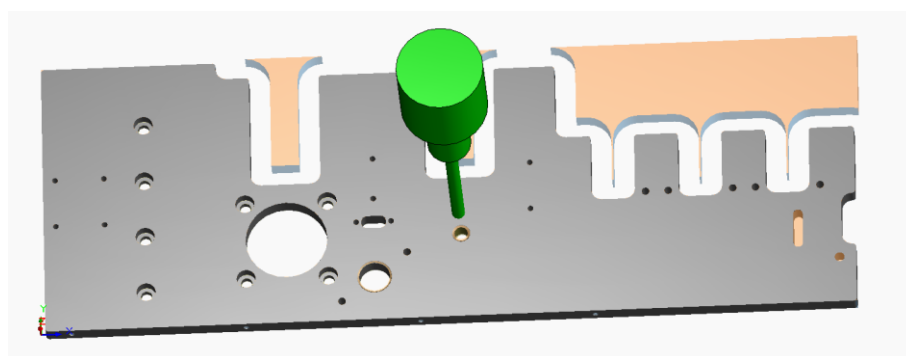


Рисунок 3.15 Свердління групи отворів 6

11. Свердлування

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 80
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

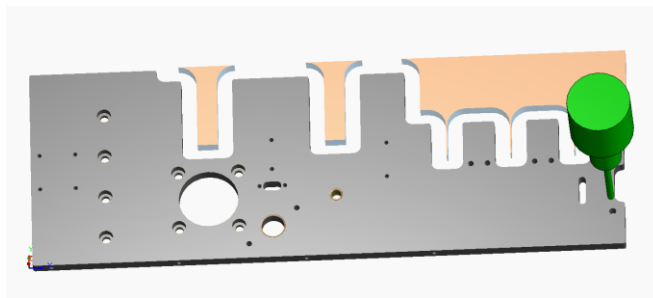


Рисунок 3.16 Свердління групи отворів 7

12. Нарізання різьби

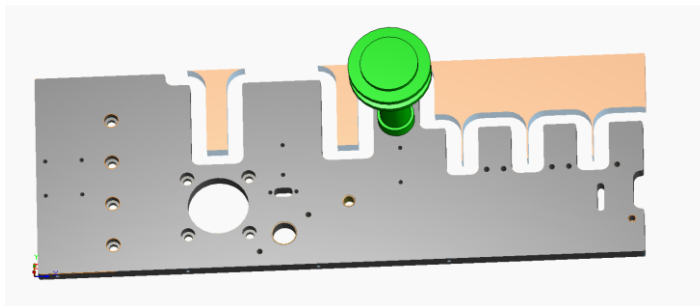


Рисунок 3.17 Нарізання різьби

13. Зенкерування

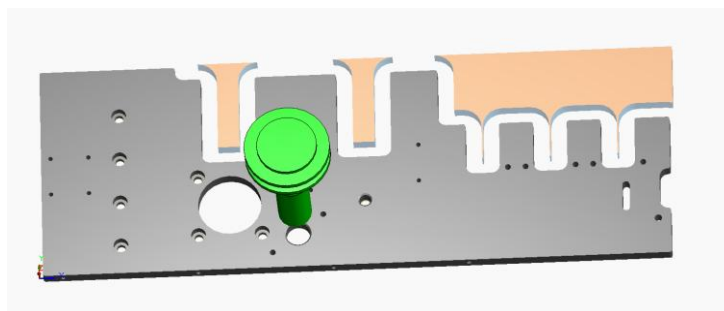


Рисунок 3.18 Зенкерування отвору

14. Розточування

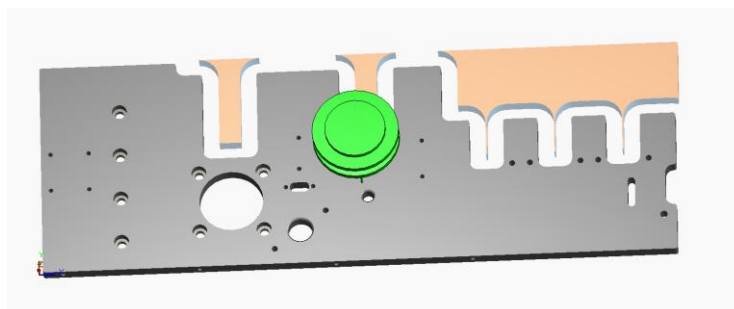


Рисунок 3.19 Розточування отвору під допуск H8

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 81
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Площина зверху

15.Свердлування

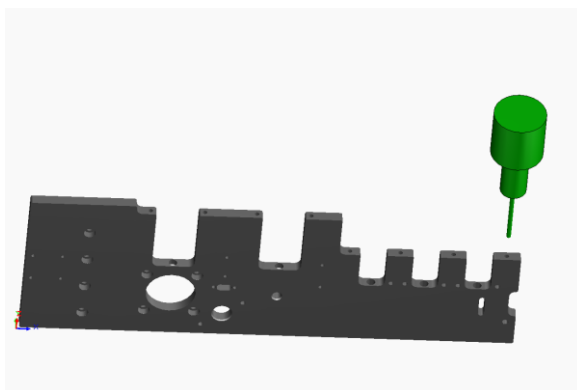


Рисунок 3.20 Свердління групи отворів 7

16. Свердлування

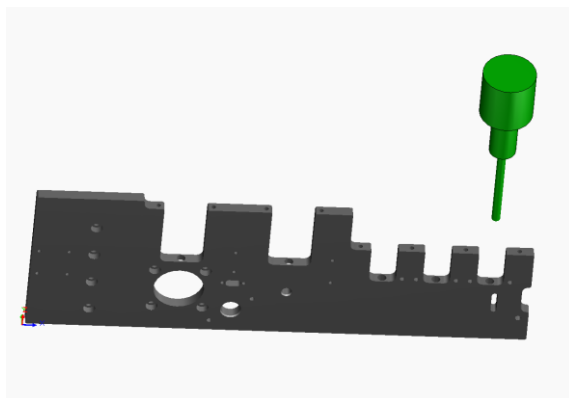


Рисунок 3.21 Свердління групи отворів 8

17. Нарізання різьби

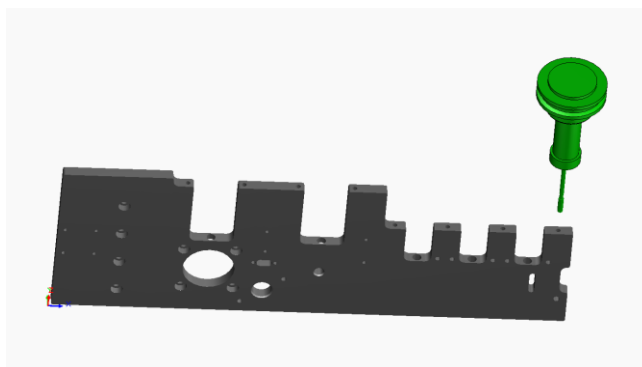


Рисунок 3.22 Нарізання різьби

Площина знизу

18. Свердлування

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 82
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

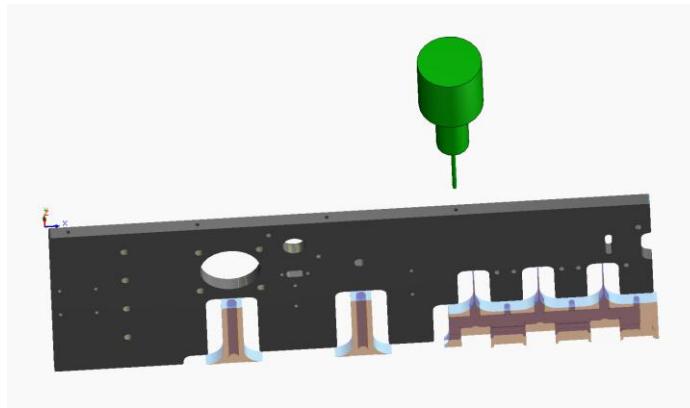


Рисунок 3.23 Свердління групи отворів 9

19. Нарізання різьби

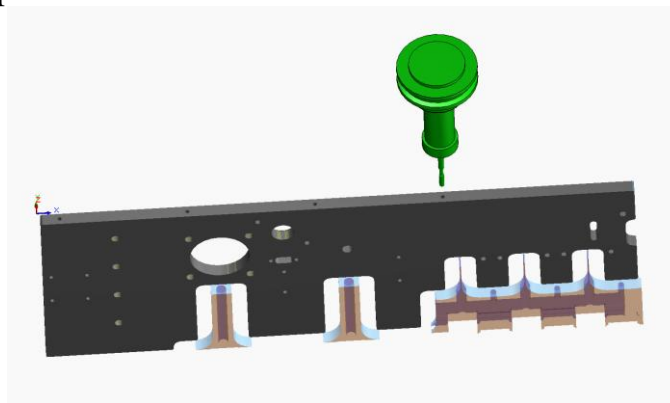


Рисунок 3.24 Нарізання різьби

3.4 Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання

Визначаємо режими різання за каталогами та рекомендаціями наданими виробниками інструментів [31-33]:

Обрані свердла:

ATORN® Solid carbide twist drill bit

VHM

Werk-norm

Typ N

118°

32°

5xD

TiN

TiAlN

- sim. to DIN 338
- 111010... Facet-ground, point thinning from Ø 2.0 mm
- 111011... Facet-ground, point thinning from Ø 2.0 mm, TiN-coated
- 111012... Facet-ground, point thinning from Ø 2.0 mm, TiAlN-coated

material	● very well suited ○ well suited		steel		stainless steel		cast iron		titanium alloys		superalloys Fe/Ni-Co-based		aluminium		copper		graphite		hardened steel	
	< 700 N/mm²	< 1000 N/mm²	< 1000 N/mm²	1400 N/mm²	austenitic	duplex	GG/GTS	GGG		< 30 HRC	≥ 30 HRC	< 3% Si	≥ 3% Si	Cu-Fe	Sn-Pb / Cu-Fe	< 35 HRC	> 35 HRC	< 40 HRC	≥ 40 HRC	
111010...																				
111011...																				
111012...																				
Cutting speed Vc m/min. Please adjust these guidelines according to clamping operation and machine set-up.																				

D h8 mm	L mm	L1 mm	Feed f		art.no.	€	TiN		TiAlN		art.no.	€
			steel < 1000 N/mm²	mm/rev			mm/rev	mm/rev				
1.0	34	12	0.02		111010 0100	5,15	111011 0100	7,95	111012 0100	8,65		
1.1	36	14	0.02		111010 0110	5,15	111011 0110	7,95	111012 0110	8,65		
1.2	38	16	0.02		111010 0120	5,15	111011 0120	7,95	111012 0120	8,65		
1.3	38	16	0.02		111010 0130	5,15	111011 0130	7,95	111012 0130	8,65		

Рисунок 3.25 Обрані свердла

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.

83

Обрані фрези:

VAN HOORN CARBIDE Single-blade end milling cutter

VHM 30° 6B 6535 HA Z 1 HSC

Especially for machining non-ferrous materials

Also very good for synthetic materials

material	very well suited	well suited	steel	stainless steel	cast iron	aluminum alloys	superalloys / TiCo-based	aluminum	copper	graphite	hardened steel
	< 700 N/mm²	< 1000 N/mm²	< 1000 N/mm²	soft steels	grey	Al-Si, Al-Mg	> 2000	> 2000	> 1500	> 1500	> 1500

Cutting speed Vc m/min. Please adjust these guidelines according to clamping operation and machine setup.

D mm	D1 mm	L1 mm	L mm	F x 45° mm	Feed fz mm/tooth	Feed fz mm/tooth	art. no.	€
0.4	3	3	38	-	0.00875	0.0125	250001 0006	34.35
0.8	3	4	38	-	0.0112	0.016	250001 0008	34.35
1.0	3	5	38	-	0.01225	0.0175	250001 0010	33.-
1.2	3	5	38	-	0.01435	0.0205	250001 0012	33.-
1.5	3	5	38	-	0.0175	0.025	250001 0015	33.-
1.6	3	6	38	-	0.01995	0.0285	250001 0016	31.50
1.8	3	7	38	-	0.02205	0.0315	250001 0018	31.50
2.0	3	8	38	-	0.02765	0.0395	250001 0020	37.18
2.5	3	9	38	-	0.0379	0.047	250001 0025	37.18
3.0	3	12	38	0.10	0.04025	0.0575	250001 0030	36.50
4.0	4	12	50	0.10	0.0455	0.065	250001 0040	39.40
5.0	5	15	50	0.15	0.056	0.08	250001 0050	34.40
6.0	6	16	50	0.20	0.06825	0.0975	250001 0060	34.20
7.0	7	20	60	0.20	0.07525	0.1075	250001 0070	48.20
8.0	8	20	60	0.25	0.08575	0.1225	250001 0080	46.50
10.0	10	22	70	0.30	0.105	0.15	250001 0100	47.40
12.0	12	25	75	0.35	0.1295	0.185	250001 0120	84.20

2112

article with bold price = on stock 2016 / 2017 GB prices in Euro, VAT excluded 2045

Рисунок 3.26 Обрані фрези

Обрані мітчики:

AL-POT machine tap

M 60° HSS-E V3 DIN 371 ISO 2 6H B 4 3xD Vc/ft

ISO 6H metric thread

- Straightfluted with spiral point
- Type B, 4-thread chamfer
- For through-hole threads
- Cutting material: HSS-E V3

material	very well suited	well suited	steel	stainless steel	cast iron	aluminum alloys	superalloys / TiCo-based	aluminum	copper	graphite	hardened steel
	< 700 N/mm²	< 1000 N/mm²	< 1000 N/mm²	soft steels	grey	Al-Si, Al-Mg	> 2000	> 2000	> 1500	> 1500	> 1500

Cutting speed Vc m/min. Please adjust these guidelines according to clamping operation and machine setup.

D mm	Pitch mm	L mm	L1 mm	L2 mm	C mm	D1 mm	Tapping hole Ø mm	art. no.	€
M2	0.4	45	8	-	2.1	2.8	1.6	133035 0020	15.-
M2.5	0.45	50	9	-	2.1	2.8	2.1	133035 0025	14.90
M3	0.5	56	11	18	2.7	3.5	2.5	133035 0030	13.-
M4	0.7	63	13	21	3.4	4.5	3.3	133035 0040	13.40
M5	0.8	70	16	25	4.9	6	4.2	133035 0050	13.90
M6	1.0	80	19	30	4.9	6	5.0	133035 0060	14.-
M8	1.25	90	22	35	6.2	8	6.8	133035 0080	16.10
M10	1.5	100	24	39	8	10	8.5	133035 0100	19.30

1128

10-166 prices in Euro, VAT excluded 2016 / 2017 GB article with bold price = on stock

Рисунок 3.27 Обрані мітчики

Обрана зенківка:

1129

ATORA™ Taper and deburring countersinks

HSS	HSS-E	DIN 335C	Werkzeim	90°		Z 3	TIN	TIAM	W/Fe
• 3 cutting edges • Radially relief-ground • Cutting material: HSS HSS-E HSS TIN HSS TIAM • For countersinking and deburring • Countersink Ø match the respective countersink DIN screw heads (DIN 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919)									

material	very well suited	well suited	steel	stainless steel	aluminum	brass	nickel alloys	super alloys	aluminum	copper	graphite	hardened steel
Crash rate	20-28	10-15	5-8	5-8	5-10	5-10	6-14	6-12	40-60	20-50	22-40	20-50

Cutting speed Vc m/min. Please adjust these guidelines according to changing operation and machine setup.

Individual	D	Ds	D1	L	L4	Feed F	HSS	HSS TIN	HSS TIAM	HSS-E	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm²/min	art.no.	art.no.	art.no.	art.no.	
4.3	1.3	4	40	28	0.04	150101 0043	7.25	150105 0043	13.25	150107 0043	15.70
5.0	1.5	4	40	28	0.04	150101 0050	7.50	150105 0050	13.25	150107 0050	15.70
5.5	1.5	4	40	28	0.06	150101 0053	7.50	150105 0053	13.25	150107 0053	15.70
5.8	1.5	5	45	28	0.06	150101 0058	7.50	150105 0058	13.25	150107 0058	15.70
6.0	1.5	5	45	28	0.06	150101 0060	7.50	150105 0060	13.25	150107 0060	15.70
6.3	1.5	5	45	28	0.06	150101 0063	7.50	150105 0063	13.25	150107 0063	15.70
7.0	1.8	6	50	36	0.06	150101 0070	7.65	150105 0070	13.25	150107 0070	15.70
7.3	1.8	6	50	36	0.06	150101 0073	7.65	150105 0073	13.25	150107 0073	15.70
8.0	2.0	6	50	36	0.06	150101 0080	8.35	150105 0080	14.90	150107 0080	15.70
8.3	2.0	6	50	36	0.09	150101 0083	8.35	150105 0083	14.90	150107 0083	15.70
9.4	2.2	6	50	36	0.09	150101 0094	9.50	150105 0094	17.40	150107 0094	21.50
10.0	2.5	6	50	36	0.09	150101 0100	9.15	150105 0100	16.40	150107 0100	21.50
10.4	2.5	6	50	36	0.09	150101 0104	9.65	150105 0104	17.90	150107 0104	21.50
11.5	2.8	8	56	36	0.09	150101 0115	10.10	150105 0115	18.10	150107 0115	23.20
12.4	2.8	8	56	36	0.12	150101 0124	10.65	150105 0124	19.40	150107 0124	23.60
12.4	2.8	8	56	36	0.12	150101 0134	11.95	150105 0134	21.30	150107 0134	25.50
15.0	3.2	10	60	40	0.12	150101 0150	12.00	150105 0150	21.30	150107 0150	28.10
16.5	3.2	10	60	40	0.16	150101 0165	12.80	150105 0165	25.00	150107 0165	28.80
19.0	3.5	10	63	40	0.16	150101 0190	17.00	150105 0190	30.10	150107 0190	37.70
20.5	3.5	10	63	40	0.16	150101 0205	17.30	150105 0205	34.90	150107 0205	38.30
23.0	3.8	10	67	40	0.16	150101 0230	23.20	150105 0230	43.30	150107 0230	50.00
25.0	3.8	10	67	40	0.16	150101 0250	24.50	150105 0250	44.90	150107 0250	50.00
28.0	4.0	12	71	40	0.16	150101 0280	34.40	150105 0280	64.00	150107 0280	74.00
30.0	4.2	12	71	40	0.16	150101 0300	36.00	150105 0300	65.50	150107 0300	76.00
31.0	4.2	12	71	45	0.16	150101 0310	36.00	150105 0310	65.50	150107 0310	76.00
40.0	10.0	12	75	40	0.16	150101 0400	47.00	150105 0400	87.00	150107 0400	97.00

1129

1129

1129

1129

10-210 prices in Euro, VAT excluded

2016 / 2017 GB

article with bold price = on stock

Рисунок 3.28 Обрана зенківка

Задаємо параметри згідно з каталогами наступним чином:

Для фрези 12 з каталогу:

Кількість зубів: Z=1

Feed(Подача): $f_z = 0.08$ мм/зуб = 0.08 мм/об ;

Середнє значення швидкості: $V_c = 250$ мм/хв;

1. Частота обертання шпинделя n:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{250 \text{ мм/хв} \cdot 1000}{3.14 \cdot 12 \text{ мм}} = 6631 \text{ об/хв} \quad (1.1)$$

2. Швидкість руху стола (XY Feedrate) F в мм/хв:

$$F = n \cdot Z \cdot f_z = 6631 \cdot 1 \cdot 0.08 \approx 531 \text{ мм/хв}$$

Задаємо параметри і отримуємо результат

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

См.

85

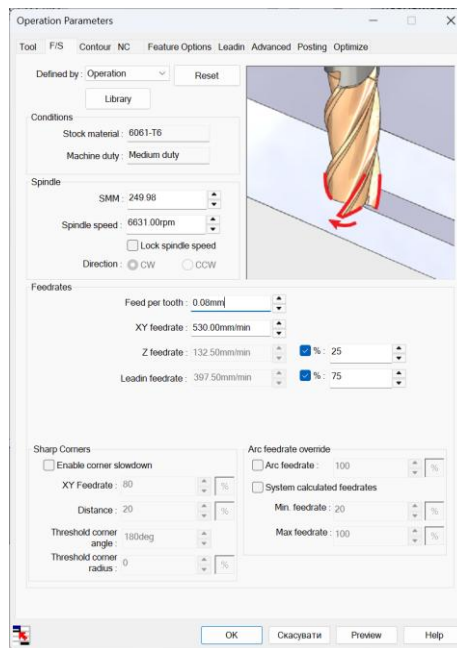


Рис 3.29 Ввід параметрів в програмі SolidWorks CAM.

SolidWorks CAM автоматично порахував швидкість $V_c = 249.98$ мм/хв при значенні з каталог: $V_c = 250$ мм/хв . Відхилення становить 0.02%. Наступну частоту обертання будемо брати з програми без обрахунків.

Знімаємо значення глибини різання з програми:

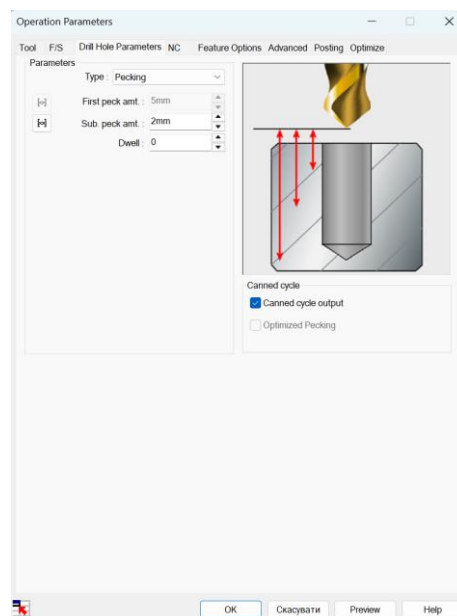


Рис 3.30 Значення глибини різання у SolidWorks CAM.

Режими різання рекомендовані виробниками інструментів занесено до таблиці 3.2 додатку 2

Пояснення до вибору інструменту:

Кінцева фреза:

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 86
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

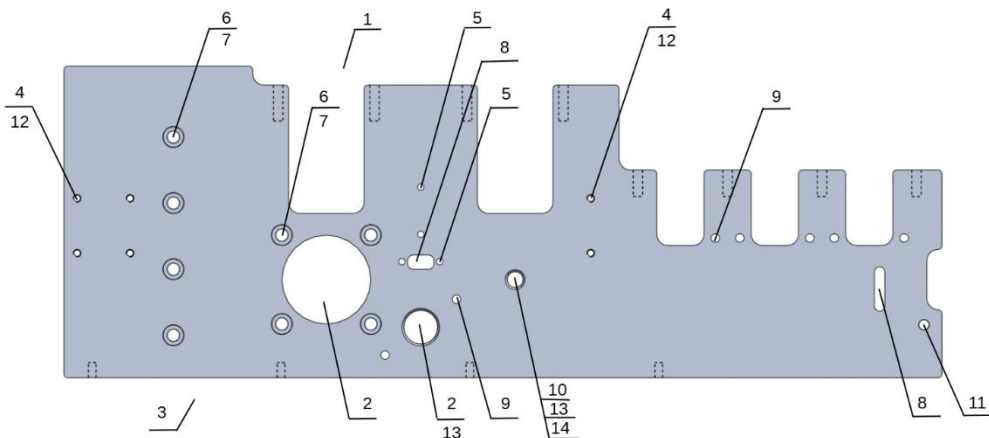


Рис 3.32 Відкоректована послідовність операцій

1. Підбираємо цанги із серії ER, підходить під фрезерний станок HAAS VF3

Для економії та простоти обираємо набір цанг ER16 42E (433220 1610)

Ціна: 172.50 €

та одну цангу для Ø11 ER25 430E(433213 0110)

Ціна: 16.70 €

Set on a wooden stand

• ER11 = increasing in increments of 0.5 mm, ER16 - ER40 = increasing in increments of 1 mm

Designation	Contents per set	Clamping range mm	art.no.	€
ER11 4008E	13 piece	1 - 7	433220 1110	219,-
ER16 424E	10 pcs.	1 - 10	433220 1610	172.50
ER20 428E	12 part	2 - 13	433220 2012	210,-
ER25 430E	15 pcs.	2 - 16	433220 2515	269,-
ER32 470E	18 piece	3 - 20	433220 3218	330,-
ER40 472E	24 piece	3 - 26	433220 4023	510,-

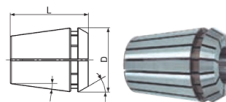


Рис 3.33 Набір цанг ER16 42E

ER collets, 8 µm

DN 649993

• Collapse of 1 mm (for ER11, 0.5 mm for clamping diameters of 1 to 2 mm)
• True-running accuracy 8 µm



Individual	ER11 4008E D = 11.5 mm L = 18 mm	ER16 424E D = 17 mm L = 27.5 mm	ER25 430E D = 20 mm L = 34 mm	ER32 470E D = 33 mm L = 40 mm	ER40 472E D = 41 mm L = 46 mm
1	433210 0010 17,10	433211 0010 15,90			
1.5	433210 0015 17,10				
2	433210 0020 17,10	433211 0020 15,90	433213 0020 16,70		
2.5	433210 0025 17,10				
3	433210 0030 17,10	433211 0030 15,90	433213 0030 16,70	433214 0030 17,10	433215 0030 22,10
3.5	433210 0035 17,10				
4	433210 0040 17,10	433211 0040 15,90	433213 0040 16,70	433214 0040 17,10	433215 0040 22,10
4.5	433210 0045 17,10				
5	433210 0050 17,10	433211 0050 15,90	433213 0050 16,70	433214 0050 17,10	433215 0050 22,10
5.5	433210 0055 17,10				
6	433210 0060 17,10	433211 0060 15,90	433213 0060 16,70	433214 0060 17,10	433215 0060 22,10
6.5	433210 0065 17,10				
7	433210 0070 17,10	433211 0070 15,90	433213 0070 16,70	433214 0070 17,10	433215 0070 22,10
8	433211 0080 15,90	433213 0080 16,70	433214 0080 17,10	433215 0080 22,10	
9	433211 0090 15,90	433213 0090 16,70	433214 0090 17,10	433215 0090 22,10	
10	433211 0100 15,90	433213 0100 16,70	433214 0100 17,10	433215 0100 22,10	
11		433213 0110 16,70	433214 0110 17,10	433215 0110 22,10	

40

Рис 3.33 Цанга для свердла Ø11

2. Оправки обираємо серії SK40(виходячи з того, що цанга вибирається із серії ER, вибираємо оправку із цього списку)

Обираємо патрон SK40 ER16 (431007 4010)

MAS 403 BT AD

• Internal coolant supply

Shank	Clamping range mm	for collets	A mm	D mm	art.no.	€
SK 40	1-10	ER16 / 426E *	63	32	431007 4010	45,-
SK 40	1-10	ER16 / 426E *	100	32	431007 4110	52,-
SK 40	2-16	ER25 / 430E	60	42	431007 4016	45,-
SK 40	2-16	ER25 / 430E	100	42	431007 4116	65,-
SK 40	2-20	ER32 / 470E	70	50	431007 4020	48,-
SK 40	2-20	ER32 / 470E	100	50	431007 4120	58,-
SK 40	3-26	ER40 / 472E	80	63	431007 4026	51,-
SK 40	3-26	ER40 / 472E	100	63	431007 4126	64,-
SK 50	2-16	ER25 / 230E	70	42	431007 5016	78,-
SK 50	2-20	ER32 / 470E	70	50	431007 5020	74,-
SK 50	3-26	ER40 / 472E	80	63	431007 5026	74,-

4117



40

Рис 3.34 Патрон SK40 ER16

Ціна: 45 €

Також для цанги 11мм, обираємо патрон SK40 ER25 (431007 4016)

3. Обираємо гайки для затиску патрона ER16 та ER25

ER clamping nuts

• For collets in accordance with DIN 6499 (ER/ESX)

• Case-hardened and ground, suitable for increased speeds

• Versions:

Mini nuts 50-54 HRC, ground on all sides, small constructional dimensions

Standard 56-60 HRC, pre-balanced

Type B 56 - 60 HRC, pre-balanced, special heat treatment for approx. 50 % higher clamping forces

Type HP 56 - 60 HRC, pre-balanced, for holding HP sealing washers, operating pressure up to 80 bar

Mini nuts

suitable for	Tightening torque max. mm	Rotational speed max. 1/min	D mm	L mm	Thread	art.no.	€
ER11	18	70.000	16	12	M13 x 0.75	431010 1011	20,10
ER16	28	60.000	22	18	M19 x 1	431010 1016	19,-
ER20	35	50.000	28	19	M24 x 1	431010 1020	19,50

4120

Standard

suitable for	Tightening torque max. mm	Rotational speed max. 1/min	D mm	L mm	Thread	art.no.	€
ER16	50	10.000	32	17	M22 x 1.5	431010 0016	18,30
ER20	75	10.000	35	18.5	M25 x 1.5	431010 0020	18,30
ER25	85	10.000	42	20	M32 x 1.5	431010 0025	18,80
ER32	105	10.000	50	22.5	M40 x 1.5	431010 0032	20,20
ER40	150	10.000	63	22.5	M50 x 1.5	431010 0040	26,50

4120

Type B



431010 1016



Рис 3.35 Гайки ER16

Обираємо гайку Standart ER16(431010 0016) та ER25(431010 0025)

Ціна: 18.30€ та 18.80€

4. Обираємо ключ для затягування гайки:

- For DIN 6499 type ER clamping nuts, DIN 1804 slotted nuts and DIN 981 roller bearing nuts
- Special steel

Standard			
for clamping nut	A mm	art.no.	€
ER16	50	438030 0016	11,85
ER20	60	438030 0028	11,95
ER25	65	438030 0042	12,65
ER32	75	438030 0050	17,75
ER40	90	438030 0063	23,60
4120			
Mini			
for clamping nut	A mm	art.no.	€
ER11 MINI	22.3	438031 0011	14,25
ER16 MINI	22.5	438031 0016	14,95
ER20 MINI	29	438031 0020	16,45
4120			



Рис 3.36 Ключ для затягування гайки

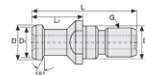
Обираємо Standart ER16(438030 0016) та ER 25(438030 0042)

Ціна: 11.05 € та 12.65€

5. Штревель для затиску патрону

ATORN® Pull studs

- For tools with a steep-angle taper in accordance with DIN 69871 and JIS B 6339 (MAS-BT)
- All **Full study** made from 16MnCr5, case hardened to HRC 58 ± 2
- Soft thread and bore, burnished and ground
- **Full study** with O-ring = sealed
- Other versions available on request (machine model must be specified)



DIN 69872 type A, with bore

suitable for	D mm	D1 mm	D2 mm	Thread	L mm	L1 mm	Bore hole Ø mm	Owing	art.no.	€
SK 30	13	9	13	M12	44	24	4	No	438501 0030	8,20
SK 40	19	14	17	M16	54	26	7	Yes	438501 0040	8,65
SK 50	28	21	25	M24	74	34	11,5	Yes	438501 0050	10,40

4113

DIN 69872 type B, without bore										4133
suitable for	D mm	D1 mm	D2 mm	Thread	L mm	L1 mm	Bore hole Ø mm	Owing	art.no.	€
SK 30	13	9	13	M12	44	24	-	No	438502 0030	8.80
SK 40	19	14	17	M16	54	26	-	Yes	438502 0040	8.80
SK 50	28	21	25	M24	74	34	-	Yes	438502 0050	10.85

4133



Рис 3.37 Штрель для затиску патрону

Обираємо SK40(438501 0040). Ціна:8,25 €

4. Прихвати для затиску заготовки. Для фрезерування на лицевій стороні



Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Cm.
90

Рис 3.38 Прихвати для затиску заготовки

Обираємо №76463 M16, так як в фрезерному станку HAAS VF3 передбачені отвори під M16 (Рис.6).

Ціна: 24.10€

Для верхньої та нижньої площини обираємо наступні зажими:

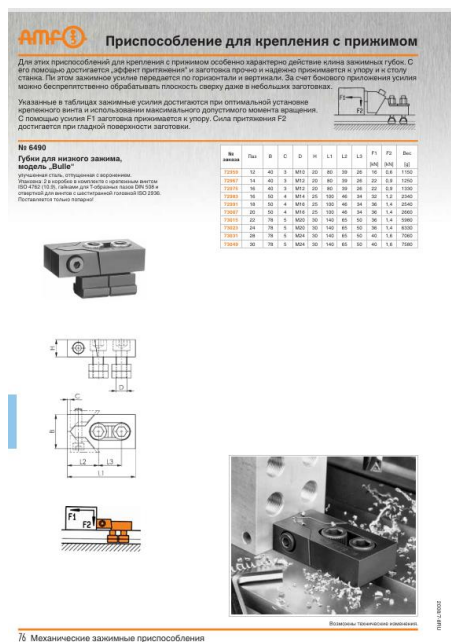


Рис 3.39 Обрані зажими

Обираємо №72975 паз 16

Ціна: 25.60€

Вимірювальні пристрої:

1. Штангенциркуль для виміру отворів з відхиленням IT12/2 та отвору

Mitutoyo Digital sliding caliper ABSOLUTE! AOS!

DIN 862, 0,1 mm, INOX, 0,01 mm, ABSOLUTE, Digimatic, USB

- Particularly suitable for use in rough work conditions due to the electromagnetic inductive process (Advanced O-ring Sensor), which is not sensitive to dirt or moisture on the scale
- "ABSOLUTE" scale for one-time zeroing
- High-contrast LCD display with 9 mm high digits
- Battery life approx. 18,000 hours
- Functions: ON/OFF, zero point at battery change [ORIGIN], user-defined zeroing (ZERO/ABS), battery check
- Supplied with SR44 battery (no. 500534 0001) and factory certificate
- Optional accessories: Digimatic cable type C, no. 563100 0021 (1 m), no. 563100 0022 (2 m), USB cable type C-USB, no. 563110 0003

Measurement range mm	Jaw length mm	Depth bar mm	Data output	art.no.	€	Calibration art.no.	€
100	40	Ø 1.9 mm	No	500560 2100	195,-	070101 0001	7,25
100	40	Ø 1.9 mm	Yes	500560 3100	206,-	070101 0001	7,25
150	40	Ø 1.9 mm	No	500560 2150	189,-	070101 0001	7,25
150	40	Ø 1.9 mm	Yes	500560 3150	195,-	070101 0001	7,25
150	40	Flat	No	500560 0150	189,-	070101 0001	7,25
150	40	Flat	Yes	500560 1150	195,-	070101 0001	7,25
200	50	Flat	No	500560 0200	178,-	070101 0001	7,25
200	50	Flat	Yes	500560 1200	192,-	070101 0001	7,25

5102

3.6 Написання управляючої програми

Технологічний процес реалізовано в САМ-системі SolidWorks CAM у відповідності до загальних рекомендацій, наданих в [5,6,7].

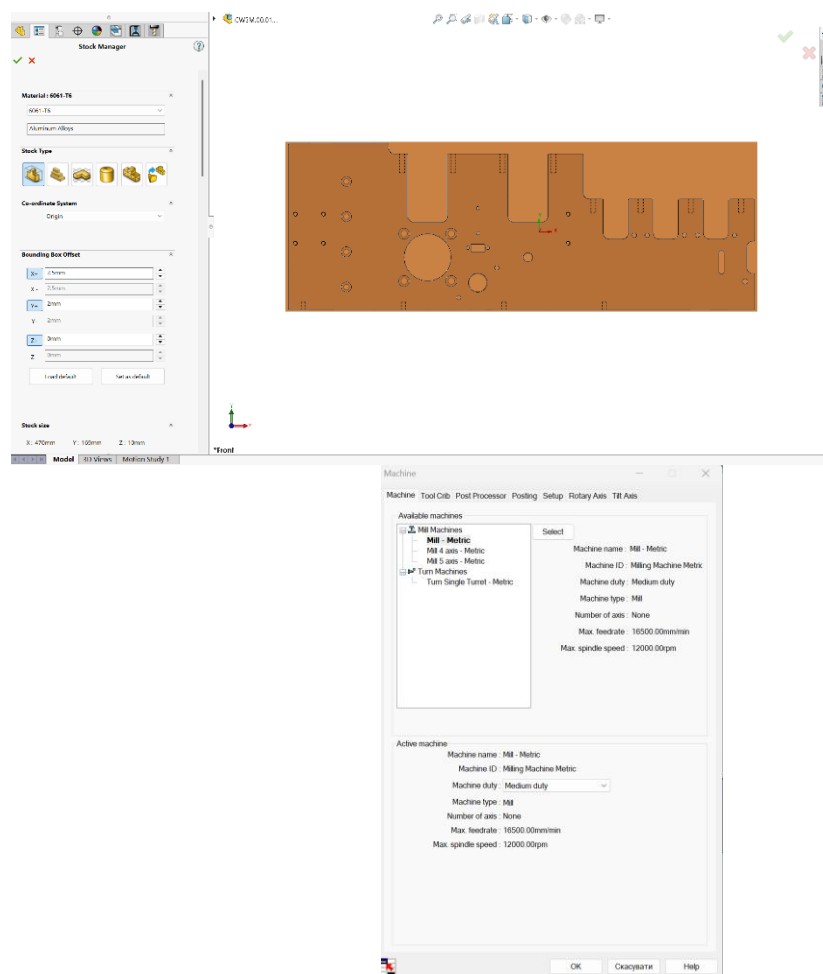


Рис 3.42 Вибір станка

Рис 3.43 Задання розмірів заготовки(+2.5мм до координат X та Y)

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
93

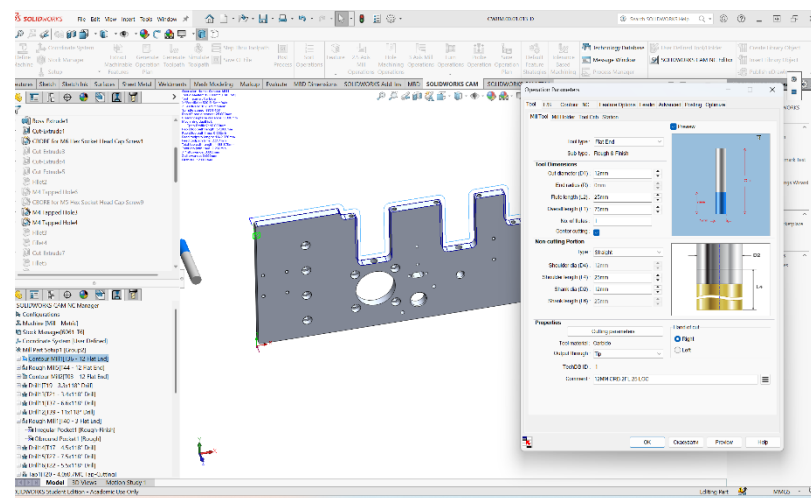
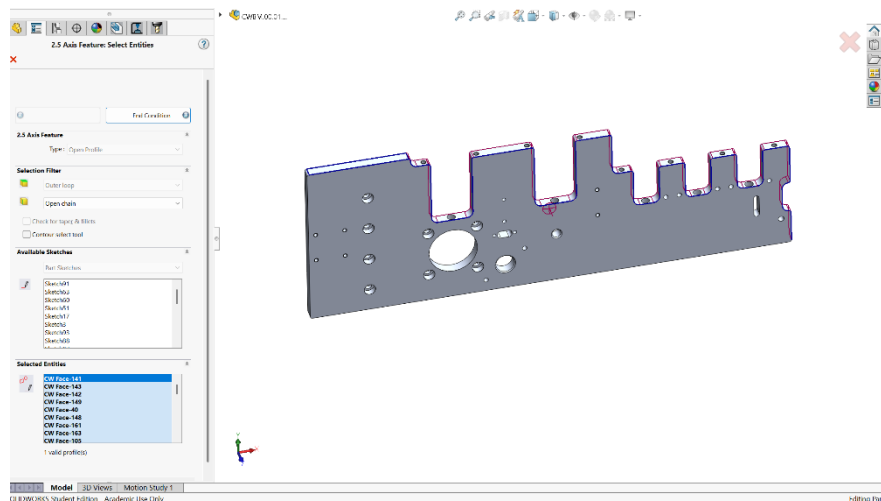


Рис 3.44 Створення першої операції з відкритим профілем

Рис 3.45 Задання всіх параметрів обробки та інструменту

Аналогічно робимо для обробки всієї деталі та уважно слідкуємо за колізіями інструменту.

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
94

В результаті отримуємо наступне дерево:

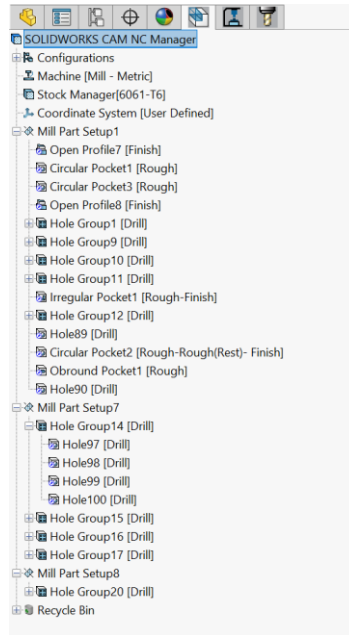


Рис 3.46 Feature tree



Рис 3.47 Дерево використаних операцій

За результатами симуляції обробка однієї деталі триває 40-60 хв.

3.7 Розрахунок вартості

1) Для розрахунку вартості згрупуємо всі вартості що можемо отримати:

Вартість заготовки та доставки

Ціна за плиту: 54 кг * 391.04 грн./кг= 21 116,16 грн

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	См.
						95
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

З каталогу вантажних перевізників обираємо автомобіль з ціною 600 грн/год і площею 20-25 м². Мінімальна сума замовлення 1800 грн.

Послуги вантажників: 300 грн година Мінімальний час замовлення 2 год

В результаті за плити та доставку плити отримуємо загальну вартість:
2400 грн = 470€

2) Загальна ціна всього інструменту відповідно до таблиці 2:

Вартість: 525,15 €

3) Вартість оснастки до верстату: 353 €

4) Вартість інструментів для вимірювання: 1906 €

5) Робота слюсаря для розкрою плити:

Година роботи: 7€

Вартість за 40 хв: 4 €

6) Робота фрезерувальника: 8€/год

7) Робота налагодника: 15€/год

В результаті підрахунку, за повний цикл за одну деталь отримуємо вартість:

3281,15€

В реальних умовах вартість буде нижчою на 70-80% так як на обрахунки були проведені з урахуванням закупівлі повного нового обладнання. На реальних виробництвах більшість потрібного інструменту для механічної обробки та для вимірювання вже є. Тому можна сказати що ціна за один виріб складатиме 200 €.

Для партії 5 шт отримуємо: $5 \cdot 200\text{€} = 1000\text{€}$

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 96
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 3

В результаті проведеної роботи було створено повний пакет документації обробки деталі в кількості 5 штук з механічною фрезерною обробкою. Одна деталь проходить 7 етапів, а саме:

1. Створення 3Д моделі та креслення.
2. За кресленням та технічним завданням було обрано заготовку, а саме плита з алюмінієвого сплаву 6061-T6 з параметрами 1000x2000x10мм. Наступним етапом є розкроювання листа на 5 шматків розмірами 480x180мм.
3. Розроблено маршрут та логічну послідовність механічної обробки деталі та вибрано один з стандартних верстатів типу HAAS VF-3.
4. Було обрано різальні інструменти з каталогу «ATRON», «SARA» відповідно до розмірів та допусків деталі. В результаті отримали 18 різних різальних інструментів. Також було розраховано режими різання а саме швидкість подачі, швидкість обертання та глибина різання
5. Наступним етапом було забезпечення верстату необхідним обладнанням під обраний інструмент. Все оснащення було обрано в каталозі «ATRON» - цанги, патрони, гайка, ключ під гайку, штремель та в каталозі «AMF» фіксуючі пристрої . Було обрано два різні так як відбувається обробка з 3-х різних площин. Для лицевої площини краще використати притискний зажим, а для обробки з торця краще використати зажим з обох боків для жорсткості. Наступним етапом було обрання інструментів для перевірки відповідності виготовлених деталей і креслення. Обрано 3 різних типи вимірювальних пристроїв, для отворів з допуском IT12/2, для габаритного розміру та для розміру з допуском H8.
6. Одним з найважливіших етапом є створення програми для верстата з урахуванням багаточисленною перевіркою на колізію та відповідність розмірам. Також за допомогою програми було обраховано час затрачений на одну деталь.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 97
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Розділ 4. Охорона праці

Охорона праці на сучасному виробництві є невід’ємною складовою процесу експлуатації верстатів та виготовлення деталей. Головною метою заходів з охорони праці є створення безпечних умов роботи, запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям. Правовою основою організації охорони праці в Україні є Конституція України, Кодекс законів про працю України (КЗпП), а також базовий Закон України «Про охорону праці». Відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов’язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а стаття 14 зобов’язує працівника знати і виконувати вимоги нормативних актів з охорони праці та правила поведінки з машинами і механізмами [34].

Під час проектування спеціалізованого мехатронного верстата для автоматизованого просторового гнуття дроту було враховано вимоги діючих державних та міжнародних стандартів, що регламентують безпеку промислового обладнання, зокрема:

ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків»;

ДСТУ EN ISO 4414:2014 «Пневмоприводи. Загальні правила та вимоги безпеки до систем та їхніх компонентів» — оскільки у верстаті використовуються пневматичні виконавчі механізми;

НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» — для забезпечення електробезпеки при роботі з промисловими контролерами та сервоприводами.

Проектований верстат є електромеханічною системою з пневматичними компонентами, що передбачає наявність певних виробничих небезпек: рухомі механічні частини (вузли гнуття та відрізання), стиснене повітря в магістралях, а також електрична напруга. Для мінімізації ризиків конструкцією передбачено встановлення захисних кожухів, використання

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 98
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

системи аварійної зупинки (E-STOP) та застосування зниженої напруги керування (24В) для датчиків і пневморозподільників.

4.1 Вимоги до виробничого приміщення та робочого місця

Не менш важливим у виробництві є приміщення в якому працюють оператори верстатів та інші. Для забезпечення надійної роботи верстата, а також для створення безпечних умов праці, виробниче приміщення повинно відповідати діючим санітарним, будівельним та пожежним нормам.

4.1.1 Вимоги до мікроклімату

Температурний режим: Оптимальна температура повітря у приміщенні повинна становити +18...+22 °С. [35] Це критично важливо для стабільної роботи ПЛК Siemens та уникнення температурних деформацій мідного дроту при прецизійному гнутті. Відносна вологість повітря має бути в межах 40–60%. Перевищення цього показника може призвести до утворення конденсату в пневматичних магістралях, що спричинить корозію пневмоциліндрів та вихід з ладу пропорційних регуляторів тиску. Приміщення повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією. Оскільки процес відрізання мідного дроту може утворювати дрібний металевий пил, кратність обміну повітря повинна становити не менше 3 разів на годину [35].

4.1.2 Вимоги до освітлення

Робота оператора верстата відноситься до зорових робіт високої точності (контроль заправки дроту діаметром 2 мм, налаштування зазорів ножа). У приміщенні має бути передбачене комбіноване освітлення (природне та штучне). Рівень освітленості безпосередньо в робочій зоні верстата (зона рихтування та різання) повинен становити не менше 400–500 Лк. Для усунення стробоскопічного ефекту на рухомих частинах приводів слід використовувати сучасні LED-світильники з низьким коефіцієнтом пульсації (менше 5%) [35].

4.1.3 Вимоги до розміщення обладнання та підлоги

Площа та габарити: Навколо верстата має бути забезпечений вільний прохід шириною не менше 1,0–1,2 метра для зручного технічного

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 99
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

обслуговування, завантаження котушок із мідним дротом та доступу до електрошафи і пневмоострова. Підлога повинна бути рівною, твердою та стійкою до впливу мастильних матеріалів. Для гасіння мікровібрацій від роботи гільйотинного ножа та крокових двигунів, верстат встановлюється на віброопори [36]. Розміщення компресора: Джерело стисненого повітря забороняється встановлювати в одному робочому приміщенні з верстатом через високий рівень шуму (понад 80 дБА) та вібрацій. Компресорне обладнання має бути винесене в окреме звукоізольоване приміщення, а до верстата підводиться лише пневматична магістраль із блоком підготовки повітря [36].

4.1.4 Електробезпека та заземлення

Приміщення повинно бути обладнане контуром захисного заземлення. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. Станина верстата, корпус електрошафи та металеві елементи пневмопанелі повинні бути надійно приєднані до шини заземлення для запобігання ураженню статичною електрикою та пробоям ізоляції. Електроживлення верстата має здійснюватися через окремий автоматичний вимикач та пристрій захисного відключення (ПЗВ) зі струмом витоку 30 мА [37].

4.1.5 Пожежна безпека

Приміщення відноситься до категорії «В» (пожежонебезпечне) через наявність електроустановок та пластикових/гумових елементів пневмосистеми [38]. Робоче місце повинно бути укомплектоване вуглекислотним вогнегасником (типу ВВК-3 або ВВК-5), оскільки використання пінних або водяних вогнегасників для гасіння електрообладнання та контролерів під напругою категорично заборонено.

З метою забезпечення безпечної експлуатації розробленого обладнання, на основі вищезазначених нормативно-правових актів, було складено відповідну інструкцію для оператора верстата.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 100
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

4.2 Інструкція з охорони праці при експлуатації спеціалізованого мехатронного верстата для гнуття дроту

1. Загальні вимоги охорони праці

1.1. До самостійної роботи на спеціалізованому мехатронному верстаті допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та мають відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки (не нижче II).

1.2. Робота на верстаті пов'язана з дією наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

рухомі частини верстата (вузли подачі, згинальний шпиндель, відрізний ніж);

стиснене повітря високого тиску в пневматичній системі;

ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції;

гострі краї заготовок (мідного дроту) та металева стружка/пил;

використання змашувальних матеріалів, що можуть спричинити ковзання або займання.

1.3. Оператор верстата зобов'язаний працювати у спецодязі (бавовняний костюм, захисні окуляри, за необхідності — захисні рукавиці для заправки дроту).

1.4. Робоче місце повинно бути добре освітленим, вільним від сторонніх предметів, а підлога — чистою та сухою.

2. Вимоги охорони праці перед початком роботи

2.1. Одягнути спецодяг, застебнути манжети рукавів, прибрати волосся під головний убір.

2.2. Перевірити надійність та цілісність захисного заземлення корпусу верстата та контролера керування.

2.3. Провести візуальний огляд пневматичної системи:

перевірити цілісність шлангів та надійність фітінгів;

переконатися у відсутності витоків повітря (характерного шипіння) при подачі тиску від компресора;

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 101
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

перевірити показники манометра на блоці підготовки повітря (тиск не повинен перевищувати номінальний робочий тиск у 6 бар).

2.4. Перевірити наявність та справність захисних кожухів на рухомих частинах.

2.5. Перевірити роботу механізмів верстата на холостому ходу, коректність спрацювання датчиків кінцевих положень та кнопки аварійної зупинки «E-STOP».

3. Вимоги охорони праці під час виконання роботи

3.1. Заправку мідного дроту у вузол рихтування та подачі здійснювати виключно при знятому тиску в пневмоциліндрах та вимкнених приводах.

3.2. Під час автоматичного циклу роботи верстата категорично забороняється:

торкатися рухомих частин (згинального пальця, напрямних, ножа);
намагатися виправити положення дроту руками під час його подачі;
проводити налаштування датчиків, затягування різьбових з'єднань або очищення робочої зони;

направляти струмінь стисненого повітря на себе або інших працівників;
перевищувати допустимий робочий тиск у пневмосистемі для штучного збільшення зусилля.

3.3. Правила поводження з мастильними матеріалами:

у разі потрапляння мастила на підлогу або частини верстата (крім напрямних), негайно витерти забруднене місце дрантям для запобігання ковзанню;

використане дрантя збирати у спеціальні металеві ящики з кришками, що щільно закриваються, для дотримання норм пожежної безпеки.

4. Вимоги охорони праці після закінчення роботи

4.1. Перевести верстат у безпечний режим, вимкнути живлення системи ЧПК та відключити ввідний автомат.

4.2. Скинути залишковий тиск у пневматичній системі за допомогою випускного клапана на блоці підготовки повітря.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 102
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

4.3. Очистити робочу зону від обрізків дроту та металевого пилю. Очищення проводити за допомогою щітки або пилососа. Здування пилю стисненим повітрям забороняється через ризик потрапляння твердих частинок в очі.

4.4. Змастити напрямні та рухомі частини верстата згідно з регламентом технічного обслуговування.

4.5. Зняти спецодяг, вимити руки та обличчя з милом.

5. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

5.1. У разі виникнення аварійної ситуації (заклинювання дроту, поломка різального інструменту, обрив пневматичного шланга, поява диму, запаху горілої ізоляції, стороннього шуму) негайно натиснути кнопку аварійної зупинки (E-STOP) та повністю знеструмити верстат.

5.2. У разі розриву пневматичної магістралі негайно перекрити вентиль подачі повітря від компресора для запобігання травмуванню шлангом, що хаотично рухається («ефект батога»).

5.3. При виникненні пожежі знеструмити обладнання та розпочати гасіння наявними засобами пожежогасіння (вуглекислотними або порошковими вогнегасниками). Використовувати воду або пінні вогнегасники для гасіння електроустановок під напругою категорично заборонено.

5.4. При травмуванні оператора надати першу домедичну допомогу, за необхідності викликати швидку допомогу та повідомити керівника робіт.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі було виявлено та проаналізовано основні потенційні небезпеки і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час експлуатації та обслуговування спеціалізованого мехатронного верстата для гнуття дроту. Основну увагу приділено оцінюванню ризиків, пов'язаних із роботою рухомих механічних частин, гібридної електропневматичної системи приводів, а також небезпеці ураження електричним струмом.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 103
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Також були проаналізовані фактори впливу виробничого середовища: стан мікроклімату, ризики виникнення пожежі та умови освітлення робочої зони. На основі проведеного аналізу запропоновано комплекс інженерно-технічних рішень для мінімізації небезпек та розроблено відповідну інструкцію з охорони праці.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 104
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Загальні висновки

У результаті виконання дипломного проєкту було вирішено актуальну інженерну задачу з підвищення ефективності та точності процесу згинання мідного дроту. На основі проведеного аналізу існуючих технологій було виявлено, що на ринку немає компактних та автоматизованих верстатів для гнуття мідного дроту малого діаметру. Таким чином було обґрунтовано доцільність розробки вузькоспеціалізованого верстата. Доведено, що таке рішення дозволяє уникнути недоліків ручного гнуття та мінімізувати вплив людського фактору.

Для практичної реалізації було використано комплекс необхідних інженерних рішень та розрахунків, за результатами яких було підібрано та сконструйовано оптимальну базу виконавчих пристроїв. На базі розрахунків та інженерних міркувань було розроблено кінематичну, пневматичну, електричну схеми, що дозволяє безперешкодно розібратися у принципі роботи верстату будь-якому військовому інженеру. Крім того розроблено повноцінну та деталізовану 3D модель верстата, конфігурація з використанням його на стандартному стелажі в обмежених умовах.

Особливу увагу приділено розробці системи автоматичного керування верстатом, що дозволяє в реальному часі відслідковувати стан мідного дроту та без людини підлаштовуватися під нерівності сировини.

З метою підготовки обладнання до реального виробництва, було детально описано технологічний процес виготовлення станини, так як це основа всього верстата. Визначено раціональну послідовність операцій, підібрано реальний інструмент та режими різання відповідно до каталогів.

Практичне призначення одержаних результатів полягає у отриманні повністю готового до роботи верстату та можливості безпосередньо впровадження розробленої моделі на підприємствах, що займаються серійним або одиничним складанням БПЛА.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 105
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Шокало В. М., Попович В. Д., Усін В. А. *Антенно-фідерні пристрої* : підручник. Харків : ХНУРЕ, 2005. 360 с.
2. Базовий курс FPV. Системи радіокерування та відеозв'язку [Електронний ресурс] // *Проект Victory Drones*. 2023. URL: <https://fpv-manuals.victory-drones.com/> (дата звернення: 10.05.2026).
3. Петраков Ю. В. *Автоматичне керування процесами обробки матеріалів* : навч. посіб. Житомир : ЖДТУ, 2005. 882 с.
4. Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубняк В. М. *Конструювання верстатів* : підручник. Київ : НТУУ "КПІ", 2001. 370 с.
5. Богуслаєв В. О. *Обладнання для обробки металів тиском* : підручник. Запоріжжя : Мотор Січ, 2013. 436 с.
6. Петраков Ю. В. *Автоматичне керування процесами обробки матеріалів* : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 412 с.
7. CNC pipe bender, mandrel bending machine TE medium [Електронний ресурс] // Numalliance : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://www.numalliance.com/en/machines/bending-machine-te-medium-en/> (дата звернення: 09.05.2026).
8. ELECT - Automatic tube bending machine [Електронний ресурс] // BLM GROUP : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://www.blmgroupp.com/tube-benders/elect> (дата звернення: 09.05.2026).
9. CRIPPA | OCTA Group : Tube bending machines [Електронний ресурс] // OCTA Group : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://octagroup.com/crippa> (дата звернення: 09.05.2026).
10. I-SC Series CNC Wire Benders [Електронний ресурс] // IP Automation : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://ipautomationinc.com/i-sc-series/> (дата звернення: 09.05.2026).
11. E-FLEX – Automatic wire bending machine [Електронний ресурс] // BLM GROUP : [офіційний сайт]. 2026. URL:

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 106
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

- <https://www.blmgroupp.com/ru/gibki-provoloki/e-flex/> (дата звернення: 09.05.2026).
12. Coiling Equipment & Parts Spring Manufacture Fortuna Federn [Електронний ресурс] // Coiling Equipment : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://coilingequipment.com/> (дата звернення: 09.05.2026).
13. Wire Bending Machine Bendable Diameter Aluminium [Електронний ресурс] // Amazon : [маркетплейс]. 2026. URL: <https://www.amazon.sg/Bending-Machine-Bendable-Diameter-Aluminium/dp/B0GJJ6STDT> (дата звернення: 09.05.2026).
14. D.I.Wire Pro : 2D CNC Wire Former [Електронний ресурс] // Pensa Labs : [офіційний сайт]. 2026. URL: <https://www.pensalabs.com/diwire-pro> (дата звернення: 09.05.2026).
15. Rollers 18 Steel Wire Drawing Machine Iron Wire Straightening Tool [Електронний ресурс] // Made-in-China : [маркетплейс]. 2026. URL: <https://sxjiangchuanjixie.en.made-in-china.com/product/CAVRnjLGsthI/China-18-Rollers-Steel-Wire-Drawing-Machine-Iron-Wire-Straightening-Tool.html> (дата звернення: 09.05.2026).
16. Струтинський С. В. *Проектування мехатронних систем* : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 480 с.
17. Nedelkovski D. Arduino 3D Wire Bending Machine [Електронний ресурс] // How To Mechatronics. 2018. URL: <https://howtomechatronics.com/projects/arduino-3d-wire-bending-machine/> (дата звернення: 09.05.2026).
18. Антена вузькодіапазонна «Конюшина» (Клевер), центральна частота 1000 МГц [Електронний ресурс] // Bezpeka-shop : інтернет-магазин. – Режим доступу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/product/antena-vuzkodiapazonna-konyushina-klever-tsentralna-chastota-1000-mgts-shirina-diapazonu-100-mgts/> (дата звернення: 11.05.2026).
19. Дріт мідний м'який (ММ) [Електронний ресурс] // Метал-Експо : інтернет-каталог металопрокату. – Режим доступу: <https://metall->

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 107
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

- ekspo.com.ua/ua/p1075033441-provoloka-mednaya-myagkaya.html (дата звернення: 11.05.2026).
20. Курмаз Л. В., Скойбеда А. Т. Деталі машин. Проектування : навч. посіб. Мінськ : Вища школа, 2004. 308 с.
21. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник / за ред. Г. С. Писаренка. 2-ге вид., допов. і переробл. Київ : Вища шк., 2004. 655 с.
22. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Пневмогідроавтоматика» / уклад. [Галицький]. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. 59 с.
23. Festo UA | Пневматика та автоматизація : офіційний сайт. URL: <https://www.festo.com/ua/uk/> (дата звернення: 18.05.2026).
24. Компресор ABAC Montecarlo OS20P : сайт компанії «Vinur». URL: <https://vinur.com.ua/products/kompressory/montecarlo-os20p> (дата звернення: 18.05.2026).
25. Елемент : постачальник алюмінієвого та нержавіючого металопрокату [Електронний ресурс] // 24 Елемент : [офіційний сайт]. — Режим доступу: <https://24element.com.ua/> (дата звернення: 19.05.2026).
26. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: Житомир, ЖДТУ – 2005. – 835 с.
27. Якимов О.В., Марчук В.І., Якимов О.О., Ларшин В.П. Технологія машино- та приладобудування. Підручник: Луцьк, ЛДТУ – 2005.-710с
28. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник/О.У. Захаркін.– Суми: Вид-во СумДУ, 2004. – 98 с.
29. Основи технології машинобудування / І. Назаренко, А.Т.Свідерський, Р.І. Рибалко, О.П.Дєдов / Навчальний посібник. Київ, КНУБА, 2010. – 165 с.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 108
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

- 30.Вертикально-фрезерний верстат Haas VF-5/50 [Електронний ресурс] // Abplanalp Україна : [офіційний сайт]. — Режим доступу: <https://abplanalp.ua/verstat-frezernij-vertikalno-frezernij-haas-vf-550> (дата звернення: 19.05.2026).
- 31.Abplanalp Україна : металообробне обладнання та інструмент [Електронний ресурс] // Abplanalp Україна : [офіційний сайт]. — Режим доступу: <https://abplanalp.ua> (дата звернення: 19.05.2026).
- 32.Kyocera Global [Електронний ресурс] // Kyocera : [офіційний сайт]. — Режим доступу: <https://global.kyocera.com> (дата звернення: 19.05.2026).
- 33.Sandvik Coromant : manufacturing tools and machining solutions [Електронний ресурс] // Sandvik Coromant : [офіційний сайт]. — Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com> (дата звернення: 19.05.2026).
- 34.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 19.05.2026).
- 35.ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 14 с.
- 36.ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 128 с.
- 37.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 33 с.
- 38.Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 109
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Додаток 1. Приклад коду виконання одного циклу в програмі

CoDeSys

```
0001
0002 IF HMI_Pressure_Sel > 10.0 THEN HMI_Pressure_Sel := 10.0; END_IF;
0003 IF HMI_Pressure_Sel < 0.0 THEN HMI_Pressure_Sel := 0.0; END_IF;
0004 AQ_SNC_ITV_Pressure := REAL_TO_INT((HMI_Pressure_Sel / 10.0) * 27648.0);
0005 R_TRIG_Start(Clk := DI_Btn_Start);
0006 IF NOT DI_DO4_Wire_Present OR NOT DI_PT1_Pressure_OK OR NOT DI_Btn_Stop THEN
0007   Step_State := 99;
0008 bSystemReady := DI_DO4_Wire_Present AND
0009   DI_PT1_Pressure_OK AND
0010   DI_DO1_Bend_Home AND
0011   DI_G1_Knife_Up AND
0012   NOT bLimitReached;
0013
0014 CTU_Parts_Counter(
0015   CU := DI_G2_Knife_Down,
0016   RESET := HMI_Reset_Counter,
0017   PV := HMI_Target_Qty,
0018   Q => bLimitReached,
0019   CV => HMI_Current_Qty
0020 CASE Step_State OF
0021
0022   DQ_XO1_Clamp_Grp1 := FALSE;
0023   DQ_XO2_Clamp_Grp2 := FALSE;
0024   DQ_Y1_Knife_Down := FALSE;
0025   DQ_Y2_Bending_Act := FALSE;
0026   DQ_Feed_Enable := FALSE;
0027
0028   IF bSystemReady AND R_TRIG_Start.Q THEN
0029     Step_State := 10;
0030   END_IF;
0031
0032   DQ_XO1_Clamp_Grp1 := TRUE;
0033   DQ_XO2_Clamp_Grp2 := TRUE;
0034
0035   TON_Clamp_Delay(IN := TRUE, PT := T#500MS);
0036
0037   IF TON_Clamp_Delay.Q THEN
0038     TON_Clamp_Delay(IN := FALSE);
0039     Step_State := 20;
0040   END_IF;
0041
0042   DQ_Feed_Enable := TRUE;
0043
0044
0045   IF bFeedingDone THEN
0046     DQ_Feed_Enable := FALSE;
0047     Step_State := 30;
0048   END_IF;
0049
0050   DQ_Y2_Bending_Act := TRUE;
0051
0052   IF DI_DO2_Bend_End THEN
0053     DQ_Y2_Bending_Act := FALSE;
0054     Step_State := 40;
0055   END_IF;
0056
0057   IF DI_DO1_Bend_Home THEN
0058     Step_State := 50;
0059   END_IF;
0060
0061   IF DI_DO3_Cut_Dist_OK THEN
0062     DQ_Y1_Knife_Down := TRUE;
0063   END_IF;
0064
0065   IF DI_G2_Knife_Down THEN
0066     DQ_Y1_Knife_Down := FALSE;
0067     Step_State := 60;
0068   END_IF;
0069
0070   DQ_XO1_Clamp_Grp1 := FALSE;
0071   DQ_XO2_Clamp_Grp2 := FALSE;
0072   IF DI_G1_Knife_Up THEN
0073     IF NOT bLimitReached THEN
0074       Step_State := 10;
0075     ELSE
0076       Step_State := 0;
0077     END_IF;
0078   END_IF;
0079   DQ_XO1_Clamp_Grp1 := FALSE;
0080   DQ_XO2_Clamp_Grp2 := FALSE;
0081   DQ_Y1_Knife_Down := FALSE;
0082   DQ_Y2_Bending_Act := FALSE;
0083   DQ_Feed_Enable := FALSE;
0084   TON_Clamp_Delay(IN := FALSE);
0085   IF DI DO4 Wire Present AND DI PT1 Pressure OK AND DI Btn Stop THEN
0086     Step_State := 0;
0087   END_IF;
0088
0089 END_CASE;
0090
```

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	См.
						110
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Додаток 2 Операції розділу технологія машинобудування

Таблиця 3.1 Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі

Назва поверхні	Характеристики ки якості поверхонь за креслеником			Типова технологічна послідовність оброблення поверхні	Характеристики якості поверхонь після оброблення		
	Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості Ra, мкм	Точність розмірів ІТ		Параметр шорсткості Ra, мкм		
1	12	3,2	Фрезерування чистове		12	3,2	
2	12	3,2	Фрезерування чистове		12	3,2	
3	12	3,2	Фрезерування чистове		12	3,2	
4	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
5	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
6	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
7	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
8	12	3,2	Фрезерування		12	3,2	
9	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
10	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
11	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
12	12	3,2	Нарізання різьби		12	3,2	
13	12	3,2	Зенкерування		12	3,2	
14	12	3,2	Розточування		H8	3,2	
15	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
16	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
17	12	3,2	Нарізання різьби		12	3,2	
18	12	3,2	Свердлування		12	3,2	
19	12	3,2	Нарізання різьби		12	3,2	

Таблиця 3.2 Режими різання рекомендовані виробниками інструментів.

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 111
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Операція	Інструмент	Глибина різання	Подача	Частота обертання	Швидкість різання	Вартість
		h [мм]	F [мм/об]	N [об/хв]	V [м/хв]	€
1	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120	10	0.08	6631	250	84.20
2	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120	5 5	0.08	6631	250	
3	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120	10	0.08	6631	250	
4	Свердло Ø3.3ммX118 ° 111010 0330	5	0.07	8100	83.97	11.90
5	Свердло Ø6.6ммX118 ° 111010 0330	5	0.1	8100	167.95	37.30
6	Свердло Ø11ммX118 ° 111010 1100	5	0.14	5787.45	200	97
7	Свердло Ø3.4ммX118 ° 111010 0340	5	0.07	8100	86.52	11.90

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 112
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

8	Фреза кінцева D=3мм 250001 0030	5 5	0.04025	8100	76.34	26.50
9	Свердло Ø4.5ммX118 ° 111010 0450	5	0.07	8100	114.51	17.70
10	Свердло Ø7.5ммX118 ° 111010 0450	5	0.1	8100	190.85	39.20
11	Свердло Ø5.5ммX118 ° 111010 0550	5	0.1	8100	139.96	25.70
12	Мітчик M4x0.7 133035 0040	3	0.7	1591.55	20	13.40
13	Зенківка D=25мм Кут 90° 150101 0250	12.5 10	0.16	509.30	40	24.50
14	Фреза кінцева D=0.8мм 250001 0015	2	0.0112	8100	20.36	34.35
15	Свердло Ø4.2ммX118 ° 111010 0420	5	0.07	8100	106.88	13.60
16	Свердло Ø8ммX118° 111010 0800	5	0.1	8100	203.58	43.70

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	См. 113
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

17	Мітчик М5х0.8 133035 0050	5	0.8	1273.24	20	13.90
18	Свердло Ø3.3ммХ118 ° 111010 0330	5	0.07	8100	83.97	11.90
19	Мітчик М4х0.7 133035 0040	3	0.7	1591.55	20	13.40

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 114
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3. Розміри для цанг

Операція	Інструмент	Глибина різання	Подача	Частота обертання	Швидкість різання
		L [мм]	L_1 мм	L_{max} мм	D_1 мм
1	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120	75	25	50	12
2	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120				
3	Фреза кінцева D=12мм 250001 0120				
4	Свердло Ø3.3ммX118° 111010 0330	65	36	29	3.3
5	Свердло Ø6.6ммX118° 111010 0330	101	63	38	6.6
6	Свердло Ø11ммX118° 111010 1100	142	94	48	11
7	Свердло Ø3.4ммX118° 111010 0340	70	39	31	3.4
8	Фреза кінцева D=3мм 250001 0030	38	12	26	3
9	Свердло Ø4.5ммX118° 111010 0450	80	47	33	4.5
10	Свердло Ø7.5ммX118° 111010 0450	109	69	40	7.5
11	Свердло Ø5.5ммX118° 111010 0550	93	57	36	5.5
12	Мітчик M4x0.7 133035 0040	63	21	42	4.5
13	Зенківка D=25мм Кут 90° 150101 0250	67	-	40	10
14	Фреза кінцева D=1.5мм 250001 0015	5	38	33	3

Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата

ДП.МА2213.00.000.ПЗ

Ст.
115

15	Свердло Ø4.2ммX118° 111010 0420	75	43	32	4.2
16	Свердло Ø8ммX118° 111010 0800	117	75	42	8
17	Мітчик М5х0.8 133035 0050	70	25	45	6
18	Свердло Ø3.3ммX118° 111010 0330	65	36	29	3.3
19	Мітчик М4х0.7 133035 0040	63	21	42	4.5

					ДП.МА2213.00.000.ПЗ	Ст. 116
Зміна	Арк	№ документа	Підпис	Дата		