

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
МР.ПМКм-21.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-24-1

Богдан ПРОКОПІВ

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Прокопів Богдан Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.9.012.7:621.91:004.7

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Проектування конструкції та розроблення системи керування

верстата для плазмового різання металів

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Б.Р. ПРОКОПІВ

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник ГНИЛИЦЯ І.Д., к.т.н., доцент кафедри КМВ

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри,

професор

(посада)

(підпис)

(дата)

В.Г. ПАНЧУК

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.О. БОРУЩАК

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м. Івано-Франківськ — 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КМВ

Віталій ПАНЧУК

«__» грудня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту ПРОКОПІВУ Богдану Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проєктування конструкції та розроблення системи керування верстата для плазмового різання металів

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту (роботи)

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Верстат для розкрою листових електропровідних матеріалів, зокрема низьковуглецевої та легованої сталі, нержавіючої сталі, алюмінію та його сплавів. Товщина оброблюваного матеріалу до 25 мм

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. 1. Аналіз сучасних технологій плазмового різання, конструкцій верстатів та супутнього програмного забезпечення. 2. Проєктування конструкції верстата і розроблення системи керування верстатом плазмового різання з ЧПК. 3. Технічні режими, проєктування та програмне забезпечення для експлуатації верстатів плазмового різання з ЧПК. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Складальний кресленик розробленого верстата. 2. Складальний кресленик каретки. 3. Деталювання основних вузлів верстата. 4. Електрична принципова схема системи керування верстатом з ЧПК для плазмового різання. 5. Розроблення керуючої програми ЧПК у SheetCAM. 6. Розроблення керуючої програми ЧПК у ProNest.

6. Дата видачі завдання – 26.09.2025

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Проектування конструкції та розроблення системи керування верстата для плазмового різання металів.

Дана робота складається зі 77 аркушів пояснювальної записки. До неї входять 31 рисунок, 10 таблиць та 2 додатки і 6 аркушів графічного матеріалу. Список використаної літератури містить 25 найменувань.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є проектування конструкції та розроблення системи керування верстата для плазмового різання металів, що забезпечує необхідну точність, продуктивність та якість обробки.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішено такі основні завдання: проаналізовано існуючі конструкції верстатів плазмового різання та системи їх керування; обґрунтовано вибір компоновочної схеми та основних вузлів верстата; виконано проектування механічної частини з використанням сучасних CAD/CAE-систем; розроблено структуру та алгоритми роботи системи керування; здійснено вибір апаратних і програмних засобів керування; виконано аналіз технологічних параметрів плазмового різання та оцінено експлуатаційні характеристики спроектованого обладнання.

Об'єкт дослідження: верстат для плазмового різання металів з числовим програмним керуванням.

Предмет дослідження: конструктивні та програмно-апаратні рішення, що визначають точність, надійність і ефективність роботи верстата.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених конструктивних і програмних рішень при створенні або модернізації верстатів плазмового різання, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі машинобудування та автоматизації виробництва.

У роботі проведено комплексний аналіз сучасних технологій плазмового різання, конструкцій верстатів та програмного забезпечення, що дозволило визначити основні вимоги до обладнання для забезпечення високої точності,

продуктивності та надійності обробки. Досліджено фізичні та технологічні аспекти процесу плазмового різання, включно з характеристиками джерела плазми, параметрами газового середовища, швидкістю переміщення ріжучої головки та станом витратних деталей.

У розділі проєктування конструкції верстата здійснено вибір оптимальної компоновочної схеми, визначено основні технічні характеристики та розроблено несучу раму, порталну систему, опори і приводи лінійних переміщень, що забезпечують жорсткість, плавність ходу та точність позиціонування. Розроблено 3D-модель верстата та комплект конструкторської документації, що включає креслення вузлів і складальні схеми для виготовлення та монтажу обладнання. Підбрано електронні компоненти системи керування на основі контролера Mach3, включно з драйверами TB6600, кроковими двигунами NEMA23, платами Breakout Board, датчиками кінцевих положень та джерелами живлення, що забезпечують стабільну, безпечну і точну роботу верстата.

Розроблено принципову електричну схему системи керування, інтегровано систему автоматичного регулювання висоти головки (THC) та забезпечено захист електроніки від перенапруг і коротких замикань. Проведено розробку та тестування керуючих програм у SheetCAM і ProNest, а також аналіз роботи з інтерфейсом Mach3. Комплекс заходів дозволяє підвищити ефективність, точність та безпеку плазмового різання, знизити знос витратних деталей і оптимізувати технологічний процес.

Результати роботи можуть бути використані для впровадження у промислове виробництво та подальшого вдосконалення систем автоматизації.

Ключові слова: плазмове різання, верстат з ЧПК, система керування, Mach3, крокові двигуни, драйвери, автоматичне регулювання висоти (THC), 3D-модель, конструкторська документація, технологічні режими, керуючі програми ЧПК, SheetCAM, ProNest.

Студент _____
(особистий підпис)

Богдан ПРОКОПІВ
(розшифровка підпису)

SUMMARY

Master's Thesis on the topic: Design of the Structure and Development of a Control System for a Metal Plasma Cutting Machine

This thesis consists of 75 pages of explanatory notes. It includes 31 figures, 10 tables, 2 appendices, and 6 pages of graphical material. The list of references contains 25 items.

The aim of this master's thesis is the design of the structure and development of a control system for a metal plasma cutting machine, ensuring the required accuracy, productivity, and quality of processing.

To achieve this goal, the following main tasks were addressed: analysis of existing plasma cutting machine designs and their control systems; justification of the choice of layout and main components of the machine; design of the mechanical part using modern CAD/CAE systems; development of the structure and algorithms of the control system; selection of hardware and software for control; analysis of technological parameters of plasma cutting; and assessment of the operational characteristics of the designed equipment.

Object of research: a metal plasma cutting machine with numerical control.

Subject of research: design and software-hardware solutions that determine the accuracy, reliability, and efficiency of the machine.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of using the developed design and software solutions in the creation or modernization of plasma cutting machines, as well as in the educational process for training specialists in mechanical engineering and production automation.

The study conducted a comprehensive analysis of modern plasma cutting technologies, machine designs, and software, which allowed identifying the main requirements for equipment to ensure high precision, productivity, and reliability of processing. The physical and technological aspects of the plasma cutting process were investigated, including the characteristics of the plasma source, parameters of the gas

environment, movement speed of the cutting head, and the condition of consumable parts.

In the machine design section, the optimal layout was chosen, the main technical characteristics were determined, and the supporting frame, gantry system, supports, and linear motion drives were developed to ensure rigidity, smooth movement, and accurate positioning. A 3D model of the machine and a complete set of design documentation were developed, including drawings of components and assembly diagrams for the manufacturing and assembly of the equipment. Electronic components of the control system based on the Mach3 controller were selected, including TB6600 drivers, NEMA23 stepper motors, Breakout Board modules, limit switches, and power supplies, which provide stable, safe, and precise operation of the machine.

A schematic diagram of the control system was developed, an automatic torch height control (THC) system was integrated, and protection of electronics against overvoltage and short circuits was ensured. Control programs were developed and tested in SheetCAM and ProNest, and the operation of the Mach3 interface was analyzed. The comprehensive measures allow increasing the efficiency, accuracy, and safety of plasma cutting, reducing wear on consumable parts, and optimizing the technological process.

The results of the work can be applied for industrial implementation and further improvement of automation systems.

Keywords: plasma cutting, CNC machine, control system, Mach3, stepper motors, drivers, automatic torch height control (THC), 3D model, design documentation, technological modes, CNC control programs, SheetCAM, ProNest.

Student _____
(особистий підпис)

Bohdan PROKOPIV
(розшифровка підпису)

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
РЕФЕРАТ	4
SUMMARY	6
ВСТУП	12
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ, КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТІВ та супутнього програмного забезпечення	14
1.1 Опис процесу плазмового різання та принцип роботи	14
1.2 Класифікація і основні компоненти плазморізу	16
1.3 Програмні продукти для розроблення кодів ЧПК.....	21
1.4 Порівняння програм для розкрою листового матеріалу	23
1.5 Програмні продукти для керування верстатами з ЧПК.....	25
2. ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТА І РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТОМ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ З ЧПК.....	27
2.1 Вибір компоновочної схеми верстата та визначення основних технічних характеристик.....	27
2.2 Вибір та обґрунтування системи плазмового різання.....	30
2.3 Проєктування несучої рами, порталної системи, опор та приводів лінійних переміщень.....	33
2.4 Розроблення 3D-моделі верстата та комплекту конструкторської документації.	35
2.5 Вибір електронних компонентів для керування верстатом на основі контролера Mach3	40
2.6 Розроблення електричної принципової схеми системи керування .	43

					<i>МР.ПМКМ-21.00.00.000 ПЗ</i>		
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис				
Розроб.		<i>Прокопів Б.Р.</i>		<i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Гнилиця І.Д.</i>			9	55	
Нормоконтроль		<i>Гнилиця І.Д.</i>			<i>ІФНТУНГ ПМКМ-24-1</i>		
Рецензент		<i>Боришак Л.О.</i>					
Затверд.		<i>Панчук В.Г.</i>					

3. ТЕХНІЧНІ РЕЖИМИ, ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЕРСТАТІВ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ З ЧПК	45
3.1 Умови експлуатації та технологічні режими плазмового різання...	45
3.2 Принципи роботи з контролером ТНС	49
3.3 Розроблення креслень та моделей для верстатів лазерного та плазмового різання З ЧПК	51
3.4 Розроблення кодів ЧПК для верстатів плазмового різання.....	53
3.5 Робота з інтерфейсом Mach3 при роботі на верстатах плазмового різання з ЧПК	61
3.6 Проблемні ситуації в плазмовій різці і способи їх вирішення.....	64
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ.....	71
Додаток А. Код керуючої програми ЧПК розробленої у SheetCAM ...	72
Додаток Б. Код керуючої програми ЧПК розробленої у ProNest	75

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування, металообробки та суміжних галузей промисловості характеризується зростанням вимог до точності, продуктивності, енергоефективності та гнучкості технологічних процесів. Особливого значення набуває впровадження високотехнологічного обладнання з числовим програмним керуванням, яке забезпечує автоматизацію виробничих операцій, стабільну якість продукції та зменшення впливу людського фактора. У цьому контексті верстати для плазмового різання металів займають важливе місце завдяки своїй універсальності, високій швидкості обробки та можливості різання широкого спектра електропровідних матеріалів [1,7,15,23].

Плазмове різання є одним із найбільш ефективних термічних методів розділення металів, що широко застосовується у машинобудуванні, суднобудуванні, будівельній галузі, ремонті та виготовленні металоконструкцій. Порівняно з газовим різанням, плазмова технологія забезпечує вищу швидкість обробки, кращу якість кромки та можливість різання кольорових металів і нержавіючих сталей [3, 5,11,12,20]. Водночас у порівнянні з лазерним різанням плазмові верстати мають значно нижчу вартість обладнання та експлуатації, що робить їх привабливими для малого та середнього виробництва.

Ефективність плазмового різання значною мірою залежить не лише від параметрів джерела плазми, але й від конструкції верстата, жорсткості його механічної системи, точності переміщення координатних осей, а також від досконалості системи керування. Недостатня жорсткість конструкції, помилки позиціонування або неузгодженість роботи приводів можуть призводити до погіршення якості різки, підвищеного зносу витратних елементів та зниження загальної продуктивності обладнання [16,16,24]. Тому проектування верстата плазмового різання повинно здійснюватися з урахуванням комплексного підходу, який поєднує конструкторські, електромеханічні та програмні рішення.

Особливу роль у забезпеченні стабільної якості різання відіграє система керування верстата. Сучасні системи ЧПК та спеціалізовані контролери дозволяють реалізувати точне керування рухами координатних осей, автоматичне регулювання висоти плазмового різачка, адаптацію режимів різання до умов

обробки та інтеграцію з програмними засобами підготовки керуючих програм. Застосування програмних продуктів для автоматизованого розкрою та генерації кодів ЧПК дає змогу оптимізувати траєкторії різання, зменшити витрати матеріалу та підвищити ефективність виробничого процесу [4,8].

Актуальність даної магістерської кваліфікаційної роботи зумовлена потребою у створенні доступних, надійних і технологічно ефективних верстатів плазмового різання, адаптованих до умов сучасного виробництва. Особливо важливим є розроблення таких рішень для підприємств, які потребують універсального обладнання з можливістю модернізації та використання поширених систем керування і програмного забезпечення. Поєднання раціональної конструкції верстата з ефективною системою керування дозволяє досягти оптимального співвідношення між вартістю обладнання, його функціональністю та експлуатаційними характеристиками.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є проєктування конструкції та розроблення системи керування верстата для плазмового різання металів, що забезпечує необхідну точність, продуктивність та якість обробки.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі основні завдання: проаналізувати існуючі конструкції верстатів плазмового різання та системи їх керування; обґрунтувати вибір компоновочної схеми та основних вузлів верстата; виконати проєктування механічної частини з використанням сучасних CAD/CAE-систем; розробити структуру та алгоритми роботи системи керування; здійснити вибір апаратних і програмних засобів керування; виконати аналіз технологічних параметрів плазмового різання та оцінити експлуатаційні характеристики спроектованого обладнання.

Об'єкт дослідження: верстат для плазмового різання металів з числовим програмним керуванням.

Предмет дослідження: конструктивні та програмно-апаратні рішення, що визначають точність, надійність і ефективність роботи верстата.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених конструктивних і програмних рішень при створенні або модернізації верстатів плазмового різання, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі машинобудування та автоматизації виробництва.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ, КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТІВ ТА СУПУТНЬОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1 Опис процесу плазмового різання та принцип роботи

Плазмова різка металу – швидкий і точний спосіб для розкрою листового металу за допомогою високотемпературної плазми. Цей спосіб гарантує мінімальну деформацію, високу точність різки і повторюваність деталей. А за умови використання верстатів з ЧПК і автоматизації розкрою – найбільш вдале і економічне використання сировини і отримання заготовок складної форми..

Плазмове різання – процес термічного розділення матеріалу струменем іонізованого газу дуже високої температури (20 000–30 000 °С). Однак цей метод можна використати лише для матеріалів, які проводять електричний струм, оскільки плазмова дуга утворюється між електродом пальника і самою заготовкою.

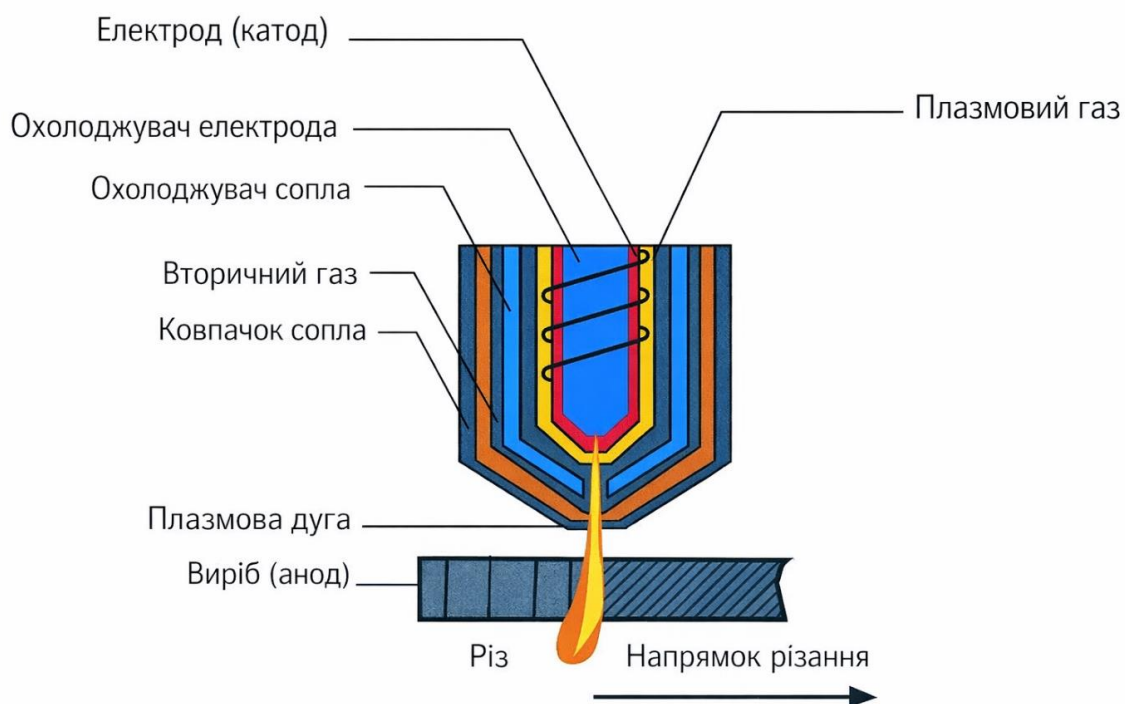


Рис. 1.1 – Схема роботи плазмової різки

Між електродом в різачу і заготовкою формується електрична дуга, яка є джерелом тепла. Потім стиснений газ проходить через вузьке сопло де під впливом дуги іонізується і перетворюється високотемпературний швидкісний струмінь плазми. Цей струмінь контактує з металом і розплавляє його в точці різку. В той же час високий тиск газу видуває його із зони різання.

В якості плазмового газу використовують активні гази – повітря або кисень – які окисляють метал, або неактивні – азот чи аргон. Активні гази використовують при різанні чорних металів, а неактивні – для різання кольорових металів і сплавів. Додатково для запобігання перегріву сопла і електрода плазмотрон має охолоджуючі канали. Також через додаткові канали в зону різання подається струмінь продувки, який покращує різ.



Рис. 1.2 – Кромка після плазмового різання без дефектів

Верстати плазмової різки в основному використовують для обробки заготовок товщиною до 40 мм. Для більшої товщини потрібно дуже потужне джерело і продувка, а кромка все одно буде із великим скосом, або дефектами. Швидкість різання буде дуже мала, тому в таких випадках зазвичай використовують газову різку.



Рис. 1.3 – Кромка після плазмового різання з дефектами

Також при отриманні деталей за допомогою плазмової різки варто пам'ятати про зону термічного впливу. Кромки деталей тверді, і подальша їх механічна обробка ускладнена.

1.2 Класифікація і основні компоненти плазморізу

Плазморізи можна порівнювати за багатьма ознаками, розглядати лише як джерело, або як цілий автоматизований комплекс заготівельної дільниці. Візьмемо до уваги в порівнянні кілька основних рис, за якими їх поділяють на класи.

Основне – автоматизація, або її відсутність. За ступенем автоматизації верстати плазмового різання поділяють на: ручні, механізовані та автоматизовані (ЧПК-верстати).

Ручні – тобто плазморіз в руках оператора. Це забезпечує меншу точність, але високу мобільність, що важливо для роботи на виїзді, або у важкодоступних місцях.

Механізовані – пальник закріплений на напрямних, або рухається оператором вздовж неї. Також один з варіантів це рук по копіру – шаблону, по контуру якого рухається направляюча, або за допомогою так званого «циркуля» для плазморіза.



Рис. 1.4 – Приклад механізованого різання плазмою по шаблону

Автоматизовані (ЧПК-верстати) – повністю автоматичні, керування за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, G-кодів. Оператор повинен зробити розкрій, обрати параметри різання встановити заготовку і надіслати файл на машину.

За типом конструкції верстати поділяють на: порталні, консольні та спеціалізовані.

Порталні – класичні, найбільш поширені для стаціонарного використання. Рама яка є відразу і столом, на краях якої направляючі по яких рухається портал з пальником. Розміри столів таких верстатів переважно кратні розмірам листового прокату – 1500x1500мм, 1500x3000мм, 2000x6000мм. В дорожчих версіях верстати мають змінні рухомі столи – Тобто, поки лист на одному столі розкроюється, з іншого оператор знімає деталі і готує для порізки заготовку на наступну розкладку. При великій завантаженості такі моделі сильно економлять час.



Рис 1.5 – Змінний стіл

Консольні – використовуються для листів невеликого формату і невеликої товщини. Має односторонню напрямну і регульовану консольну поперечну балку на якій рухається робочий орган. Є відносно портативною. Може працювати на столі, проте столи в таких верстатів не такі жорсткі як в порталних варіантів.

Спеціалізовані – з додатковим модулями, наприклад для порізки прокату – труб, швелерів. Ще один варіант – з поворотною головою, яка вважається додатковою віссю, вручну або керованою комп'ютером і дає змогу отримувати скос кромки на деталях і отримувати відразу при порізці фаски для зварювання, виключивши механічну обробку. Ще однією з додаткових функцій може бути додаткове водяне охолодження сопла, особливо для роботи із великими товщинами де напруга буде дуже великою. Також часто є потреба столу з аспірацією, для видалення іскор, газів і диму, які утворюються під час процесу різання. Очищення робочої зони таким чином покращує якість різки.



Рис. 1.6 - Консольний плазмовий верстат

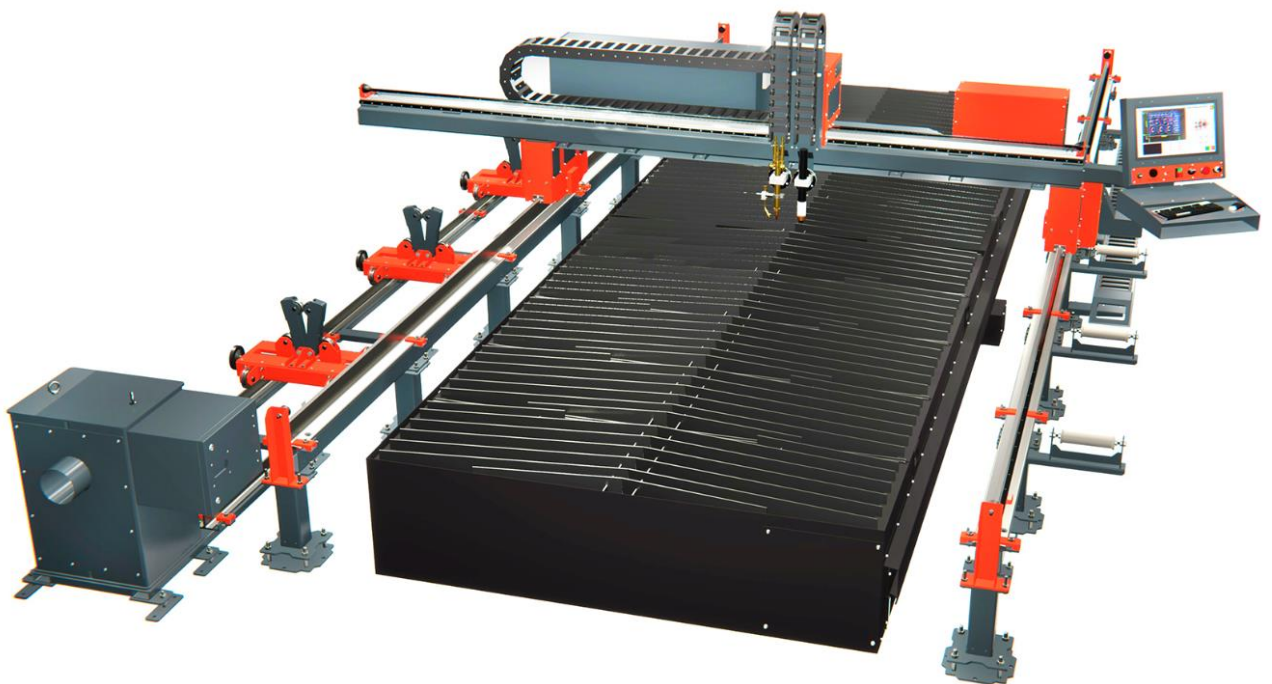


Рис. 1.7 – Верстат плазмової різки з труборізом

Основними компонентами верстату є: джерело плазми, джерело подачі повітря, плазмотрон, система переміщення та допоміжні системи

Джерело плазми – потужний блок живлення, який напругу з мережі трансформує на високовольтний струм щоб створити електричну дугу і живити пальник, який іонізує газ до плазми (близько 30000 градусів) і плавить метал, а потік газу видуває розплавлений матеріал.



Рис. 1.8 – Джерело плазми Hyperterm 125

Джерело подачі повітря – це компресор, або балони із стисненим газом, який подає стиснене повітря на плазмовий різак, де воно перетворюється на гарячий струмінь плазми.

Плазмотрон – робочий орган верстату. Складається з фіксуючої гайки (1), захисного ковпачка (2), фіксатора сопла (3), сопла (4), електроду (5) і головки плазмотрону (6).

При ввімкненні системи різання між соплом і електродом запалюється чергова електрична дуга, яка поступово заповнює весь канал. В той же час починається подача повітря під тиском. Коли повітря проходить через дугу, воно нагрівається і збільшує свій об'єм у 50-100 разів, при цьому іонізується і стає провідником струму. Завдяки конструкції сопла, стовбур плазми набуває високої швидкості на виході. В момент дотику стовпа до заготовки запалюється ріжуча дуга і гасне чергова дуга. Захисний ковпачок потрібен для захисту сопла від розплавленого металу і контакту сопла з деталлю, а також сприяє додатковому охолодженню, що продовжує термін служби компонентів.



Рис. 1.9 – Компоненти плазмотрону

Система переміщення – органи, які забезпечують рух верстату. Для лінійних напрямних здебільшого використовується пара каретка-лінійна рейка, рідше лінійні вали на опорі. Для приведення в рух встановлюються крокові двигуни або сервоприводи в парі з рейково-зубчастою передачею. Такого поєднання цілком досить для заготівельного виробництва, проте на верстатах підвищеної точності можна зустріти і кульково-гвинтову передачу.

Допоміжні системи – система запалювання дуги, додаткова система охолодження, системи безпеки, системи компенсації деформація листа. Також зустрічаються верстати зі змінною головою. Тобто замість плазморіза можна почепити газоріз, і отримати газову різку з ЧПК для великих товщин металу.

1.3 Програмні продукти для розроблення кодів ЧПК

CAD (*Computer-aided design – система автоматизованої розробки*) – програмне забезпечення для проектування, що дозволяє створювати тривимірні об'єкти на основі заданих даних і редагувати їх. Створені в CAD проекти використовуються в САМ безпосередньо для роботи з обладнанням. САМ-програма конвертує цифрові об'єкти в зрозумілі для верстата команди в форматі G-code, яка є найбільш поширеною мовою ЧПК. Крім G-code, використовуються такі мови, як: OpenSBP, HPGL (Hewlett-Packard Graphics Language), Cutter Location (CL) Data, APT.

Найпопулярнішими професійними САМ-продуктами є: Fusion 360, Vectric/Aspire, Mastercam, HSMWorks, Mecsoft (RhinoCAM, Visual Mill, AlibreCAM), Solidworks, PowerMill, ArtCam, а безкоштовними – Estlcam, Free Mill, DeskProto, HSMExpress, G-Simple, Heeks.

Найчастіше CAD/CAM поставляють у вигляді одного програмного пакета або заздалегідь підготовлених пакетів для простої інтеграції в програмно-апаратні комплекси для спільної роботи. Найпопулярніші та найбільш функціональні CAD/CAM-програми відрізняються складністю і вимагають серйозної підготовки оператора.

Для сумісності САМ-програми з верстатом і правильної обробки одержуваного коду застосовують програми-конвертери «Post» або «Post Processor».

Окремим випадком є програми оптимізації розкрою (наприклад, SVGnest, Deepnest), в основі яких лежить алгоритм розкрою, що орієнтує кілька деталей, що виготовляються таким чином, щоб вмістити їх якомога більше на одному аркуші матеріалу. Завдяки програмному забезпеченню для оптимізації розкрою користувач може використовувати різні стратегії вкладення, такі як тимчасове вкладення, вкладення набору або пакетне вкладення, щоб отримати економію матеріалу, зменшення часу роботи верстата, скорочення часу програмування тощо.

Варто також зауважити, що, крім САМ-програм, існують ще програми прямого управління (machine controller) верстатом з ЧПК, які передають, наприклад, рух мишки або пера безпосередньо на контролер верстата. Найбільш популярні з них: LinuxCNC, Grbl, Jedicut, PyCNC, Inkcute, Universal Gcode Sender (UGS).

Для створення керуючої програми двомірний кресленик або 3D-модель з CAD обробляється в САМ для отримання g-коду, який призначений для верстатів.

Незалежно від того, який верстат використовується, типовий процес створення деталі складається з наступних етапів:

- САД використовується для проектування деталей;

- додаткові програми можуть оптимізувати результат CAD для виготовлення на верстаті;
- CAM аналізує креслення CAD, отримує дані від оператора верстата (наприклад, про тип матеріалу або інструменту) і виводить керуючі команди G-код для контролера верстата;
- контролер верстата на основі отриманих із G-code команд активує відповідні електричні ланцюги у потрібній послідовності та із заданою тривалістю, що змушує верстат виконувати передбачені програмою операції.

1.4 Порівняння програм для розкрою листового матеріалу

Для управління лазерним та плазмовим обладнанням з ЧПК використовуються так звані програмні оболонки, що дозволяють керувати з персонального комп'ютера настройками переміщення випромінювача і, власне, створенням виробу на основі векторного ескізу. Для отримання деталей на ЧПК верстатах плазмового або лазерного різання потрібно контури деталей зберегти у форматі DXF. Далі з цими файлами треба працювати в спеціалізованих програмах для різання.

Таких програм є величезна кількість - Lantek Expert, SigmaNEST, RADAN, cncKad CypCut, PtoNEST, SheetCam, NestFab, Deepnest, LaserWork, LaserCut, RDWork та ін [6,9,10]. Частина з цих програм дозволяють лише автоматично оптимізувати розкрій, розмістити деталі на листі найкращим чином і отримати великий DXF-файл контуру різання усієї розкладки, яка була потрібна. Інша частина програм роблять розкрій і одночасно є CAM-системою, яка може керувати верстатом і процесом різання.

LaserWork – просте в управлінні і зрозуміле в ознайомленні графічне середовище, що дозволяє здійснювати такі операції, як: управління процесами переміщення лазерної головки, візуалізація процесу обробки, програмування параметрів різання, регулювання потужності лазера і швидкості різу.

LaserCut – нескладна для розуміння програма із широким функціоналом дозволяє реалізовувати велику кількість завдань, пов'язаних з лазерною та плазмовою різкою: визначати точку входу і повернення, налаштовувати параметри різання, потужність випромінювача і швидкість його переміщення, визначати час для виконання роботи і багато іншого.

RDWork – зрозуміла для ознайомлення та використання система управління лазерним верстатом, яка за функціоналом нічим не поступається вищепереліченому програмному забезпеченню. У своєму арсеналі має інструменти: настройки порядку різання, перевірки області гравірування, введення координат нуля для верстата та деталі, налаштування швидкості різку тощо.

ProNest – професійне програмне забезпечення для підготовки керуючих програм для верстатів плазмового, лазерного та газового різання, яке забезпечує розширені можливості автоматизованого розкрою листового матеріалу. Програма дозволяє виконувати імпорт і редагування креслень, автоматичне та ручне гніздування деталей, оптимізацію траєкторій різання з урахуванням технологічних параметрів, формування керуючих програм для ЧПК, а також налаштування режимів різання, таких як швидкість, висота пальника, послідовність пробивання та врізання. Використання ProNest забезпечує підвищення ефективності використання матеріалу, зменшення часу різання та покращення якості готових виробів.

SheetCam – має широкий набір функцій, необхідний для роботи із лазерним та плазмовим обладнанням із ЧПК: контроль переміщення випромінювача, розрахунок сумарного часу різання, візуалізація маршруту руху головки. Програма дозволяє створювати інструменти з різними параметрами різання (швидкість опускання різача, ширина прорізу, тривалість запису тощо) та вносити зміни в КП. SheetCam також може працювати із основними САМ-завданнями: фрезерування, гравірування, лазерного, гідроабразивного і газокисневого різання.

1.5 Програмні продукти для керування верстатами з ЧПК

Система ЧПК – це сукупність спеціалізованих пристроїв, методів та засобів, необхідних для реалізації верстатом, призначена для подачі керуючих рухів виконавчим органам верстата відповідно до КП. Автоматизоване керування процесами верстатів вимагає спеціалізованого програмного забезпечення.

Здебільшого ці системи застосовують G-код – мову програмування ЧПК металорізального обладнання (ISO 6983). В окремих випадках – наприклад, системи керування гравірувальними верстатами – мова керування принципово відрізняється від стандарту. Для простих завдань, наприклад, розкрою плоских заготовок, система ЧПК як вхідну інформацію може використовувати текстовий файл у форматі обміну даними – наприклад, DXF або HPGL.

При роботі із системами автоматизованого керування після того як складена КП, оператор за допомогою програматора вводить її в контролер. У процесі створення або після введення КП оператор (в даному аспекті виконує роль програміста) може відредагувати її, включивши в роботу системну програму редактора і виводячи на дисплей всю або потрібні частини керуючої програми і вносячи в них необхідні зміни. При роботі в режимі виготовлення деталі КП кадр за кадром надходить на виконання. Відповідно до команд КП контролер викликає відповідні системні підпрограми, які змушують працювати підключене до ЧПК обладнання у необхідному режимі. Результати роботи контролера у вигляді електричних сигналів надходять на виконавчий пристрій – приводи подач або на пристрій керування автоматикою верстата.

Керуюча система зчитує інструкції програми, які потім інтерпретатором системи ЧПК перекладаються з вхідної мови у команди керування головним приводом, приводами подач, контролерами вузлів верстата (наприклад, включити/вимкнути подачу охолоджуючої емульсії). Для визначення необхідної траєкторії руху робочого органу в цілому (інструменту/заготовки) відповідно до КП використовується інтерполятор, що розраховує положення проміжних точок траєкторії згідно із заданими в програмі кінцевими.

У системі керування, крім самої програми, присутні дані інших форматів і призначення. Щонайменше це машинні дані та дані користувача, специфічно прив'язані до конкретної системи керування або до певної серії однотипних моделей систем керування.

Найбільш поширені спеціалізовані системи ЧПК: FANUC, SINUMERIK, HAAS, MITSUBISHI, HEIDENHAIN, REXROTH, NUM, FAGOR, MAZAK, HNC, GSK. Щодо універсальних інтерфейсів керування верстатами із ЧПК, то найбільш поширеними є: Mach3, NC Studio, EMC2.

Mach3 – всесвітньо відома програма для керування фрезерним, токарним та іншим обладнанням із комп'ютера на базі Windows. Підходить не тільки для професійного, а й для аматорського використання. Дозволяє створювати призначені для користувача коди, контролювати частоту обертання шпинделя, керувати процесами фрезерування до шести осей. Безпосередньо імпортує файли (JPG, DXF, BMP) і генерує G-коди за допомогою вбудованого програмного забезпечення (LazyCam або Wizard).

NC Studio – програмний пакет, сумісний з усіма типами фрезерних та токарних верстатів із ЧПК. Має зручний інтерфейс, ефективно обробляє КП будь-якої складності, працює з G-кодами більшості САМ-програм.

EMC2 – програма на базі Linux для управління робочими процесами фрезерних верстатів через LPT-порт, яка може контролювати роботу до 6-и осей. Даний продукт є більш складним у встановленні та керуванні, ніж перераховані вище, а також вимагає професійних знань UNIX систем.

2. ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТА І РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТОМ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ З ЧПК

2.1 Вибір компоновочної схеми верстата та визначення основних технічних характеристик

Вибір оптимальної компоновочної схеми верстата є одним із ключових етапів проєктування будь-якої технологічної установки, що забезпечує високу точність, продуктивність та зручність експлуатації. Для верстатів плазмового різання металів особливе значення мають такі чинники, як розміри оброблюваних заготовок, швидкість і точність переміщення різальної головки, можливість автоматичного регулювання висоти різання та інтеграція з системою ЧПК. Компоновочна схема визначає розташування основних вузлів верстата, зокрема рухомого столу, каретки з плазморізом, напрямних ліній та електронної системи керування. Від правильного вибору схеми залежить ефективність роботи верстата, ресурс витратних деталей і ергономіка робочого процесу.

На сучасних плазмових верстатах використовуються різні компоновочні схеми, які можна поділити на три основні типи: вертикальна, горизонтальна та комбінована. Вертикальна компоновка передбачає стаціонарний робочий стіл і рухомий різак по осях X та Y, що забезпечує стабільність заготовки під час обробки. Ця схема є найбільш поширеною для верстатів невеликої та середньої продуктивності і забезпечує простоту конструкції та надійність механізмів. Горизонтальна компоновка передбачає рух столу по осі Y або Z, а різак зафіксований на каретці. Така схема застосовується для великих заготовок або при необхідності використання додаткових пристроїв автоматизації, наприклад, систем подачі заготовок або ротаційних пристроїв. Комбінована компоновка поєднує рухи столу та різача, що дозволяє досягати високої точності та продуктивності при обробці великих площин.

Під час вибору компоновочної схеми враховувалися такі критерії: точність позиціонування, повторюваність ходу, габарити верстата, максимальна швидкість переміщення, зручність обслуговування та доступ до витратних деталей, а також

можливість інтеграції з системою ЧПК Mach3 та програмним забезпеченням для створення керуючих програм, таких як SheetCam або LaserCut. Порівняльний аналіз схем показав, що оптимальною для лабораторного та виробничого використання є вертикальна компоновка з рухомою плазмовою головою та стаціонарним столом, що забезпечує стабільність заготовки, зручність монтажу та обслуговування обладнання.

Після визначення компоновки необхідно визначити основні технічні характеристики верстата, які впливають на продуктивність та якість різання. До основних характеристик належать робочі розміри столу, хід по осях X, Y та Z, точність та повторюваність позиціонування, максимальна швидкість переміщення каретки, характеристики джерела плазми, потужність привідних механізмів, маса та габарити верстата. Робочі розміри столу обираються виходячи з максимальних розмірів заготовок, які передбачається обробляти. У даному проєкті встановлено робочі розміри столу 1500×1500 мм по осях X та Y, а хід по осі Z — 150 мм, що дозволяє здійснювати обробку різноманітних металевих листів товщиною до 25 мм.

Для забезпечення високої точності та повторюваності рухів необхідно обирати напрямні з підвищеною жорсткістю та системи передач з мінімальними люфтами. Використання кулькових та рейкових напрямних забезпечує точність позиціонування до $\pm 0,05$ мм і повторюваність $\pm 0,02$ мм. Максимальна швидкість переміщення по осях X та Y становить 2000 мм/хв, по осі Z — 500 мм/хв. Вибір швидкостей обумовлений необхідністю підтримки оптимального режиму різання, який залежить від товщини матеріалу, типу металу та параметрів плазмового струму.

Для керування верстатом обрана система ЧПК Mach3, що дозволяє програмувати траєкторії руху різальної головки, автоматично підтримувати висоту різання за допомогою контролера ГНС, регулювати швидкість руху та параметри джерела плазми. Система сумісна з програмним забезпеченням SheetCam та LaserCut, що забезпечує гнучкість у створенні керуючих програм для різних типів контурів і матеріалів.

Проведені розрахунки та обґрунтування вибору компоновки дозволяють забезпечити необхідну продуктивність, точність і ресурс роботи верстата. Вибрана вертикальна схема з рухомою плазмовою головкою забезпечує стабільність заготовки, зручність обслуговування та ефективну інтеграцію з системою ЧПК, що дозволяє оптимізувати технологічний процес плазмового різання металів.

У таблиці 1.1 наведено технічні характеристики розробленого верстата для плазмового різання з ЧПК.

Табл. 1.1. Технічні характеристики та можливості верстата для плазмового різання з ЧПК

Назва	Характеристики
Двигуни	Крокові. Швидкість холостого переміщення 16 м/хв Робоча швидкість до 7 м/хв
Розкрійний стіл	Робоче поле 1500x1500 мм
Формат коду	G-code
Точність позиціонування	+/- 0,1 мм/м
Максимальна товщина різки металу	до 25 мм
Керування	Керуюча програма (ЧПК) – Mach 3 Програма для створення коду SheetCAM. Контроль висоти різача над металом – автоматичний за допомогою контролера ТНС
Живлення	Верстат – 220 В, 50 Гц, джерело плазмової різки мод. Powermax 125 XP– 380 В, 50 Гц
Споживання	верстат – 2,5 кВт
Максимальний вихідний струм	10-125 А

Назва	Характеристики
Максимальна номінальна вихідна напруга	145 В пост. струму
Максимальна потужність різання	6,5 кВт
Компресор	ВКП 4009L-10-200. потужність 3 кВт тиск на виході 10 Бар, об'єм ресивера 200 л
Рекомендований тиск подачі газу	5,5-6,9 бар
Максимальний тиск подачі газу	9,3 бар
Рекомендовані швидкість потоку і тиск	189 ст. л/хв при 5,9 бар
Мінімальна швидкість потоку	165,2 ст. л/хв
Система підготовки повітря	Так
Клас	1.7.1

Таким чином, правильний вибір компоновочної схеми і технічних характеристик верстата є основою для подальшого проектування системи керування, забезпечення високої якості різання та ефективного використання обладнання у виробничих умовах.

2.2 Вибір та обґрунтування системи плазмового різання

Вибір оптимальної системи плазмового різання є ключовим етапом при проектуванні верстата, оскільки від цього безпосередньо залежить продуктивність, точність обробки, ресурс витратних матеріалів та безпека експлуатації. Система плазмового різання включає джерело плазми, ріжучу головку, систему подачі газу, електронну частину керування, а також механічну платформу з ЧПК. Під час вибору системи враховуються характеристики оброблюваних матеріалів, розміри заготовок, товщина металу, необхідна точність та швидкість різання, умови експлуатації та бюджет проекту.

Плазмове різання металів базується на використанні електричної дуги, яка іонізує газ, що подається у ріжучу головку, створюючи плазмовий струмінь високої температури. Для ефективного процесу різання необхідно правильно

підібрати джерело плазми, що забезпечує стабільний струм та напругу, відповідно до товщини та типу металу. Для тонколистової сталі товщиною 1–10 мм достатньо джерела струмом 10–25 А, а для товстих заготовок до 25 мм — 30–45 А. Вибір струму визначає не тільки глибину різання, але й швидкість обробки та якість поверхні. Низька потужність призводить до неповного прорізання, а надлишкова – до збільшення термічного впливу та деформацій металу.

Крім джерела плазми, важливим елементом є система подачі стисненого газу, яка забезпечує стабільність плазмової дуги. Газ повинен бути очищеним, осушеним і знежиреним, з постійним тиском та швидкістю потоку. Найчастіше використовують стиснене повітря, але для спеціальних металів застосовують азот або аргон. Нестабільний тиск або забруднення газу знижують якість різку і прискорюють зношення витратних деталей, таких як електрод, сопло, завихрювач і захисний екран. Тому система подачі газу включає фільтри, осушувачі та регулятори тиску, що дозволяє підтримувати параметри у межах, рекомендованих виробником джерела плазми.

Ріжуча головка системи плазмового різання є важливим вузлом, оскільки визначає точність і якість обробки. Сучасні верстати оснащуються автоматичною системою регулювання висоти головки (ТНС – Torch Height Control), що дозволяє підтримувати оптимальну відстань між соплом і оброблюваною поверхнею. Це забезпечує стабільність дуги, зменшує спалювання металу та підвищує ресурс витратних деталей. Система ТНС інтегрується з ЧПК та контролером, що дозволяє автоматично коригувати висоту головки під час різання нерівних або товстих заготовок.

Система плазмового різання повинна бути сумісною з програмним забезпеченням для ЧПК, що забезпечує створення керуючих програм, налаштування траєкторій руху головки, швидкостей різання та параметрів струму. Серед популярних рішень – Mach3, SheetCam, LaserCut та PRONEST. Використання цих систем дозволяє не тільки програмувати обробку складних контурів, а й здійснювати візуалізацію траєкторій, перевірку колізій і оптимізацію

часу циклу. При інтеграції ЧПК з системою ТНС забезпечується автоматична корекція висоти, що значно підвищує точність і стабільність процесу.

Вибір конкретної системи плазмового різання для верстата залежить від комплексу технічних параметрів: потужності джерела плазми, тиску та якості газу, розмірів столу, точності та швидкості переміщення, наявності автоматичної системи регулювання висоти, сумісності з ЧПК і програмним забезпеченням. Для проєктованого верстата було обрано джерело Hypertherm Powermax 125 (рис. 1.8), оскільки це високопродуктивна система повітряно-плазмового різання, яка забезпечує ефективне, точне та надійне розділення металевих заготовок у виробничих умовах. Апарат працює в діапазоні вихідного струму 30–125 А та номінальній вихідній напрузі близько 175 В постійного струму, що дозволяє здійснювати різання тонких і товстих матеріалів з високою продуктивністю. Робочий цикл при температурі 40 °С складає 100 % при 125 А, що гарантує тривалу безперервну роботу без перегріву системи.

Джерело плазми може бути живлене від трифазної мережі з напругою 380–600 В 50/60 Гц, а його вхідний струм у залежності від конфігурації знаходиться в межах 24–38 А при потужності приблизно 21,9 кВт. Для запуску та стабільної роботи плазмової дуги використовується чисте, сухе та знежирене повітря або азот як газ-носії та охолоджувальний середовище.

Powermax 125 відрізняється значними габаритами і масою, що робить його придатним як для стаціонарного, так і для механізованого застосування на автоматичному верстаті: розміри пристрою складають приблизно 592×274×508 мм, а вага разом з різакон довшиною 7,6 м становить близько 45–49 кг залежно від живильної напруги.

Технічні можливості Powermax 125 дозволяють досягати чистого зрізу сталі товщиною до 38 мм та розділення металу (включно з механізованою плазмовою стріжкою) до 57 мм, що робить його ефективним для широкого спектра застосувань — від тонких листів до середньотоннажних конструкцій.

Окрім високої продуктивності, ця система включає сучасні технологічні рішення, такі як Smart Sense, що автоматично регулює тиск газу відповідно до умов різання, та забезпечує стабільність дуги при змінних робочих режимах.

Завдяки своїй потужності, надійності та широкому діапазону режимів роботи Hypertherm Powermax 125 часто використовується у промислових верстатах з числовим програмним керуванням для важких технологічних операцій, де потрібні висока якість зрізу й тривала експлуатація без простоїв.

Таким чином, обрана система плазмового різання є оптимальною для запланованого виробництва, забезпечує високу точність, продуктивність і стабільність процесу, а також зручність експлуатації та обслуговування. Її інтеграція з ЧПК та програмним забезпеченням дозволяє реалізувати автоматизацію процесу різання, скоротити час циклу та підвищити якість обробки, що робить систему ефективною та економічно обґрунтованою для промислового та навчально-дослідного використання.

2.3 Проектування несучої рами, порталної системи, опор та приводів лінійних переміщень

Несуча рама та портална система є основними конструктивними елементами верстата плазмового різання, від яких залежить точність, жорсткість та надійність роботи всієї установки. При проектуванні несучої рами основними вимогами є забезпечення мінімальної деформації під час переміщення різальної головки та стабільної підтримки оброблюваної заготовки. Рама повинна витримувати масу механізмів переміщення та елементів системи ЧПК, а також динамічні навантаження, що виникають під час різання металу.

Для підвищення жорсткості раму спроектовано з профільних сталевих труб із додатковими ребрами жорсткості. Така конструкція дозволяє зменшити прогини та коливання під час руху каретки, що безпосередньо впливає на точність різання та ресурс витратних деталей. Портальна система забезпечує переміщення різальної головки по осях X, Y та Z. Вона складається з порталу, каретки з плазморізом, напрямних ліній та приводних механізмів. Портал рухається по

напрямних, закріплених на несучій рамі, або, у випадку стаціонарного порталу, каретка рухається всередині нього. Основні вимоги до портальної системи включають високу жорсткість, точність ходу та відсутність люфтів у напрямних. Для цього застосовують кулькові гвинти або рейково-кулькові напрямні з мінімальним люфтом, що дозволяє забезпечити точність позиціонування на рівні $\pm 0,05$ мм і повторюваність $\pm 0,02$ мм.

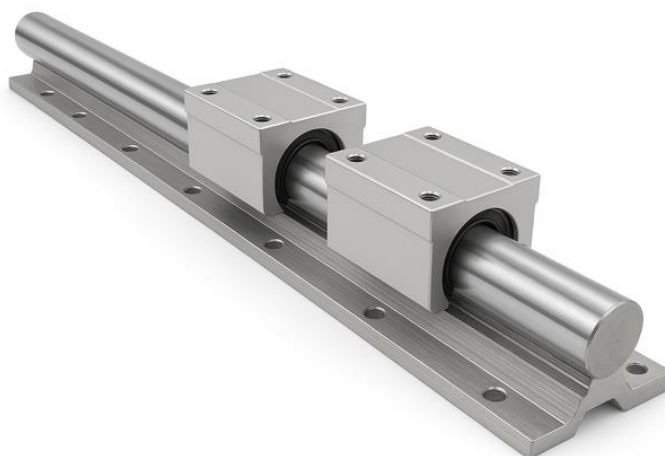


Рис. 2.1. Рейково кулькові напрямні з лінійним валом на опорі

Для зменшення тертя та зносу застосовують направляючі з закаленої сталі або алюмінієві профілі з вставками із полімерних матеріалів. Результатом проектування є конструкція, яка забезпечує стабільність, точність та довговічність верстата, дозволяючи ефективно використовувати його для різання металів різної товщини та складності контурів.

При проектуванні портальної системи також враховуються габарити оброблюваних заготовок та хід осей. Для верстата з робочим столом 1500×1000 мм рекомендовано забезпечити хід по осі X не менше 1500 мм, по осі Y – 1500 мм, а по осі Z – 150 мм для регулювання висоти плазморіза. Висота порталу визначається таким чином, щоб забезпечити безперешкодний доступ до столу та можливість обробки деталей різної товщини.

Приводи лінійних переміщень рейки каретки та портальної системи верстата плазмового різання забезпечують точне та плавне переміщення ріжучої головки по заданих координатах (X, Y, Z) відповідно до команд системи

числового програмного керування (ЧПК). Основні вимоги до приводів включають високу точність, повторюваність ходу, надійність при тривалих циклах роботи, а також стійкість до вібрацій та ударних навантажень. Вибрано привід «рейка – колесо» з роликівими опорами.

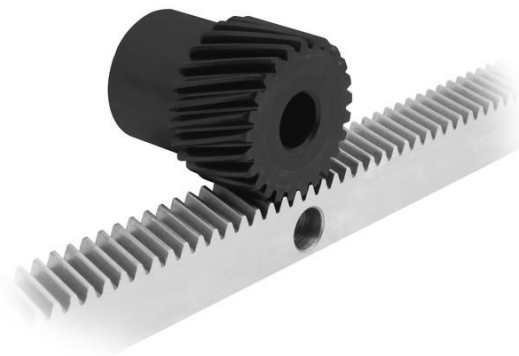


Рис. 2.2 Привідна пара «рейка – колесо»

Рейка закріплюється на несучій рамі, а каретка рухається по ній за допомогою роликів, що забезпечує мінімальний коефіцієнт тертя та високу жорсткість конструкції. Такий привід дозволяє досягти точності позиціонування на рівні $\pm 0,05$ мм та повторюваності $\pm 0,02$ мм.

2.4 Розроблення 3D-моделі верстата та комплекту конструкторської документації.

Створення 3D-моделі верстата плазмового різання є важливим етапом проєктування, який дозволяє візуалізувати конструкцію, перевірити взаємодію всіх вузлів, оцінити ергономіку та технологічність виробництва. Моделювання здійснюється у середовищі CAD/CAM/CAE – SolidWorks, що забезпечує точне відтворення геометрії деталей, розташування приводних механізмів, ріжучої головки, системи ЧПК та додаткових вузлів, таких як система регулювання висоти плазморіза (ТНС) та електронні модулі управління.

При розробленні 3D-моделі враховуються всі технічні характеристики верстата: робочий хід по осях X, Y та Z, габарити столу, висота порталу, маса ріжучої головки та витратних деталей, параметри приводів. Модель включає

основні вузли: несучу раму, порталну систему, каретку з плазморізом, напрямні рейки, електроприводи та кабельні траси. Така інтеграція дозволяє оцінити взаємне розташування компонентів і перевірити, чи не виникають колізії між рухомими частинами під час роботи верстата. Це забезпечує надійну роботу верстата та точність позиціонування ріжучої головки, що є критично важливим для високоякісного плазмового різання.

Паралельно із 3D-моделлю розроблено комплект конструкторської документації, який включає: складальні креслення основних вузлів та порталної системи, із зазначенням розмірів, матеріалів та технічних вимог; деталювання складових елементів: рами, каретки, напрямних, кронштейнів, ріжучої головки, витратних деталей; схеми електричних з'єднань для ЧПК, системи ТНС та датчиків.

Використання 3D-моделі також спрощує інтеграцію верстата з програмним забезпеченням ЧПК. На базі моделі формуються траєкторії руху ріжучої головки, здійснюється перевірка робочих циклів, оптимізація швидкостей переміщення та аналіз потенційних проблемних зон. Це дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу, знизити витрати на випробування та переналаштування обладнання, а також скоротити час від проєктування до запуску верстата в експлуатацію.

Збірка верстата плазмового різання включає комплекс взаємопов'язаних вузлів і систем, які забезпечують точність, продуктивність та безпеку роботи.

Несуча рама – фундаментальна частина верстата, яка забезпечує жорсткість конструкції та підтримку всіх рухомих і нерухомих елементів. Рама виготовляється з профільних сталевих труб або швелерів з ребрами жорсткості для мінімізації прогинів під час роботи (рис. 2.3). Вона визначає геометрію робочого простору та габарити всього обладнання.

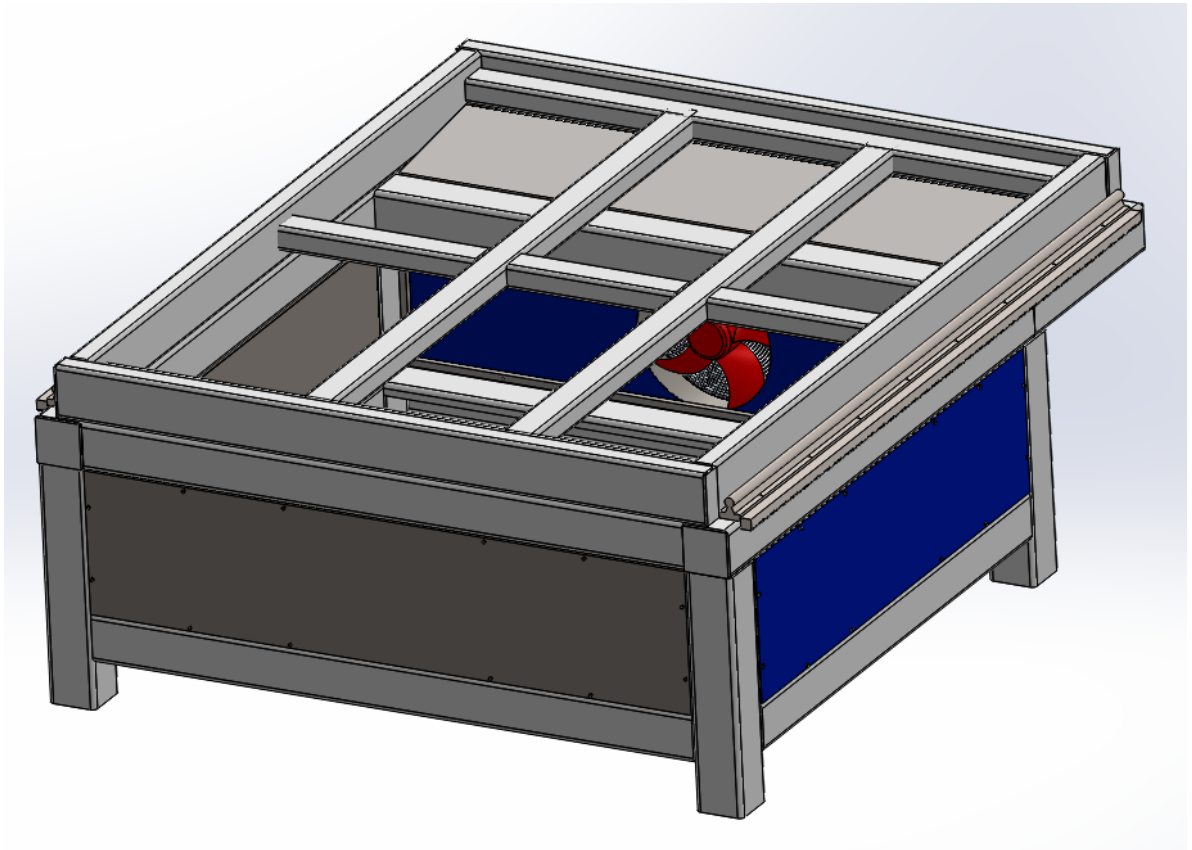


Рис. 2.3 – Несуча рама

Портальна система – забезпечує переміщення ріжучої головки по осях X та Y. Вона складається з порталу, каретки з плазморізом, напрямних рейок та приводних механізмів (рис. 2.4). Портал виготовляється з товстостінного профілю для зменшення вібрацій і перекосів при русі, а каретка оснащена підшипниковими вузлами для плавного ходу.

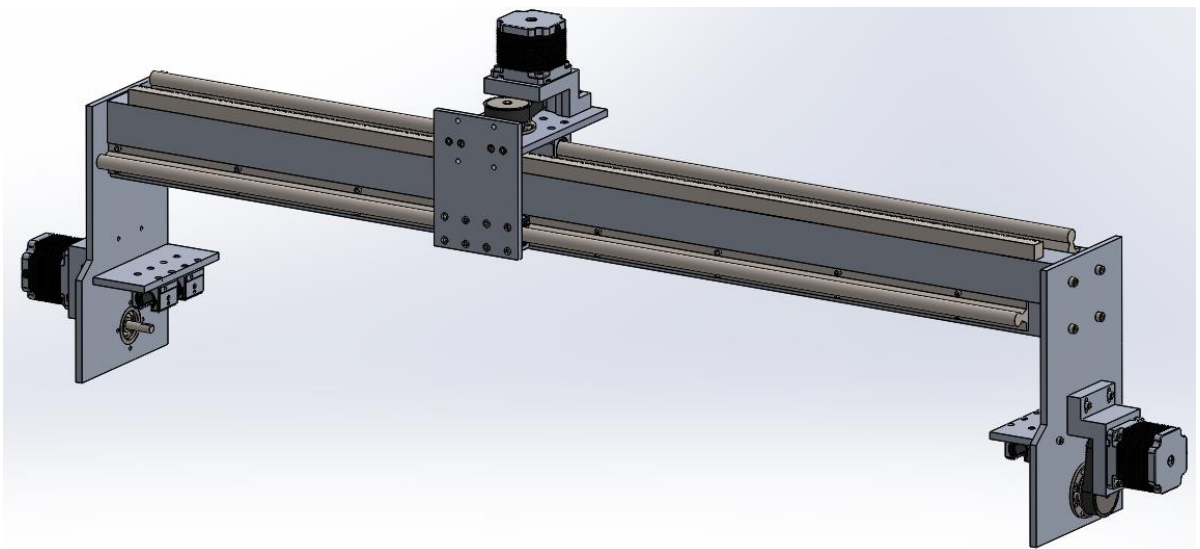


Рис. 2.4 – Портальна система

Робочий стіл та кріплення заготовок – плоска поверхня для розміщення металу (рис. 2.5). Стіл може бути зі змінними панелями або решітками для зменшення нагріву та шлакових включень. Кріплення забезпечує фіксацію заготовки під час різання.

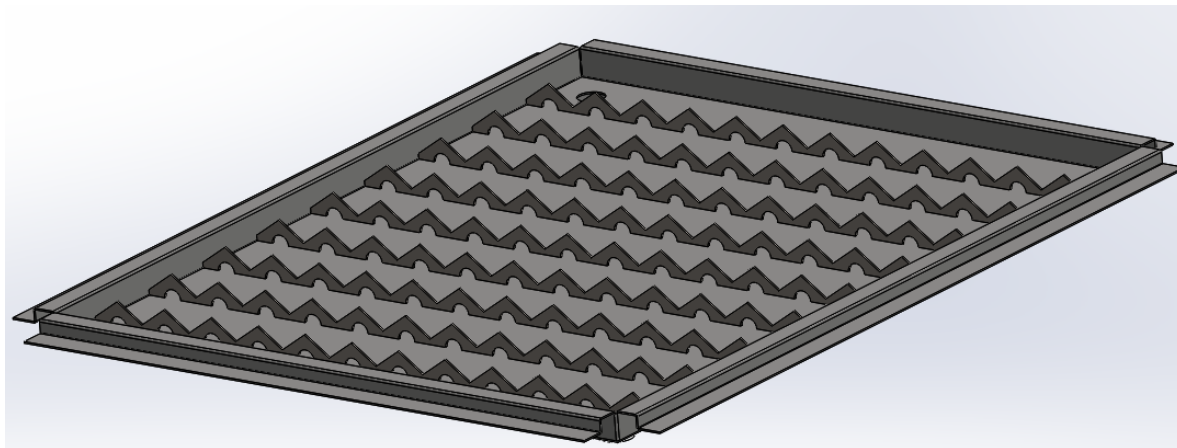


Рис. 2.5 – Робочий стіл

Каретка з ріжучою головкою – рухомий вузол, що утримує плазморіз і забезпечує точне позиціонування сопла (рис. 2.6). Каретка інтегрована з системою ТНС (Torch Height Control), яка автоматично регулює висоту головки під час різання, забезпечуючи стабільність дуги та якість зрізу.

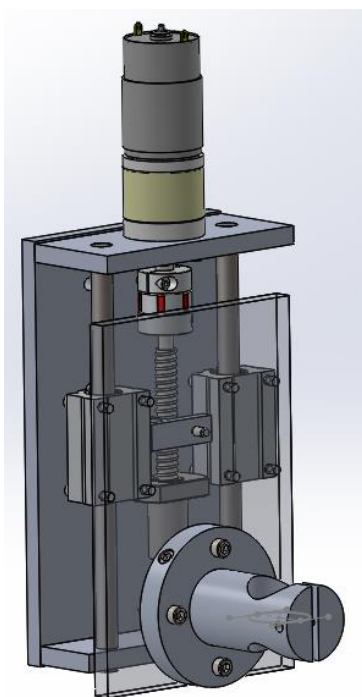


Рис. 2.6 – Каретка з ріжучою головкою

Приводи лінійних переміщень – механізми, які забезпечують переміщення порталу та каретки по осях X, Y і Z. Застосовано рейково-роликові напрямні з електроприводами, що забезпечують точність позиціонування та плавність ходу.

Загальний вигляд 3D-моделі розробленого верстата наведено на рис. 2.7.

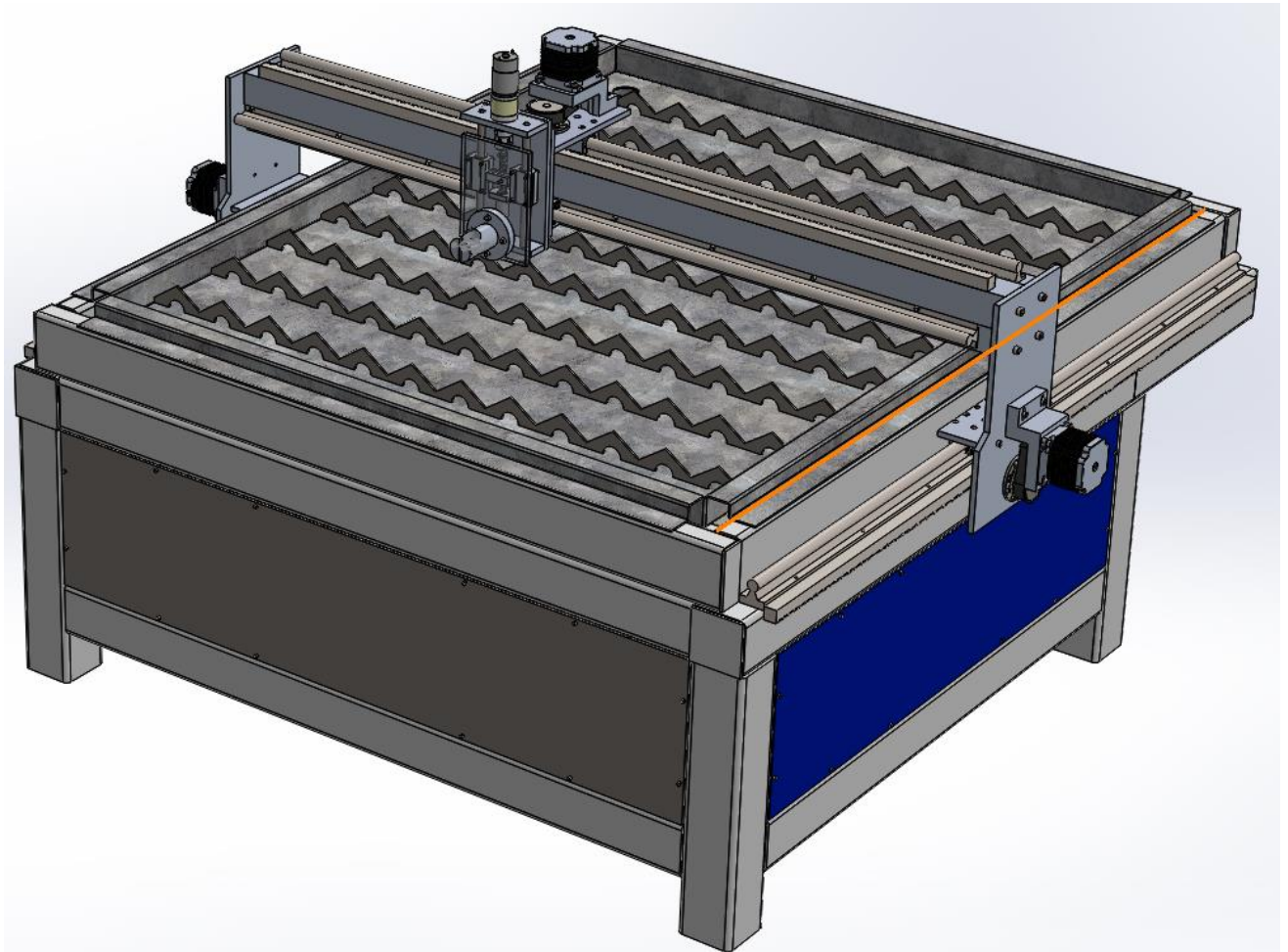


Рис. 2.7 – Загальний вигляд 3D-моделі розробленого верстата

Система числового програмного керування (ЧПК) – електронний блок, що керує рухами верстата відповідно до програми різання. ЧПК координує роботу приводів, плазморіза та системи ТНС, дозволяє програмувати траєкторії, швидкість подачі та параметри струму.

Джерело плазми – апарат, що створює плазмову дугу для різання металу. Воно визначає глибину різання, швидкість обробки та якість зрізу. Джерело плазми підключається до ріжучої головки та інтегрується з ЧПК для автоматичного управління струмом і напругою.

Розробка 3D-моделі та комплексу конструкторської документації є основою для подальшого виробництва, складання та експлуатації верстата плазмового різання. Вони забезпечують повну візуалізацію конструкції, можливість внесення змін до проекту на ранньому етапі, підвищують точність складання та експлуатаційну надійність обладнання. Таким чином, інтеграція 3D-моделювання і детальної конструкторської документації дозволяє створити сучасний, високотехнологічний верстат, що відповідає вимогам точності, продуктивності та безпеки.

2.5 Вибір електронних компонентів для керування верстатом на основі контролера Mach3

Сучасні верстати плазмового різання із числовим програмним керуванням потребують інтегрованої електронної системи, що забезпечує точність позиціонування ріжучої головки, стабільність плазмової дуги та надійність у роботі. Основою такої системи є контролер Mach3, який працює як програмний ЧПК на персональному комп'ютері з операційною системою Windows, але для реальної роботи з двигунами та датчиками він потребує апаратної підтримки у вигляді інтерфейсної плати, драйверів і додаткових електронних компонентів.

Система електронного керування верстатом на основі Mach3 складається з ПК із програмою Mach3, інтерфейсної плати Breakout Board, драйверів двигунів, крокових двигунів, джерел живлення, датчиків і кабельних систем.

Контролер Mach3 забезпечує обробку G-кодів, що генеруються CAD/CAM-програмами, та перетворює їх у сигнали STEP/DIR для привідних механізмів. Для стабільної роботи необхідний персональний комп'ютер із достатньою продуктивністю: процесор Intel Core i5 або вище, 8 ГБ оперативної пам'яті та SSD для швидкого завантаження програм. ПК виступає центром обробки даних та виконує роль інтерфейсу між користувачем і приводами, а також забезпечує можливість інтеграції з іншими програмними засобами, наприклад для автоматичного регулювання висоти головки (THC) і моніторингу параметрів плазмової дуги.

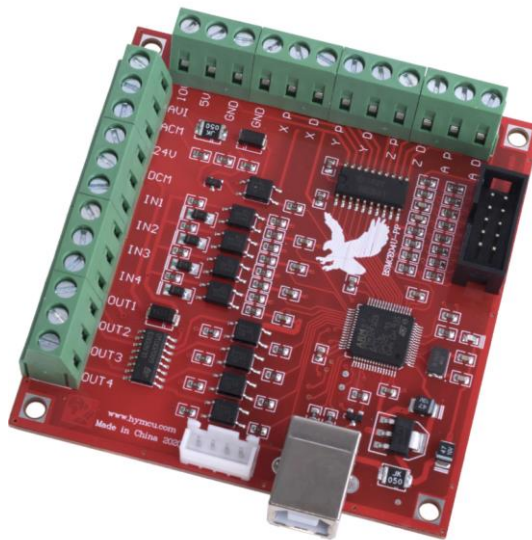


Рис. 2.7 – Плата управління верстатом з ЧПК

Для перетворення команд контролера на реальні переміщення роторів двигунів застосовуються драйвери крокових або серводвигунів. Найпопулярнішими у малих та середніх верстатах є драйвери TB6600, які забезпечують мікрокроки до 1/32 та струм до 4 А, що дозволяє досягти високої точності переміщення. Драйвери перетворюють сигнали STEP/DIR у стабільні струми для двигунів, контролюючи плавність ходу та забезпечуючи точність позиціонування.

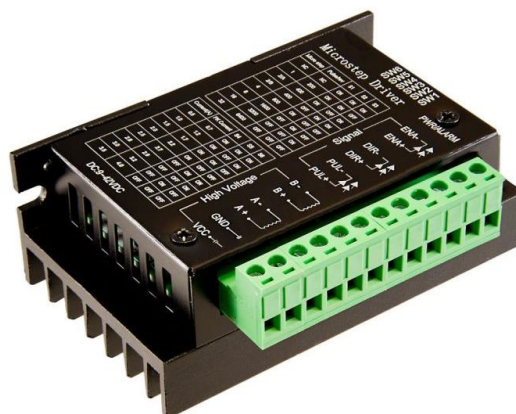


Рис. 2.8 – Драйвер TB6600

Крокові двигуни NEMA23 є стандартним вибором для осей X, Y, Z у верстатах середнього класу. Вони забезпечують точність кроку $1,8^\circ$ та можливість мікрошагування до 1/32, що дозволяє досягти плавного та точного переміщення

ріжучої головки. Потужність двигунів підбирається з урахуванням маси рухомих вузлів, довжини порталу та швидкості обробки. Двигуни підключаються до драйверів TB6600 або серводрайверів і отримують стабільний сигнал керування через Breakout Board.

Для стабільної роботи електронних компонентів застосовуються імпульсні блоки живлення 24 В для драйверів та 5 В для логіки плат та датчиків. Надійне джерело живлення дозволяє уникнути просідань напруги під навантаженням та гарантує довговічну роботу системи. Також використовуються запобіжники, варистори та захисні резистори для захисту від перенапруг та електромагнітних наведень, особливо критично важливих у плазмових верстатах.

До електронної системи входять кінцеві вимикачі для визначення граничних положень осей, датчики зонда для автоматичного встановлення нуля, кнопки аварійної зупинки (E-Stop), енкодери для серводвигунів. Всі ці пристрої підключаються до входів і забезпечують безпечну, точну та контрольовану роботу верстата. Кінцеві вимикачі та датчики дозволяють реалізувати функції homing, аварійного зупинення при зіткненні та захисту від виходу за межі робочого поля.

Для з'єднання всіх компонентів використовуються екрановані кабелі для сигналів STEP/DIR, EN, LIMIT, а також окремі кабельні траси для живлення двигунів і логіки. Це зменшує електромагнітні наведення від джерела плазми та підтримує стабільність сигналів на високих швидкостях. Кабелі прокладаються в кабельних каналах та забезпечують захист від механічних пошкоджень під час руху каретки та порталу.

Електронна система інтегрується із джерелом плазми та системою автоматичного регулювання висоти головки (THC). Контролер Mach3 через Breakout Board керує включенням/вимиканням джерела плазми та приймає сигнали від датчиків THC для підтримки оптимальної відстані між соплом і металом. Це забезпечує стабільність дуги, якість зрізу та мінімізацію зносу витратних елементів різача.

2.6 Розроблення електричної принципової схеми системи керування

Розроблення електричної принципової схеми системи керування верстатом плазмового різання є ключовим етапом проєктування, який забезпечує безпеку, надійність та точність роботи обладнання. Принципова схема відображає взаємозв'язок всіх електронних компонентів, включаючи контролер Mach3, плату Breakout Board, драйвери двигунів, крокові та серводвигуни, датчики кінцевих положень, систему автоматичного регулювання висоти головки (ТНС), реле для управління джерелом плазми та блоки живлення.

Основою схеми є ПК з встановленим програмним забезпеченням Mach3, який генерує команди у вигляді G-кодів і передає їх на інтерфейсну плату через USB або Ethernet. Breakout Board виконує функцію конвертера сигналів: вона формує імпульси STEP/DIR для драйверів крокових або серводвигунів, підключає входи для кінцевих вимикачів, аварійної зупинки та датчиків зонда, а також забезпечує оптоізоляцію сигналів для захисту комп'ютера від електромагнітних наведень і коротких замикань.

Драйвери двигунів приймають імпульси з Breakout Board і формують стабільний струм для крокових або серводвигунів. На схемі передбачено підключення кожного двигуна до відповідного драйвера, який регулює мікрошагування та струм для досягнення необхідної точності позиціонування каретки.

Система ТНС підключається до Breakout Board і взаємодіє з драйверами по осі Z, регулюючи висоту головки відповідно до сигналів від датчика дуги. Реле або контактори, показані на схемі, відповідають за включення і вимкнення джерела плазми, а також за інтеграцію аварійних сигналів. Входи кінцевих вимикачів забезпечують контроль меж ходу каретки, реалізацію функцій homing та запобігання зіткнень механічних вузлів.

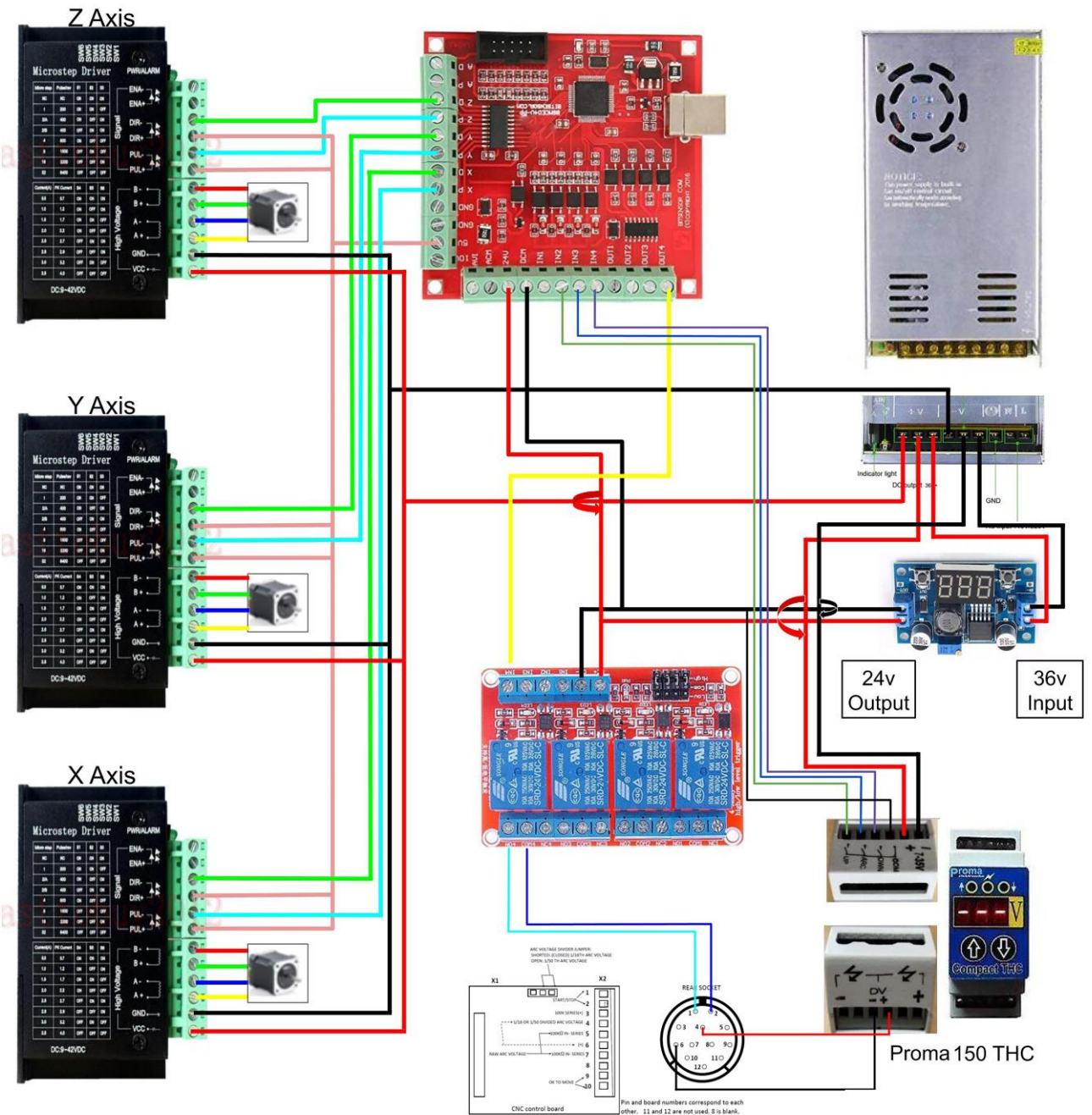


Рис. 2.9 – Електрична принципова схема системи керування верстатом з ЧПК для плазмового різання

3. ТЕХНІЧНІ РЕЖИМИ, ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЕРСТАТІВ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ З ЧПК

3.1 Умови експлуатації та технологічні режими плазмового різання

Хороший результат плазмового різання залежить від наступного:

- якість повітря на вході джерела плазми;
- стан витратних деталей плазмового різача;
- вибір інструменту різання в SheetCam із правильними параметрами різання;
- автоматичне регулювання висоти плазмового різача.

На вхід джерела плазми потрібно подавати очищене, осушене і знежирене повітря із сталим значенням тиску і швидкості потоку (відповідно до вимог виробника апарата плазмового різання, що використовується). Низька якість повітря може впливати на якість різу, а також пришвидшувати вихід з ладу витратних деталей плазмового різача.

Стандартний набір витратних деталей складається із: захисного екрана, сопла, електрода та завихрювача. Необхідно періодично перевіряти їхній стан на наступне:

- чи отвір у захисному екрані круглої форми (якщо ні, то необхідно замінити на новий);
- чи немає шлаку, металевих часток на захисному екрані (якщо є, то необхідно видалити їх);
- чи отвір у соплі круглої форми (якщо ні, то його необхідно замінити на нове);
- яка глибина зношення гафнію в електроді (якщо більше 1.5 мм, то необхідно замінити його на новий);
- чи немає шлаку, металевих часток на завихрювачі (якщо є, то необхідно видалити їх);

- чи не пошкоджена поверхня завихрювача (якщо так, то необхідно замінити його на новий). Правильний вибір інструменту різання необхідний під час створення КП в SheetCam, а також при виставленні напруги різання на контролері ТНС.

У таблиці 3.1 наведено рекомендовані виготовлювачем номінальні значення параметрів джерела струму [10].

Табл. 3.1. Рекомендовані виготовлювачем номінальні значення параметрів джерела струму

Номінальний вихідний струм, А	10-45
Номінальна вихідна напруга постійного струму, В	145
Рекомендована швидкість потоку і тиск газу на вході для різних видів роботи	
Різання	188,8 л/хв при 5,9 бар
Стругання з максимальною продуктивністю	165,2 л/хв при 4,1 бар
Прецизійне стругання, маркування	188,8 л/хв при 3,8 бар

При обробці струганням низьковуглецевої сталі з високою продуктивністю швидкість знімання матеріалу сягатиме 3,4 кг/год, а з максимальною точністю – 0,2 кг/год.

Максимальна товщина пропалювання матеріалу як для ручного, так і для механізованого різачка – 12 мм. У таблиці 1.7 наведено рекомендовані максимальні значення швидкості різання низьковуглецевої сталі залежно від товщини матеріалу [10].

Табл. 3.2. Рекомендовані максимальні значення швидкості різання низьковуглецевої сталі

Товщина матеріалу	Швидкість різання
6 мм	2286 мм/хв
9 мм	1219 мм/хв
12 мм	72 мм/хв
16 мм	508 мм/хв
19 мм	330 мм/хв
25 мм	178 мм/хв

Рекомендовані режими обробки для: низьковуглецевої сталі наведено у таблиці 3.3, нержавіючої сталі – у таблиці 3.4, алюмінію – у таблиці 3.5 [10].

Табл. 3.3. Рекомендовані режими обробки низьковуглецевої сталі (струм 45 А)

Товщина матеріалу, мм	Відстань між різаком і виробом, мм	Стартова висота пропалу, мм	Час затримки пропалу, сек.	Параметри для високої якості		Параметри для високої продуктивності		Ширина розрізу, мм
				Швидкість різання, мм/хв	Напруга, В	Швидкість різання, мм/хв	Напруга, В	
2	1,5	3,8	0,2	5560	128	7910	125	1,4
3				3960	128	5590	128	
4			0,4	2800	128	3960	128	1,5
6				1430	130	2110	127	
8			0,6	1020	133	1385	130	1,7
10				780	136	920	134	1,8
12			1	540	140	690	138	1,9
16	Пуск на краю			310	146	400	141	2,1
20				170	152	240	147	2,3
25				110	157	145	154	3

Табл. 3.34. Рекомендовані режими обробки нержавіючої сталі (струм 45 А)

Товщина матеріалу, мм	Відстань між різаком і виробом, мм	Стартова висота пропалу, мм	Час затримки пропалу, сек.	Параметри для високої якості		Параметри для високої продуктивності		Ширина розрізу, мм
				Швидкість різання, мм/хв	Напруга, В	Швидкість різання, мм/хв	Напруга, В	
2	1,5	3,8	0,1	5620	126	7830	129	0,6
3			0,2	3285	129	4725	128	0,9
4			0,4	1995	130	2960	129	1,1
6			0,6	1145	131	1695	131	1,2
8				830	134	1100	134	1,4
10			0,8	605	137	870	137	1,6
12		4,6	1,2	380	141	540	139	1,8
16	Пуск на краю			240	145	320	142	2,4
20				160	149	205	146	3,1

Табл. 3.45. Рекомендовані режими обробки алюмінію (струм 45 А)

Товщина матеріалу, мм	Відстань між різаком і	Стартова висота пропалу, мм	Час затримки пропалу, сек.	Параметри для високої якості		Параметри для високої продуктивності		Ширина розрізу, мм
				Швидкість різання, мм/хв	Напруга, В	Швидкість різання	Напруга, В	
2	1,5	3,8	0,1	7890	121	9585	134	1,3
3			0,2	4850	130	7120	129	1,5
4			0,4	3670	133	5650	129	
6			0,5	2060	139	3095	132	1,6
8			0,6	1330	139	1830	136	1,7
10			0,7	860	142	1015	140	1,9
12		Пуск на краю	620	144	745	142	2	
16	360		152	340	148	2,5		

У таблиці 3.6 наведено рекомендовані робочі параметри стругання з максимальною чутливістю [10].

У таблиці 3.7 наведено рекомендовані розміри профілів та параметрів обробки при маркуванні та штампуванні [10].

Табл. 3.56. Робочі параметри стругання з максимальною чутливістю

Швидкість	254-1016 мм/хв
Відстань до різача	6 мм
Кут	40-50°
Вихідний струм	26-45 А
Витратні деталі	Витратні деталі для стругання з максимальною чутливістю
Газ	Повітря

Табл. 3.67. Рекомендовані розміри профілів та параметрів обробки при маркуванні та штампуванні низьковуглецевої сталі

Параметр	Тип газу	
	Повітря	Аргон
<i>Слабке маркування</i>		
Ширина	2,79 мм	1,22 мм
Глибина	Менше 0,02 мм	Менше 0,02 мм
Швидкість переміщення	2,5 м/хв	3,2 м/хв
<i>Сильне маркування (формування задирів)</i>		
Ширина	2,79 мм	1,22 мм
Глибина	0,09 мм	Менше 0,02 мм
Швидкість переміщення	2,5 м/хв	3,2 м/хв
<i>Штампування</i>		
Ширина	1,98 мм	0,99 мм
Глибина	0,25 мм	Менше 0,02 мм
Час витримки *	50 с	200

* Час витримки – період часу для обробки однієї точки на заготовці для формування заглиблення.

3.2 Принципи роботи з контролером ТНС

Контролер ТНС – це пристрій підтримки заданої напруги із плазмового різача шляхом регулювання висоти різача над листом металу, завдяки чому досягається рівний різ незалежно від викривлення або нерівного розміщення металу (рис. 3.1.) [10].

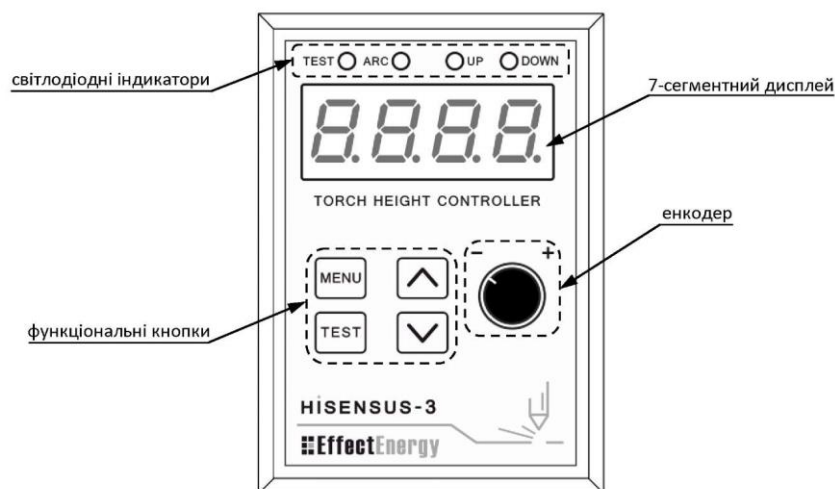


Рис. 3.1 – Основні елементи контролера ТНС.

Світлодіодні індикатори контролера ТНС:

- **TEST** – режим тестування;
- **ARC** – наявність робочої дуги;
- **UP** – сигнал на підняття різачка;
- **UP** – сигнал на опускання різачка.
- Функції кнопок і енкодера контролера ТНС:
- **MENU** – перехід в меню параметрів, вихід з нього;
- **TEST** – перехід в режим тестування, вихід з нього;
- **Вверх** – перехід в верх між параметрами меню;
- **Вниз** – перехід вниз між параметрами меню;
- **Енкодер** – при прокручуванні: збільшення/зменшення значення завдання або перехід між параметрами меню, при натисканні: перегляд/зміна значення завдання або зберігання значення параметра меню.

Параметри меню налаштувань контролера ТНС наведено в таблиці 3.8 [10].

Табл. 3.78. Параметри меню налаштувань контролера ТНС:

Параметр	Відображення	Опис
Затримка	dl.05	Час затримки на початку роботи контролера в момент пропалу, після появи робочої/основної плазмової дуги.
Мертва зона	dd.06	Зона нечутливості регулювання.

Приклад перегляду і зміни завдання напруги різання із 112В на 115В (рис. 3.1) [10].

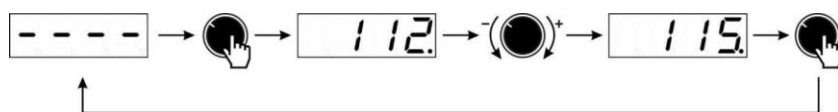


Рис. 3.1. Регулювання напруги різання

Приклад перегляду і зміни параметра «Мертва зона» із 6В на 4В (рис. 3.2).

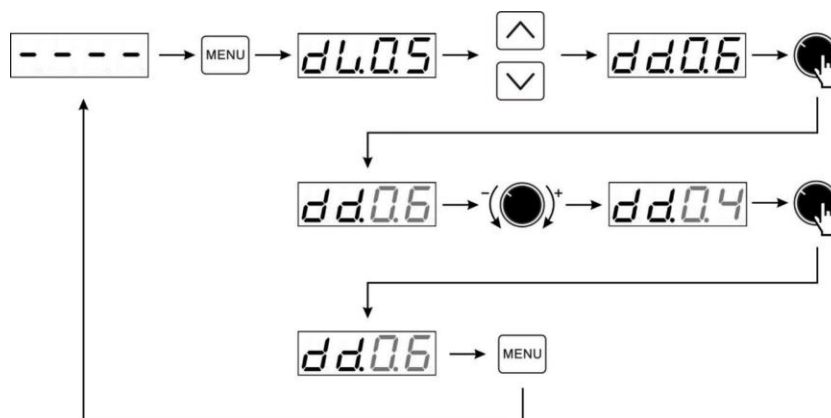


Рис. 3.2. Регулювання параметра «Мертва зона»

В залежності від металу, який необхідно різати, і вибраного інструменту в SheetCam при підготовці керуючої програми (КП) перед запуском різання необхідно перевірити (змінити) потрібне значення напруги на ТНС.

Якщо значення напруги не відоме (наприклад, немає відповідного інструменту в SheetCam), тоді потрібно виконати тестовий різ для визначення даного значення із «Ручним режимом ТНС».

Якщо плазмове різання виконується із включеним «Автоматичним режимом ТНС», тоді буде виконуватись наступне:

- при втраті плазмової дуги (навіть короточасній) верстат зупинить переміщення різача;
- при викривленні металу контролер ТНС буде видавати команди «менше»/«більше» і відповідно керувати висотою різача для підтримки її на заданому рівні.

3.3 Розроблення креслень та моделей для верстатів лазерного та плазмового різання з ЧПК

Існує велика кількість різних інструментів, що дозволяють створювати макети для лазерного або плазмового різання, при цьому до цих інструментів не пред'являється ніяких серйозних вимог, крім одного: редактор повинен працювати з векторною графікою.

Найбільш поширені такі векторні редактори: Adobe Illustrator, Corel Draw, Autocad, Inkscape тощо. У більшості випадків необхідно підготувати файл макета у форматі *.dxf. Основні вимоги до креслення:

- лінії (контури), які різатимуться, повинні бути розміщені на одному шарі креслення, всі додаткові лінії, розміри тощо мають бути видалені або перенесені на інший шар;
- не допускається перетинання ліній (рис. 3.);
- не допускається розімкнутий контур (виняток – якщо необхідно виконати різання розімкнутого контуру) (рис. 3.);
- також не допускається декілька ліній одна на одній (може виникнути при імпорті зі сторонніх 3D-редакторів).

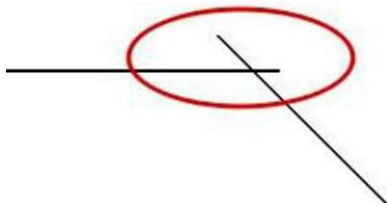


Рис. 3.4. Контур, що самоперетинається

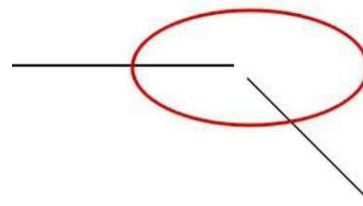


Рис. 3.5. Розімкнутий контур

Часто, коли потрібно вирізати кілька частин одночасно, великою є спокуса помістити їх поруч одна з одною, щоб сусідні однакові лінії перекривалися, для економії листа матеріалу. Це гарна ідея, але її можна дуже легко зіпсувати. Наприклад, заготовлено декілька квадратів для різання. Якщо накреслити два квадрати (по чотири сторони кожен), а потім притиснути їх один до одного, візуально буде одна лінія між ними. Проблема в тому, що хоча це виглядає як одна суцільна лінія, комп'ютер все одно бачить дві. Кінцевим результатом є те, що лінії будуть обрізані одна за одною, що може призвести до припалювання даного краю деталі. Також витратиться час на непотрібний різ. Спосіб виправити це – видалити одну з ліній, що накладається. Однак так не варто робити при плазмовому різанні, адже при такій обробці треба враховувати товщину різку.

Деякі поради, про які піде мова нижче, вимагають можливості гравірувати/різати тільки частину файлу або дизайну за один раз. Найпростіший спосіб зробити це – помістити різні частини дизайну на різні шари одного файлу. Більшість графічних програм дозволяють створювати шари, а потім вмикати та вимикати їх, що дає кілька ключових переваг:

- контроль черговості різів;
- кілька шарів в одному файлі;
- створення підказок і мішеней.

3.4 Розроблення кодів ЧПК для верстатів плазмового різання

Розглянемо роботу в програмі на прикладі ProNest від виробника Hypertherm. Це виробник джерел і верстатів плазмового і лазерного різання, який має власне програмне забезпечення. Програму можна можна купити, або отримати при покупці джерела. В останніх версіях програми для різання також можна обрати машину гідро-абразивної різки і газового різання.

Це програма професійного рівня, яка разом з розкроями може вести склад металу, зберігати залишки, рахувати витрату матеріалу, а при вказанні вартості за кілограм – відразу формувати ціни деталей. Також є можливість сформувати звіт по розкрою.

При відкриванні програми нас зустрічає головне вікно, в якому зверху ми бачимо доступні нам команди і робочу область. В правому нижньому куті можемо обрати машину – лазер або плазму чи гідроабразив. Налаштування дуже гнучкі: для кожної машини є окремі налаштування відстані між деталями, компенсації товщини різку, відстані від краю заготовки, швидкість різання, налаштування пробивки листа і бокових заходів. У лівому верхньому куті ми бачимо меню для налаштування списку деталей як увійдуть в розкрій і списку листів з форматами.

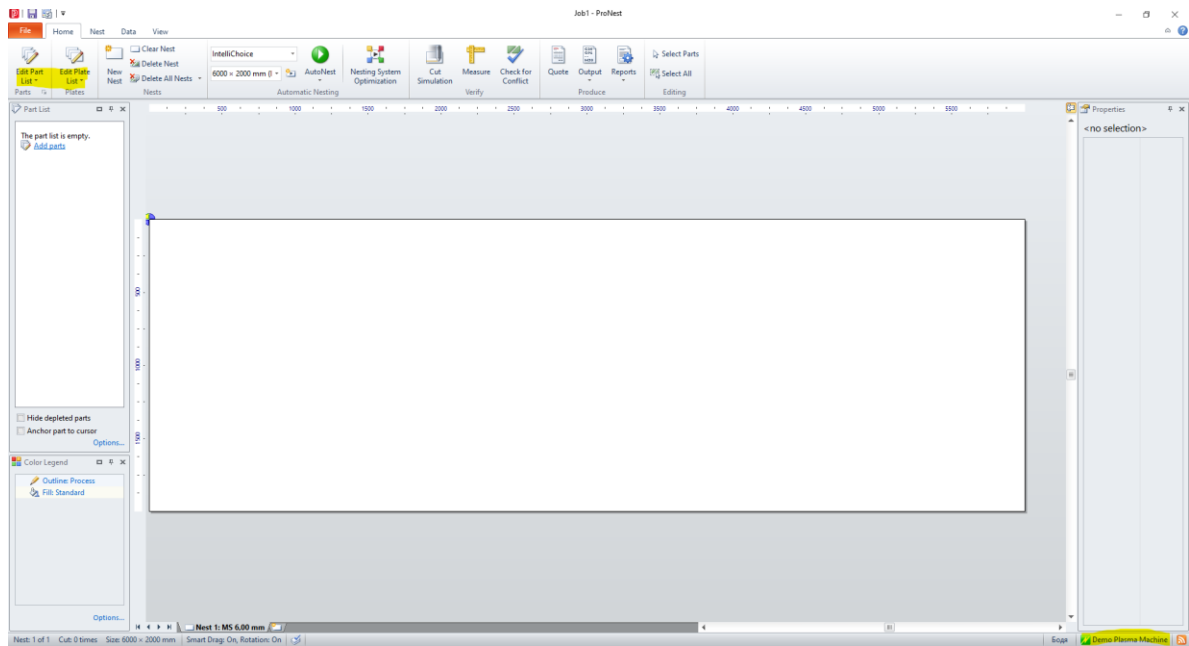


Рис. 3.6 – Головне вікно програми ProNest

У вкладці Edit Plate List можна додати потрібні нам листи, вибравши формат і товщину, також можна підтягнути листи з раніше сформованого складу металу, якщо такий є.

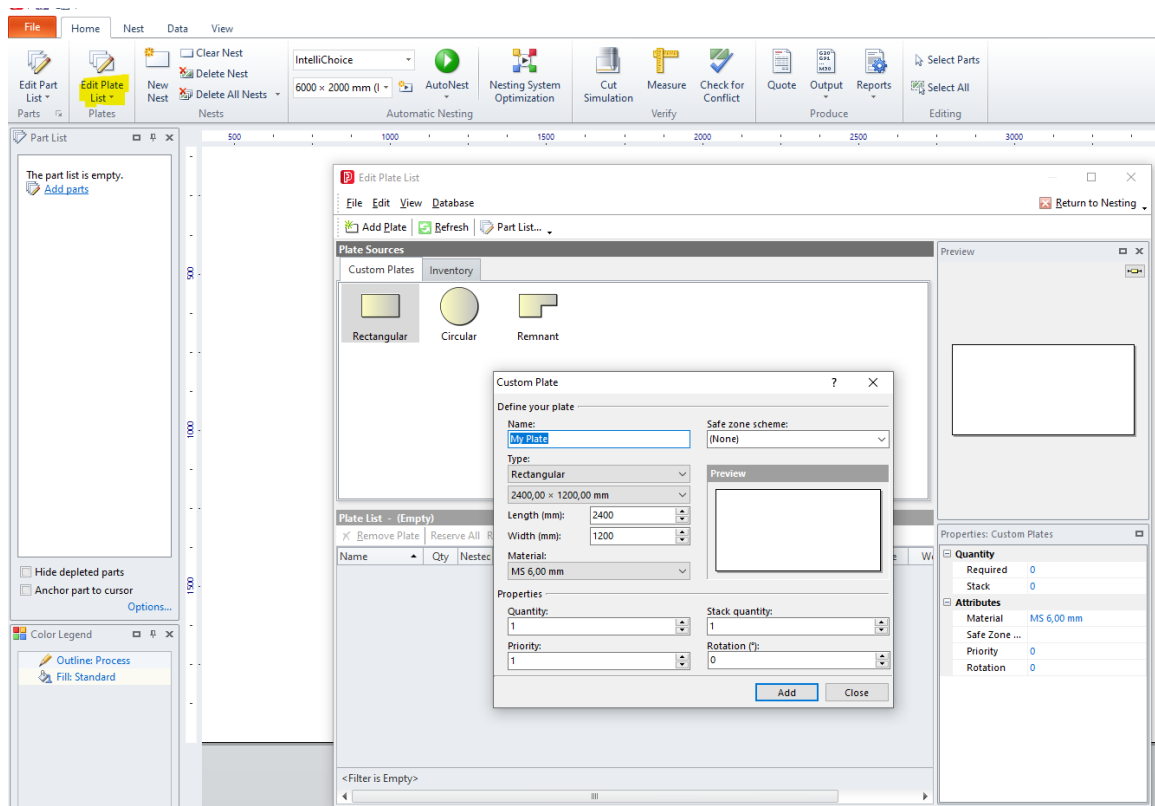


Рис. 3.7 – Меню додавання листа в розкрій

Лівіше, у вкладці Edit Part List, можемо додати або змінити деталі, які будуть входити в розкрій. В цьому вікні призначаємо товщину матеріалу, з якого потрібно їх виготовити, їхню кількість. Нанести входи, або відредагувати їх за потреби для конкретного випадку, чи обмежити обертання деталі на листі також можна в цьому меню. Програма дає змогу можемо працювати з самим контуром деталі – віддзеркалити контур, або провести редагування самого DXF-файлу прямо на місці, не використовуючи сторонні CAD-системи.

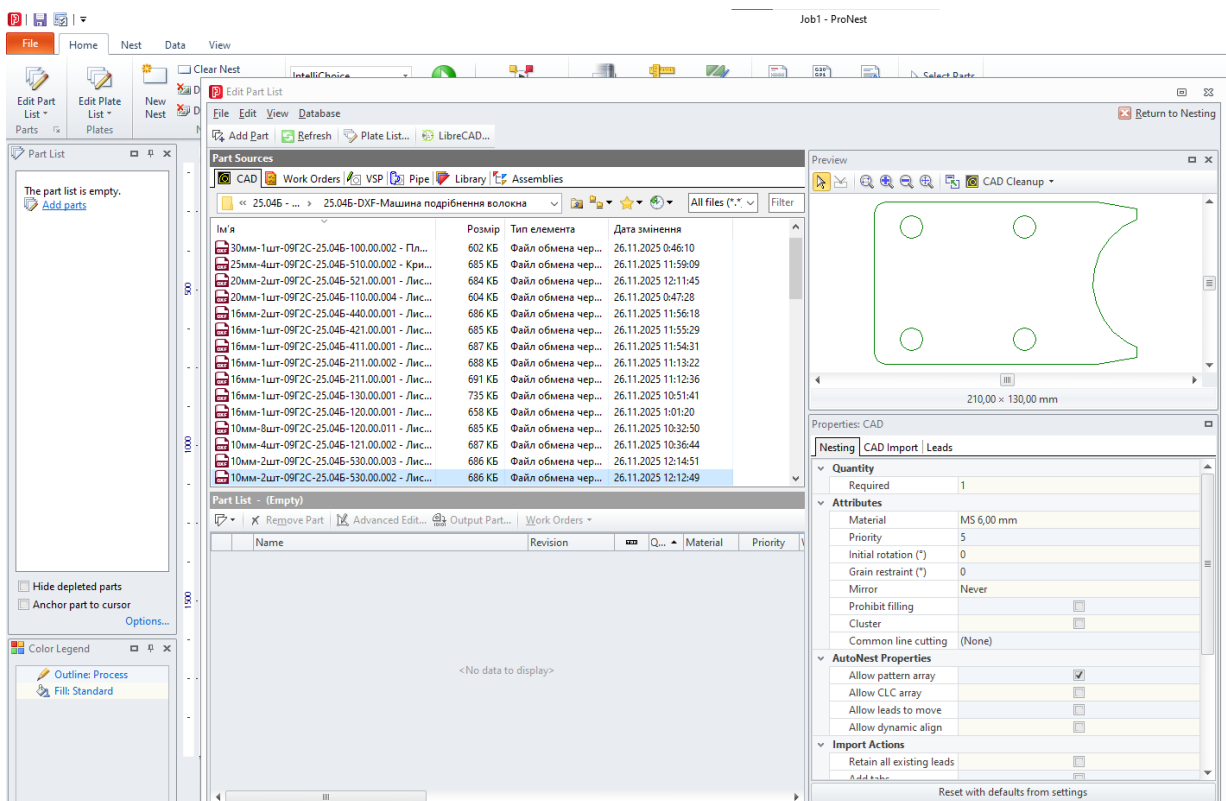


Рис. 3.8 – Меню додавання деталей в розкрій

Після додавання деталей повертаємося до головного вікна програми і запускаємо автоматичну розкладку. Тут можемо обрати різні стратегії розкладання деталей на листі і залишити найбільш вдалу. Після чого за допомогою команд Nest-Export to DXF можна зберегти DXF-файл для цілого розкрою, або за допомогою команди Output вивести на верстат для порізки.

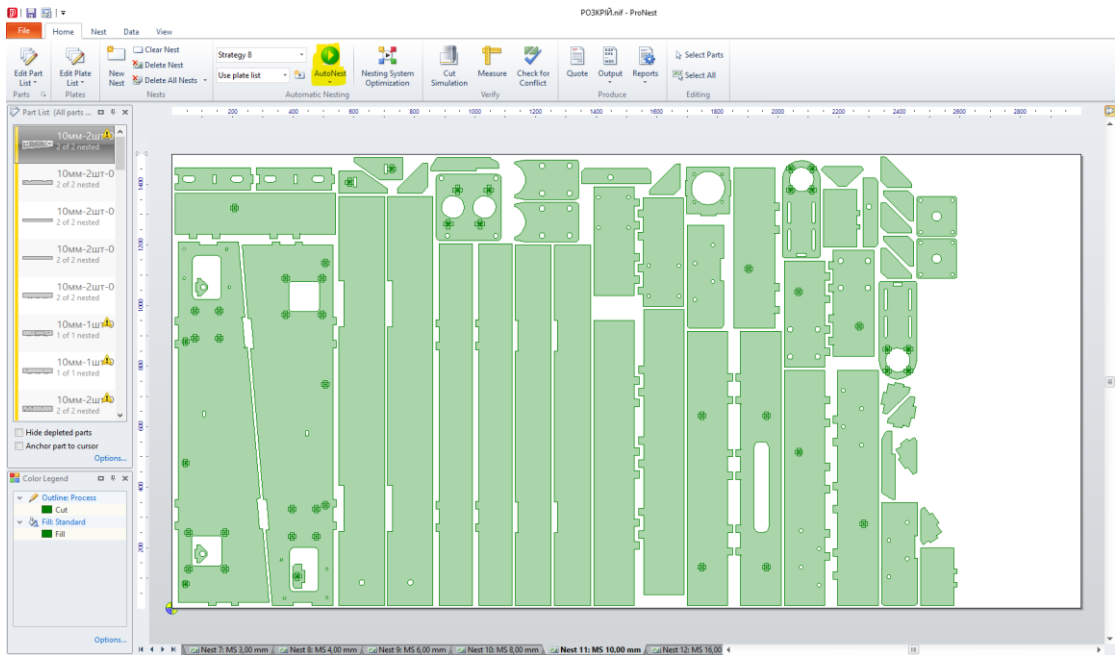


Рис. 3.9 – Розкрій з деталей на листі

Ще в програмі можна отримати настроюваний звіт по розкрою, в якому можна побачити відсоток використання листа, вагу, вартість деталей, та багато іншого. Це дуже зручно для оцінки вартості, презентацій замовнику і ведення складу листового матеріалу.

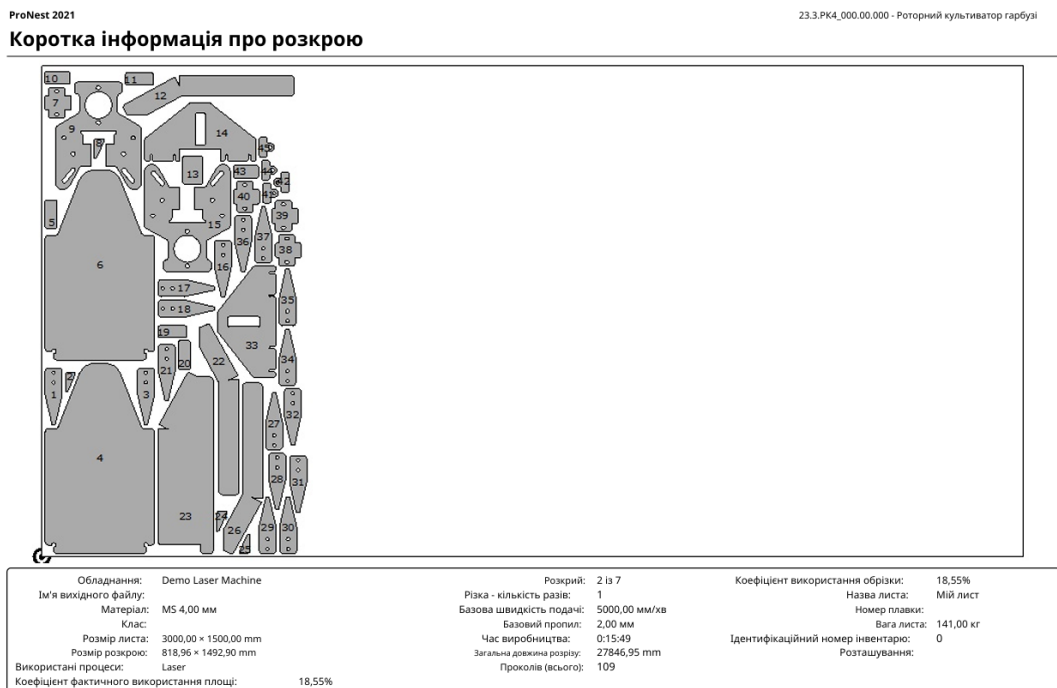


Рис. 3.10 – Фрагмент звіту по розкрою


Розглянемо SheetCAM для підготовки G-кодів, для верстатів плазмового розкрою з ЧПК. Програма володіє необхідним набором функцій для якісного та професійного програмування обробки на верстатах із ЧПК .

У програмі простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Якщо під час створення КП були зроблені помилки, це буде легко виправити, оскільки більшість помилок автоматично розпізнаються програмою, яка інформує користувача відповідними повідомленнями. У програмі SheetCam є всі функції, необхідні для проектування 2.5D-обробки деталей [8]:

- зчитування даних з DXF, HPGL або EMF форматів;
- введення даних параметрів верстата та точки абсолютного нуля верстата;
- введення даних параметрів деталі та точки нуля деталі;
- графічна візуалізація меж столу верстата та використовуваної заготовки;
- дроблення кресленника на кілька шарів, якщо це не було попередньо зроблено в CAD-системі проектування;
- створення та редагування таблиць інструменту;
- визначення положення зміни інструменту та введення команд управління системами зміни інструменту;
- корекції (зміщення) фрезерного інструменту в обидві сторони (зліва та справа) по ходу оброблюваного контуру;
- вибірка жолобів (кишень) із автоматичним визначенням островів;
- свердління у режимі пакетних автоматичних циклів;
- нарізання різьб звичайним та автоматичним інструментом;
- вибір та використання різного інструменту;
- копіювання, дублювання, обертання та переміщення деталей, а також компактне розміщення деталей на заготовці з метою економії матеріалу та часу холостих ходів. Зручна функція розміщення масиву однакових деталей на заготовці;
- вирівнювання кресленника на деталі по прив'язаних точках;

- ручна вставка команд та блоків команд G-кодів на будь-яких етапах роботи з програмою;
- наочна візуалізація маршрутів різку інструменту і прискорених ходів у горизонтальній проекції XY (вид зверху) або 3D-візуалізація маршрутів обробки під будь-яким вільно заданим кутом;
- вибір постпроцесора для генерації КП. Крім інших, є постпроцесори для форматів Isel, HPGL, Mach2/3, TurboCNC и WinCNC. Якщо не вдається знайти відповідний для конкретної системи, в комплекті є постпроцесор, що генерує КП з мінімальним набором G-кодів для даної обробки. Також можливе створення та установка власного постпроцесора;
- можливість варіювання при створенні КП з різних блоків обробки;
- застосування DNC – прямого цифрового управління;
- збереження проекту з креслеником, таблицею інструменту та вибраними процесами обробки для подальшого редагування.

Розглянемо два основні робочі вікна, що використовуються для створення операцій плазмової різки:

1. Якщо у списку інструментів немає потрібного, тоді необхідно створити новий, натиснувши кнопку  , та внести потрібні зміни в новий інструмент (рис. Ошибка! Источник ссылки не найден..11):

- **Name (Назва інструменту)** – для зручності у назві можна написати модель джерела плазми, товщину металу, струм і напругу різання (потрібно відключити «Automatically generate name»);
- **Type** – тип інструменту (Плазма);
- **Kerf width (Ширина різку)** – призначається згідно з документацією на апарат плазмового різання;
- **СКОРОСТЬ (Швидкість різання)** – згідно з документацією на апарат плазмового різання або ж здійснити тестовий різ і підібрати оптимальне значення;

- **Pierce delay (Затримка на пропал)** – затримка від моменту включення підпалу плазмової дуги до початку руху; значення згідно з документацією на апарат плазмового різання;
- **Pierce height (Висота, на якій здійснюється пропал)** – згідно з документацією на апарат плазмового різання (зазвичай не менше 3–4 мм);
- **Plunge rate (Швидкість руху при заході/виході)** – така ж, як у «СКОРОСТЬ»;
- **Cut height (Висота, на якій відбуватиметься різання)** – зазвичай не нижче 1.5 мм (при різанні висоту контролює ТНС – контролер висоти плазми);
- **Pause at end of cut (Пауза в кінці різання)** – не змінюється, 0 секунд;
- **Leadin type (Спосіб пропалу)** – не змінюється, Normal.

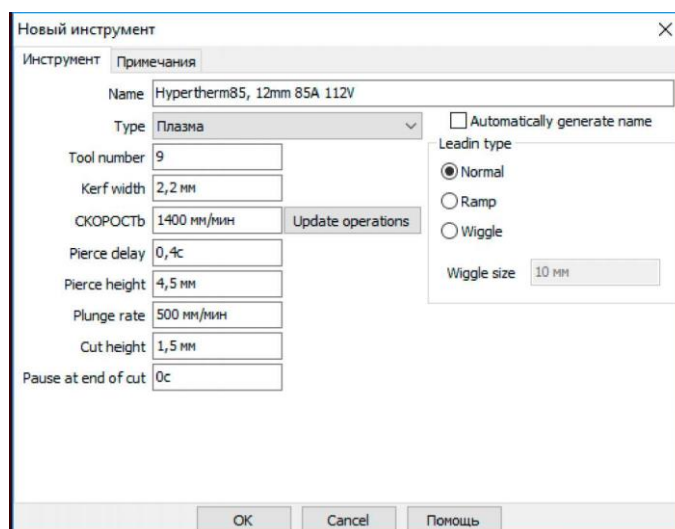



Рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден..11.** Вікно створення нового інструменту

2. Створення операції різання  та внесення потрібних налаштувань (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден..12**):

- **Contour method (Спосіб різання):** «Врезка внутри» – різання тільки отворів, «Врезка снаружи» – різання замкнутих контурів всередині та

- зовні (звичайні деталі), «*No Offset*» – різання по лінії креслення (наприклад, відрізання);
- **Слой (Шар)** – вибирають із випадаючого списку потрібний шар із креслення;
 - **Инструмент (Инструмент)** – вибирають із випадаючого списку потрібний інструмент різання;
 - **Скорость (Швидкість)** – при потребі змінюють значення швидкості;
 - **Lead in (Спосіб заходу після пропалу):** «*None*» – без заходу (пропал відбудеться на лінії креслення), «*Arc*» – захід по дузі, «*Tangent*» – захід по лінії під кутом, «*Perpendicular*» – захід перпендикулярно (оптимальний варіант у більшості випадків);
 - **Lead out (Спосіб виходу в кінці різання):** «*None*» – без виходу (оптимальний варіант у більшості випадків), «*Arc*» – вихід по дузі, «*Tangent*» – вихід по лінії під кутом, «*Perpendicular*» – вихід перпендикулярно;
 - **Length (Величина заходу/виходу (якщо не вибрано варіант «*None*»))** – її значення приблизно дорівнює товщині металу, але не менше 3 мм.

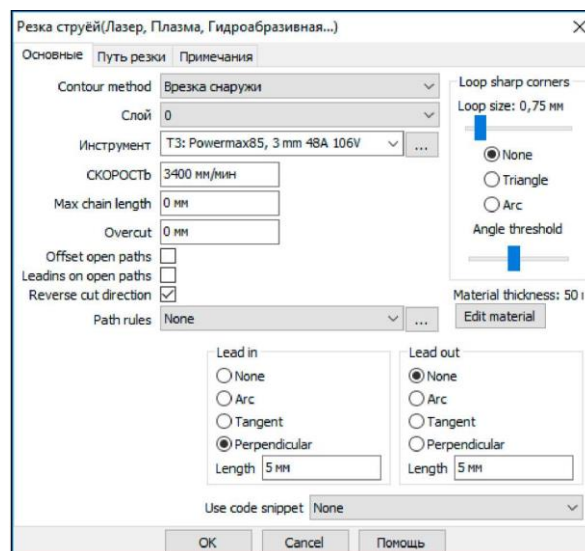



Рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден..12.** Вікно створення нової операції р
ізання

Після створення операції різання перевіряють розташування і порядок стартових точок (пропалів). Якщо потрібно виконати редагування їх положення чи послідовності, натискають кнопку **Править начальные точки** . У даному режимі можна переміщувати стартову точку, а також змінювати її порядковий номер. Для цього із контекстного меню необхідно вибрати команду **Quick cut sequence**. Виставити у потрібному порядку стартові точки та у кінці контекстного меню вибрати **End sequence**.

3.5 Робота з інтерфейсом Mach3 при роботі на верстатах плазмового різання з ЧПК

Mach3 – програмне забезпечення для керуванням фрезерними, гравірувальними, токарними та іншими верстатами з ЧПК, яке має такі основні можливості [9]:

- можливість повнофункціонально керувати із стандартного персонального комп'ютера 6-осьовим верстатом з ЧПК;
- імпорт DXF, BMP, JPG, і HPGL файлів за допомогою вбудованої програми LazyCam;
- графічна візуалізація G-кодів;
- генерування G-кодів в програмі LazyCam або Wizard;
- перенастроюваний інтерфейс під користувача та використовуваний верстат;
- створення призначених для користувача M-кодів і макросів на основі VB-скриптів;
- керування частотою обертання шпинделя;
- відеоспостереження за ходом обробки;
- сумісність сенсорного дисплея;
- редакційний інтерфейс.

Mach3 успішно застосовується для керування наступними типами обладнання: токарні; фрезерні і лазерні верстати; плазморізи та гравірувальне обладнання, а також може керувати такими процесами: зубонарізання,

оцифрування геометрії, свердління отворів, вибірка пазів та шліців, гравірування тексту, обробка стандартних контурів, поверхнева обробка (вирівнювання, плоске пониження) тощо.

Wizard – це вбудовані мініпрограми, які розширюють можливості Mach3 та дозволяють швидко виконувати типові операції проектування обробки без використання спеціалізованих CAD/CAM додатків. Wizard, які включені в дистрибутив Mach3, а також їх може створити самостійно користувач.

Інтерфейс програми керування плазмовим різанням Mach3 можна розділити на такі основні робочі панелі (рис. 3.13) [9]:

1. Відображення відкритої КП (G-коду), а також траєкторії руху різачка (рис. 3.23, поз. 1).

2. Відображення рядків КП (G-коду) (рис. 3.43, поз. 2).

3. Елементи керування КП (рис. 3.33, поз. 3):

- **Відкрити G-код** – відкриває файл КП (розширення .tap);
- **Закрити G-код** – закриває відкритий файл КП;
- **Редагувати G-код** – відкриває текстовий редактор для змін КП;
- **Початок G-коду** – робить перший рядок КП поточним;
- **Останні G-коди** – показує список останніх файлів КП;
- **Лінія коду** – відображає поточний номер рядка КП;
- **ПУСК** – запускає виконання КП;
- **ПАУЗА** – призупиняє виконання КП (факел не виключається);
- **СТОП** – зупиняє виконання КП (факел виключається).

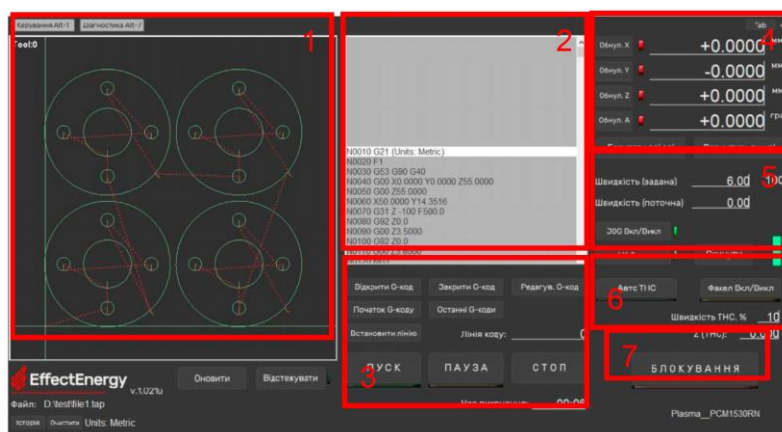


Рис. 3.43. Інтерфейс програми керування плазмовим різанням – Mach3

4. Координати верстата (рис. 3.43, поз. 4) – відображаються відносні (поточні) координати всіх осей верстата: поперечна вісь – X; поздовжня вісь – Y; вісь руху різачка (вертикальна) – Z; поворотна вісь – A.

- **Обнул. X/Y/Z/A** – обнулення координати осі X/Y/Z/A;
- **Базувати всі осі** – почергове переміщення всіх осей в базове положення;
- **Вернутись в нулі** – переміщення різачка в нульові координати.
- Відображення і зміна переміщення (рис. 3.43, поз. 5):
- **Швидкість (задана)** – швидкість, задана в управляючій програмі;
- **Швидкість (поточна)** – реальна швидкість переміщення;
- **Скинути** – скинути реальну швидкість переміщення до заданої;
- **JOG Вкл/Викл** – включення/виключення переміщень з допомогою клавіатури, а саме: *Стрілка вліво* – рух X–; *Стрілка вправо* – рух X+; *Стрілка вниз* – рух Y–; *Стрілка ввверх* – рух Y+; *Page Down* – рух Z–; *Page Up* – рух Z+;
- **M1 Стоп** – включення зупинки по коду M1.

6. Керування плазмовим різачком (рис. 3.43, поз. 6):

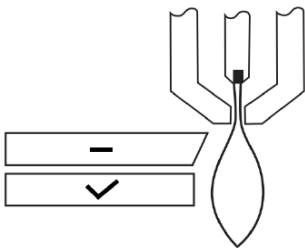
- **Авто ТНС** – переключення режиму керування висотою плазмового різачка на ручний або автоматичний (у автоматичному режимі керування здійснюється контролером ТНС, а у ручному режимі керування відсутнє);
- **Факел ВКЛ/ВИКЛ** – включення/виключення запалу плазмової дуги на різачку;
- **Швидкість ТНС, %** – швидкість керування рухом різачка в автоматичному режимі ТНС (у відсотках від максимальної швидкості руху осі Z).

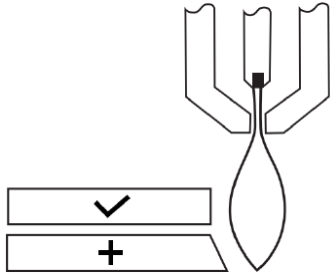
7. Блокування системи керування (мигання червоним означає, що керування заблоковане) (рис. 3.43, поз. 7).

3.6 Проблемні ситуації в плазмовій різці і способи їх вирішення

У таблиці 3.9 описано можливі проблемні ситуації при плазмовому різанні та способи їх вирішення.

Табл. 3.89. Проблемні ситуації в плазмовій різці і способи їх вирішення

ПРОБЛЕМА	РІШЕННЯ
Під час пропалу різак починає опускатися вниз, торкається металу, різання не відбувається.	Збільшити значення dL «Затримка» в меню контролера ТНС.
Під час різання металу малої товщини (наприклад, 1 мм) внаслідок термічного впливу плазми лист деформується, а різак не встигає підніматись/опускатись (режим Авто ТНС). Під час різання металу нерівної поверхні (наприклад, профільованого листа) різак не встигає підніматись/ опускатись (режим Авто ТНС).	Зменшити значення dd «Мертва зона» в меню контролера ТНС. У програмі Mach3 збільшити значення швидкості ТНС.
Під час різання різак (захисний екран на різаку) переміщається дуже низько (менше 1.5 мм) над металом (що в свою чергу призводить до сильного забруднення захисного екрана шлаком).	Збільшувати значення напруги різання на контролері ТНС: поступово на 3~5В, поки не буде досягнуто висоти різання (зазвичай не нижче 1.5 мм).
Деталь не прорізається повністю.	У програмі Mach3 зменшувати швидкість, поки не буде досягнуто оптимального різку. Підвищувати струм на апараті плазмового різання поступово на 2~3А, поки не буде досягнуто оптимального різку.
«Від'ємний» кут зрізу деталі: 	Збільшувати значення напруги різання на контролері ТНС: поступово на 3~5В, поки не буде досягнуто оптимальної висоти різання (приблизно 2 мм), а отже, і максимально прямого зрізу деталі.

ПРОБЛЕМА	РІШЕННЯ
<p>«Додатний» кут зрізу деталі:</p> 	<p>Зменшити значення напруги різання на контролері ТНС: поступово на 3~5В, поки не буде досягнуто оптимальної висоти різання (приблизно 2 мм), а отже, і максимально прямого зрізу деталі.</p>
<p>Надмірна кількість окалини (шлаку) на верхній поверхні зрізу деталі.</p>	<p>Збільшувати значення напруги різання на контролері ТНС: поступово на 3~5В, поки не буде утворюватись мінімальна кількість даної окалини, при цьому зберігаючи якість різі.</p>
<p>Надмірна кількість окалини у вигляді важких пухирчастих відкладень (шлаку) в нижній частині зрізу деталі. Окалину легко видалити.</p>	<p>У програмі Mach3 збільшувати швидкість на 5%, поки не буде утворюватись мінімальна кількість даної окалини, при цьому зберігаючи якість різі.</p>
<p>Надмірна кількість окалини у вигляді тонкої і вузької смужки металу(шлаку), розташованої дуже близько до зрізу деталі. Окалину важко видалити.</p>	<p>У програмі Mach3 зменшувати швидкість на 5%, поки не буде досягнуте максимальне зменшення даної окалини, при цьому зберігаючи якість різі.</p> <p>Зменшити значення напруги різання на контролері ТНС: поступово на 3~5В, поки не буде утворюватись мінімальна кількість даної окалини, при цьому зберігаючи якість різі.</p>

ВИСНОВКИ

Виконана магістерська робота присвячена розробленню конструкції та системи керування верстатом для плазмового різання металів з числовим програмним керуванням. У ході дослідження було проведено комплексний аналіз сучасних технологій плазмового різання, конструкцій верстатів та супутнього програмного забезпечення, що дозволило сформулювати чітке розуміння функціональних вимог до обладнання, необхідного для забезпечення високої точності та ефективності обробки. Досліджено процес плазмового різання, його фізичні та технологічні аспекти, включно з характеристиками джерела плазми, параметрами газового середовища, швидкістю переміщення головки та станом витратних деталей. З'ясовано, що якість повітря, правильний вибір інструментів у програмі SheetCam та автоматичне регулювання висоти різачка істотно впливають на рівень точності, якість зрізу та тривалість служби обладнання.

У рамках розділу проєктування конструкції верстата було виконано вибір оптимальної компоновочної схеми та визначено основні технічні характеристики обладнання. Було обґрунтовано систему плазмового різання, яка включає джерело струму, привідні механізми, систему автоматичного регулювання висоти різачка та контролер Mach3, що забезпечує інтеграцію з програмним забезпеченням і керування всіма механічними вузлами верстата. Проєктування несучої рами, порталної системи, опор та приводів лінійних переміщень виконано з урахуванням динамічних навантажень та вимог до жорсткості конструкції, що гарантує плавність ходу каретки та точність позиціонування.

Розроблено 3D-модель верстата та комплект конструкторської документації, що включає креслення основних вузлів, складальні схеми та специфікації деталей, що дозволяє здійснити виготовлення і монтаж верстата в реальних умовах. Було здійснено підбір електронних компонентів системи керування: контролер Mach3, плати Breakout Board, драйвери крокових двигунів TB6600, крокові двигуни NEMA23, джерела живлення та датчики кінцевих положень. Обрана електронна конфігурація забезпечує високу точність

переміщень, стабільність сигналів, безпечну роботу верстата та інтеграцію системи автоматичного регулювання висоти головки (ТНС).

Розроблено принципову електричну схему системи керування, що відображає логічні зв'язки між усіма компонентами, передбачає захист електроніки від перенапруг і коротких замикань, а також забезпечує інтеграцію всіх датчиків та виконавчих механізмів. Проведено аналіз програмного забезпечення для розроблення кодів ЧПК, обрано і протестовано коди для верстатів плазмового різання, проаналізовано роботу з інтерфейсом Mach3, визначено потенційні проблемні ситуації під час експлуатації та шляхи їх усунення. Було проведено порівняння програм для розкрою листового матеріалу та визначено найбільш ефективні підходи для автоматизації технологічного процесу.

Комплекс проведених робіт дозволяє зробити висновок, що розроблена конструкція верстата та система керування забезпечують ефективну, безпечну та високоточну експлуатацію обладнання. Результати дослідження можуть бути використані для практичного впровадження у промислове виробництво, підвищення продуктивності плазмового різання, оптимізації витрат матеріалів та підвищення енергоефективності. Робота також створює основу для подальших досліджень та вдосконалення систем керування, інтеграції сучасних сенсорних технологій та підвищення автоматизації процесу, що дозволить досягти високої якості продукції при мінімізації людського фактору та технічних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdelrahman, A. A., Hassan, M. A., & Ahmed, S. A. (2016). A PC-based controller design for CNC plasma cutting machine. *International Journal of Engineering Research*. <https://www.researchgate.net/publication/346920432>
2. Découpage plasma. (2024). In *Wikipedia*. https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9coupage_plasma
3. Fictiv. (2023). Plasma cutting: Everything you need to know. <https://www.fictiv.com/articles/plasma-cutting-everything-you-need-to-know>
4. GS Proto. (2023). Understanding CNC plasma cutting: The basics you need to know. <https://www.gs-proto.com/blog/plasma-cutting/>
5. Kumar, S., & Singh, R. (2023). Parameters optimization in plasma arc cutting of AISI 1020 mild steel. *International Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization*, 7(1), 1–10. https://www.ijsmdo.org/articles/smdo/full_html/2023/01/smdo230020/smdo230020.html
6. LaserCut 6.1. Laser Engraving & Cutting Control System. Manual, V1.1, 2014, 60 p. https://cncu.co.za/TruCUT-CO2-Laser-Machine/Component%20Manuals/MPC6585%20Software%20LaserCut61%20Manual%20V1.1.pdf?utm_source=chatgpt.com
7. Lermen, R. T., dos Passos, R. M., & Pilotto, T. L. (2023). *Development of a CNC plasma cutting machine: Design and construction for didactic purposes*. *Revista de Arquitetura IMED*. <https://www.researchgate.net/publication/378509134>
8. Liu, H., & Chen, Z. (2021). The optimization of cut surface for computer numerical control plasma cutting. *Compendium of Mechanical Engineering Papers*. <https://compendiumpaperasia.com>
9. Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration. Version 3. ArtSoft USA, 2008, 106 p. https://manuals.plus/m/ef4ced58511fec89391f529db2c929712a2dd4c3dfe9f8dc2095df89a7d4ba2f?utm_source=chatgpt.com

10. Operator Manual. PowerMax45 XP. Plasma Arc Cutting System. Operator Manual from Hypertherm Inc., 2016, 174 p. https://manualzilla.com/doc/5823008/user-manual?utm_source=chatgpt.com
11. Patel, T. C., & Vaghasia, J. S. (2023). Experimental investigation and parametric analysis of plasma arc machining: A comprehensive review. *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 5(6), 145–156. <https://romanpub.com/resources/ijaetv5-s6-oct-dec-2023-20.pdf>
12. Plasma cutting. (2024). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_cutting
13. Pratama, A., & Nugroho, S. (2025). Design and structural performance evaluation of a CNC plasma cutting machine frame. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(1), 45–53. <https://www.jtm.itp.ac.id/index.php/jtm/article/view/846>
14. Prom.ua. (2020). *Комплекс повітряно-плазмового різання: Інструкція з експлуатації* https://storage.ua.prom.st/2426535_wdr_tank_210_user_manual_v2.pdf
15. Putra, I. K. D. D., Putra, I. N. G. A., & Sudarsana, I. K. (2024). Design and construction of a 3-axis CNC plasma arc cutting machine with Mach3 controller. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 23(1). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/mite/article/view/118305>
16. Rahman, M. A., & Islam, M. S. (2017). Development of a low-cost controller for the 3-axis CNC plasma cutting machine. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://www.researchgate.net>
17. Rao, P. S., & Reddy, P. R. (2022). Effects of plasma arc cutting process parameters on the cutting speed optimization. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 38, 1–9. <https://www.sciencedirect.com>
18. Saiful, I., & Rusiyanto, R. (2021). Rancang bangun CNC plasma cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(2), 89–96. <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/586>
19. SheetCam TNG. Jet Cutting Setup and Operation Manual v6.1.38, 2017, 138 p. https://www.sheetcam.com/Download/SheetCam%20TNG%20Plasma%20Manual_A4.pdf

20. Singh, J., Patel, T. C., & Vaghasia, J. S. (2021). Experimental investigation of plasma cutting two separate thin steel sheets simultaneously and parameters optimisation using Taguchi approach. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.01.031>
21. Терма. (2021). Плазмова різка металу: Технологія та особливості використання. <https://terma.in.ua/ua/a391855-plazmennaya-rezka-metalla.html>
22. Ukritarm. (2022). Плазмове різання металу: Принцип дії та переваги. https://ukritarm.com.ua/single_news/23
23. Zain, K. (2022). Electrical design and construction of 3 axis CNC plasma metal cutting machine. *Jurnal Teknik Mesin dan Mekatronika*. <https://e-journal.president.ac.id/index.php/JMEM/article/view/3509>
24. Zhang, Y., Li, X., & Wang, H. (2015). Study on CNC plasma-cutting worktable with improved lifetime. *Applied Mechanics and Materials*, 731, 123–128. <https://www.researchgate.net/publication/282459568>
25. Бережний, С. П., & Капустян, О. Є. (2018). *Плазмове різання металів: Методичні вказівки до практичного заняття* [PDF]. Запоріжжя: Запорізький національний технічний університет. <https://eir.zp.edu.ua/bitstreams/5962dd46-81a1-493a-9677-a76b8aed5730/download>

ДОДАТКИ

Додаток А.

Код керуючої програми ЧПК розробленої у SheetCAM

N0010 G21 (Units: Metric)
N0020 F1
N0030 G53 G90 G40
N0040 G00 X0.0000 Y0.0000 Z20.0000
N0050 G00 Z20.0000
N0060 X921.0153 Y-2.6700
N0070 G31 Z -100 F500.0
N0080 G92 Z0.0
N0090 G00 Z2.9000
N0100 G92 Z0.0
N0110 G00 Z3.8000
N0120 M03
N0130 G04 P0.2
N0140 G01 X921.0153 Y-2.6700 Z1.5000 F1750.0
N0150 G03 X919.0953 Y-0.7500 I-1.9200 J0.0000 F2000.0
N0160 G01 X519.0961
N0170 G02 X508.3461 Y10.0000 I0.0000 J10.7500
N0180 G01 Y189.9996
N0190 G02 X519.0961 Y200.7496 I10.7500 J0.0000
N0200 G01 X919.0953
N0210 G02 X929.8452 Y189.9996 I0.0000 J-10.7500
N0220 G01 Y10.0000
N0230 G02 X919.0953 Y-0.7500 I-10.7500 J0.0000
N0240 G03 X917.1753 Y-2.6700 I0.0000 J-1.9200
N0250 M05
N0260 G00 Z20.0000
N0270 X457.4194 Y9.2951
N0280 G31 Z -100 F500.0
N0290 G92 Z0.0
N0300 G00 Z2.9000
N0310 G92 Z0.0
N0320 G00 Z3.8000
N0330 M03
N0340 G04 P0.2
N0350 G01 X457.4194 Y9.2951 Z1.5000 F1750.0
N0360 G03 X454.7797 Y8.6587 I-1.0016 J-1.6380 F2000.0
N0370 G02 X445.6084 Y3.5168 I-9.1713 J5.6080
N0380 G01 X18.7064
N0390 G02 X9.1375 Y9.3680 I0.0000 J10.7500
N0400 G01 X0.4311 Y26.3743
N0410 G02 X5.1012 Y40.8420 I9.5689 J4.8988

N0420 G01 X343.3507 Y214.0086
N0430 G02 X357.8184 Y209.3385 I4.8988 J-9.5689
N0440 G01 X455.1773 Y19.1655
N0450 G02 X454.7797 Y8.6587 I-9.5689 J-4.8988
N0460 G03 X455.4161 Y6.0191 I1.6380 J-1.0016
N0470 M05
N0480 G00 Z20.0000
N0490 X1141.8488 Y32.8375
N0500 G31 Z -100 F500.0
N0510 G92 Z0.0
N0520 G00 Z2.9000
N0530 G92 Z0.0
N0540 G00 Z3.8000
N0550 M03
N0560 G04 P0.2
N0570 G01 X1141.8488 Y32.8375 Z1.5000 F1750.0
N0580 G03 Y35.5528 I-1.3576 J1.3576 F2000.0
N0590 G02 X1138.7002 Y43.1542 I7.6014 J7.6014
N0600 G01 Y243.1538
N0610 G02 X1149.4502 Y253.9038 I10.7500 J0.0000
N0620 G01 X1329.4498
N0630 G02 X1340.1998 Y243.1538 I0.0000 J-10.7500
N0640 G01 Y43.1542
N0650 G02 X1329.4498 Y32.4042 I-10.7500 J0.0000
N0660 G01 X1149.4502
N0670 G02 X1141.8488 Y35.5528 I-0.0000 J10.7500
N0680 G03 X1139.1335 I-1.3576 J-1.3576
N0690 M05
N0700 G00 Z20.0000
N0710 X1032.3527 Y205.8238
N0720 G31 Z -100 F500.0
N0730 G92 Z0.0
N0740 G00 Z2.9000
N0750 G92 Z0.0
N0760 G00 Z3.8000
N0770 M03
N0780 G04 P0.2
N0790 G01 X1032.3527 Y205.8238 Z1.5000 F1750.0
N0800 G03 X1034.2727 Y203.9038 I1.9200 J0.0000 F2000.0
N0810 I0.0000 J29.2499
N0820 X1036.1927 Y205.8238 I0.0000 J1.9200
N0830 M05
N0840 G00 Z20.0000
N0850 X931.6029 Y41.2342
N0860 G31 Z -100 F500.0

N0870 G92 Z0.0
N0880 G00 Z2.9000
N0890 G92 Z0.0
N0900 G00 Z3.8000
N0910 M03
N0920 G04 P0.2
N0930 G01 X931.6029 Y41.2342 Z1.5000 F1750.0
N0940 G03 X933.5229 Y43.1542 I0.0000 J1.9200 F2000.0
N0950 G01 Y423.1534
N0960 G02 X944.2729 Y433.9034 I10.7500 J0.0000
N0970 G01 X1124.2725
N0980 G02 X1135.0225 Y423.1534 I0.0000 J-10.7500
N0990 G01 Y43.1542
N1000 G02 X1124.2725 Y32.4042 I-10.7500 J0.0000
N1010 G01 X944.2729
N1020 G02 X933.5229 Y43.1542 I0.0000 J10.7500
N1030 G03 X931.6029 Y45.0742 I-1.9200 J0.0000
N1040 M05
...
...
...
N5770 G00 Z20.0000
N5780 X1334.4269 Y1238.3682
N5790 G31 Z -100 F500.0
N5800 G92 Z0.0
N5810 G00 Z2.9000
N5820 G92 Z0.0
N5830 G00 Z3.8000
N5840 M03
N5850 G04 P0.2
N5860 G01 X1334.4269 Y1238.3682 Z1.5000 F1750.0
N5870 G03 Y1241.0835 I-1.3576 J1.3576 F2000.0
N5880 G02 X1331.2783 Y1248.6849 I7.6014 J7.6014
N5890 G01 Y1478.6845
N5900 G02 X1342.0283 Y1489.4344 I10.7500 J-0.0000
N5910 G01 X1422.0281
N5920 M05 M30

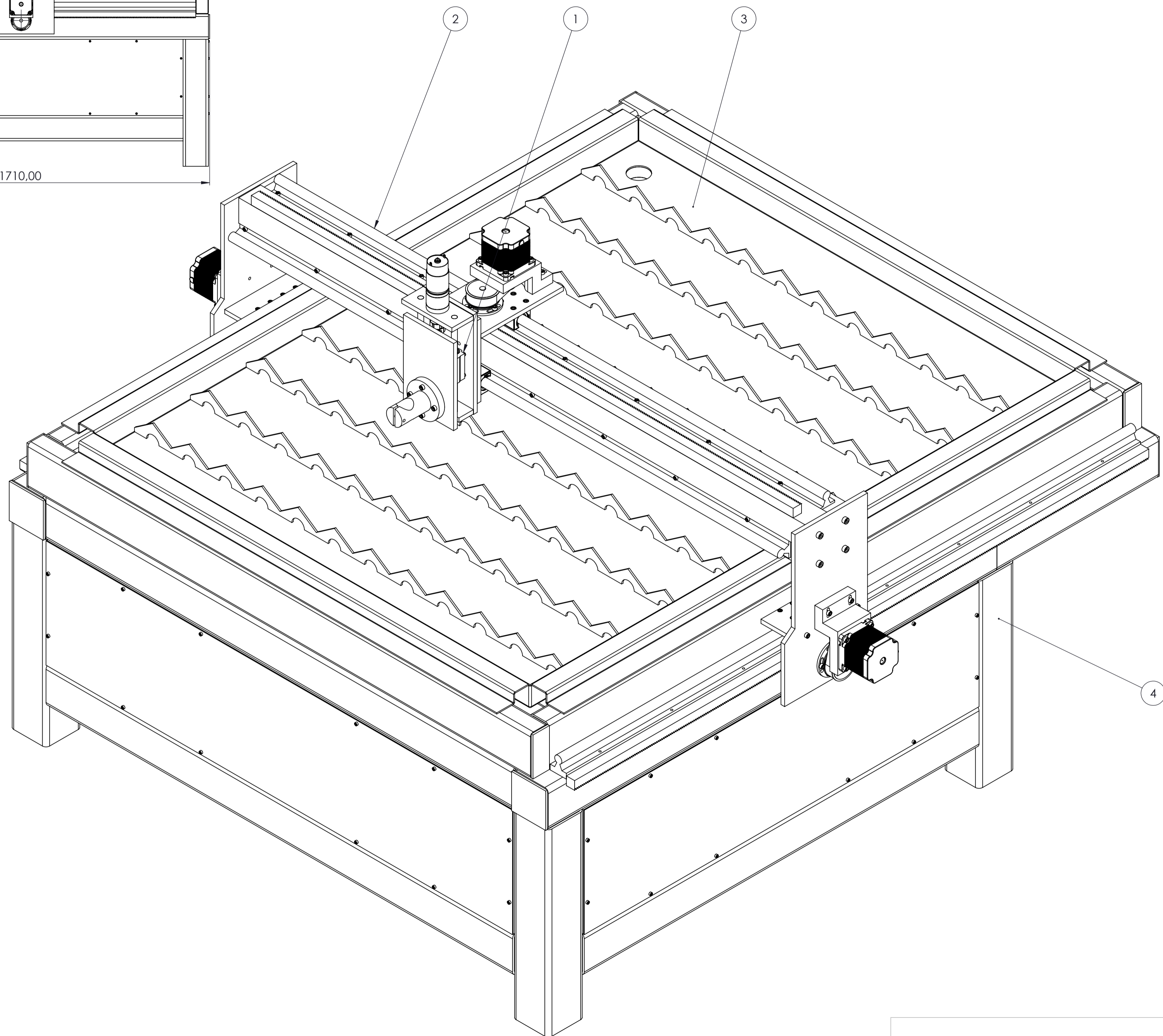
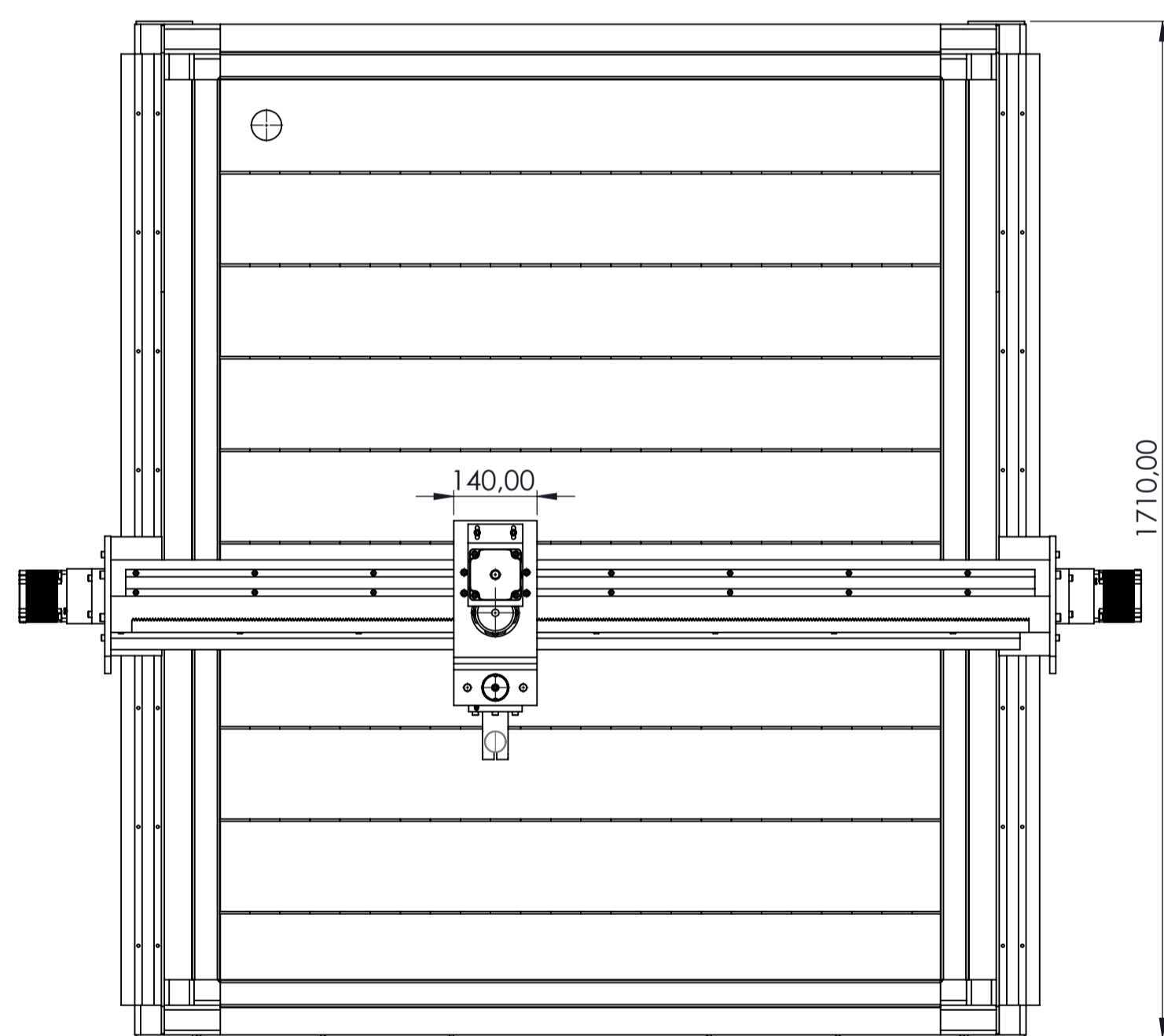
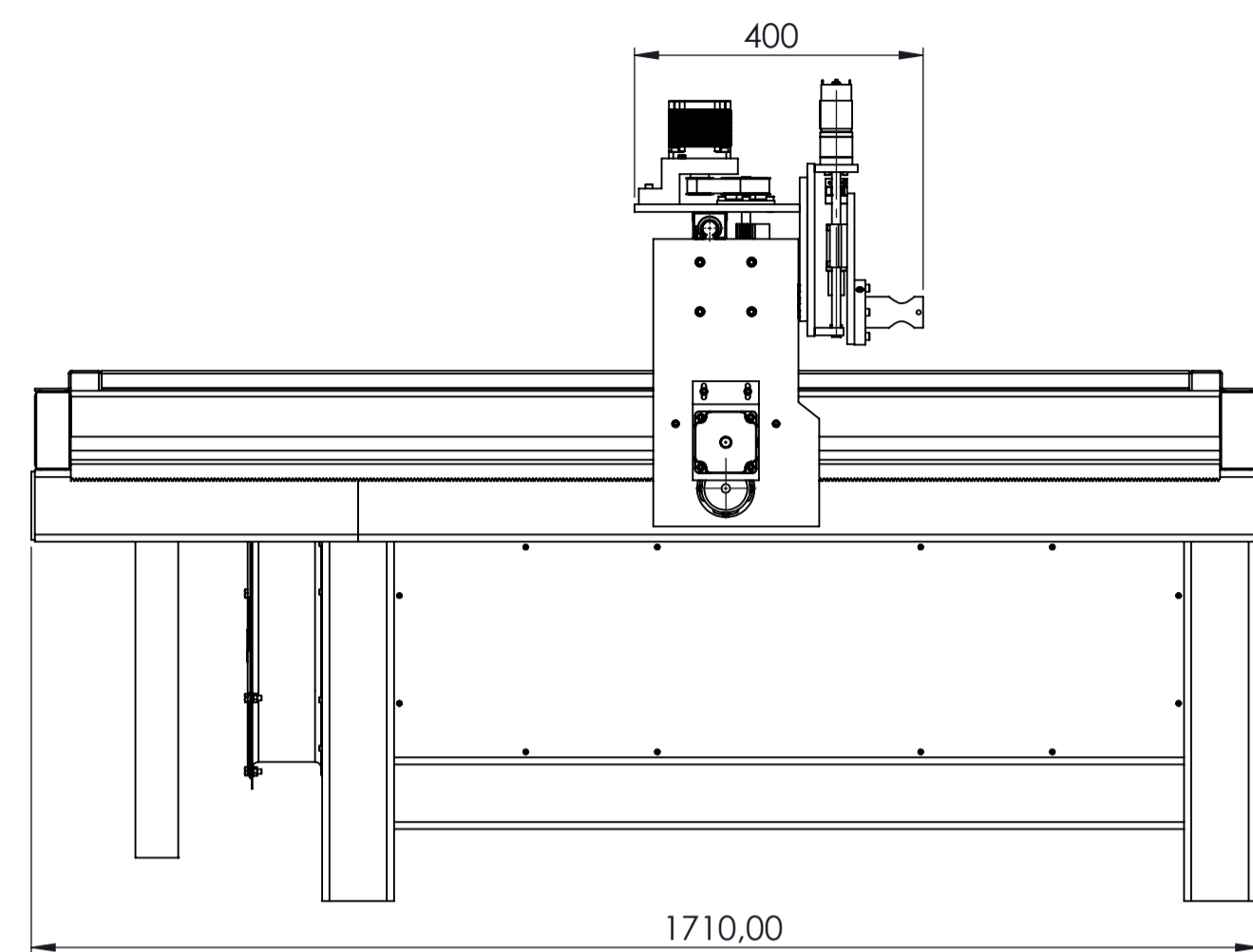
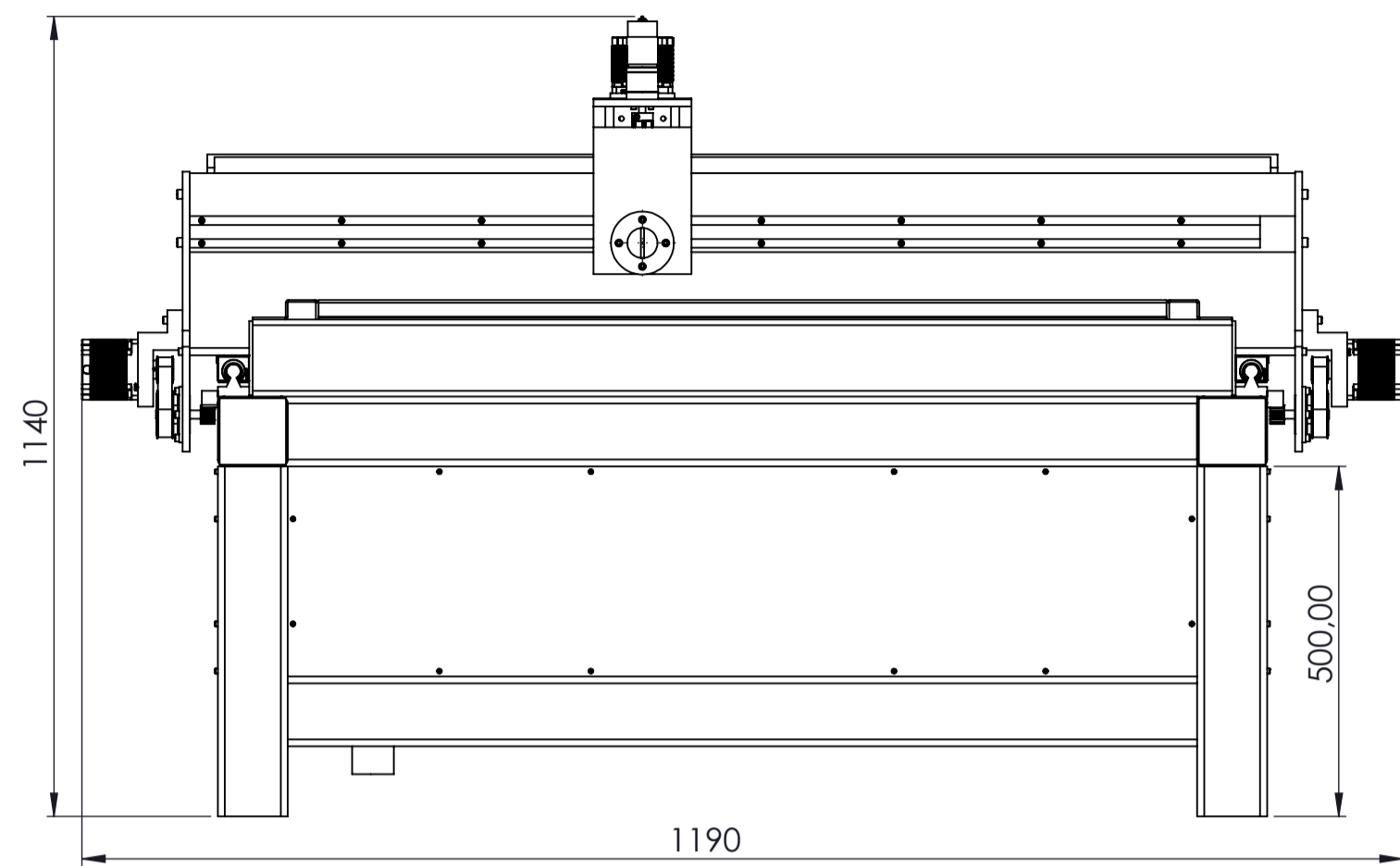
Додаток Б.

Код керуючої програми ЧПК розробленої у ProNest

N0010 G21 (Units: Metric)
N0020 F1
N0030 G53 G90 G40
N0040 G00 X0.0000 Y0.0000 Z20.0000
N0050 G00 Z20.0000
N0060 X599.0394 Y-0.3167
N0070 G31 Z -100 F500.0
N0080 G92 Z0.0
N0090 G00 Z2.9000
N0100 G92 Z0.0
N0110 G00 Z3.8000
N0120 M03
N0130 G04 P0.2
N0140 G01 X599.0394 Y-0.3167 Z1.5000 F1750.0
N0150 G03 Y2.3986 I-1.3577 J1.3576 F2000.0
N0160 G02 X595.8908 Y9.9999 I7.6013 J7.6014
N0170 G01 X595.8898 Y209.9995
N0180 G02 X606.6397 Y220.7496 I10.7500 J0.0001
N0190 G01 X786.6394 Y220.7504
N0200 G02 X797.3894 Y210.0005 I0.0001 J-10.7500
N0210 G01 X797.3904 Y10.0009
N0220 G02 X786.6405 Y-0.7491 I-10.7500 J-0.0001
N0230 G01 X606.6408 Y-0.7500
N0240 G02 X599.0394 Y2.3986 I-0.0001 J10.7500
N0250 G03 X596.3241 Y2.3985 I-1.3576 J-1.3577
N0260 M05
N0270 G00 Z20.0000
N0280 X241.9227 Y0.6416
N0290 G31 Z -100 F500.0
N0300 G92 Z0.0
N0310 G00 Z2.9000
N0320 G92 Z0.0
N0330 G00 Z3.8000
N0340 M03
N0350 G04 P0.2
N0360 G01 X241.9227 Y0.6416 Z1.5000 F1750.0
N0370 G03 X240.0027 Y2.5616 I-1.9200 J0.0000 F2000.0
N0380 G01 X10.0032
N0390 G02 X-0.7468 Y13.3116 I0.0000 J10.7500
N0400 G01 Y93.3115
N0410 G02 X10.0032 Y104.0614 I10.7500 J0.0000

N0420 G01 X240.0027
N0430 G02 X250.7527 Y93.3115 I0.0000 J-10.7500
N0440 G01 Y13.3116
N0450 G02 X240.0027 Y2.5616 I-10.7500 J0.0000
N0460 G03 X238.0827 Y0.6416 I0.0000 J-1.9200
N0470 M05
N0480 G00 Z20.0000
N0490 X1093.5986 Y1.2862
N0500 G31 Z -100 F500.0
N0510 G92 Z0.0
N0520 G00 Z2.9000
N0530 G92 Z0.0
N0540 G00 Z3.8000
N0550 M03
N0560 G04 P0.2
N0570 G01 X1093.5986 Y1.2862 Z1.5000 F1750.0
N0580 G03 X1091.6786 Y3.2062 I-1.9200 J0.0000 F2000.0
N0590 G01 X811.6792 Y3.2092
N0600 G02 X800.9293 Y13.9593 I0.0001 J10.7500
N0610 G01 X800.9312 Y193.9589
N0620 G02 X811.6813 Y204.7088 I10.7500 J-0.0001
N0630 G01 X1091.6808 Y204.7058
N0640 G02 X1102.4306 Y193.9557 I-0.0001 J-10.7500
N0650 G01 X1102.4287 Y13.9561
N0660 G02 X1091.6786 Y3.2062 I-10.7500 J0.0001
N0670 G03 X1089.7586 Y1.2862 I-0.0000 J-1.9200
N0680 M05
N0690 G00 Z20.0000
N0700 X347.3268 Y16.3486
N0710 G31 Z -100 F500.0
N0720 G92 Z0.0
N0730 G00 Z2.9000
N0740 G92 Z0.0
N0750 G00 Z3.8000
N0760 M03
N0770 G04 P0.2
N0780 G01 X347.3268 Y16.3486 Z1.5000 F1750.0
N0790 G03 X348.0955 Y18.9528 I-0.9178 J1.6864 F2000.0
N0800 G02 X348.2280 Y29.4664 I9.4423 J5.1385
N0810 G01 X561.6791 Y399.1744
N0820 G02 X571.5308 Y404.5357 I9.3098 J-5.3750
N0830 G01 X590.6119 Y403.5725
N0840 G02 X600.8063 Y392.2942 I-0.5420 J-10.7363
N0850 G01 X581.6482 Y12.7782
N0860 G02 X570.3699 Y2.5839 I-10.7363 J0.5420

N0870 G01 X356.9958 Y13.3551
N0880 G02 X348.0955 Y18.9528 I0.5420 J10.7363
N0890 G03 X345.4913 Y19.7215 I-1.6864 J-0.9178
...
...
...
N5660 G00 Z20.0000
N5670 X406.6340 Y1110.1901
N5680 G31 Z -100 F500.0
N5690 G92 Z0.0
N5700 G00 Z2.9000
N5710 G92 Z0.0
N5720 G00 Z3.8000
N5730 M03
N5740 G04 P0.2
N5750 G01 X406.6340 Y1110.1901 Z1.5000 F1750.0
N5760 G03 X408.5540 Y1108.2701 I1.9200 J0.0000 F2000.0
N5770 I0.0000 J29.2499
N5780 X410.4740 Y1110.1901 I0.0000 J1.9200
N5790 M05
N5800 G00 Z20.0000
N5810 X376.5694 Y1335.5196
N5820 G31 Z -100 F500.0
N5830 G92 Z0.0
N5840 G00 Z2.9000
N5850 G92 Z0.0
N5860 G00 Z3.8000
N5870 M03
N5880 G04 P0.2
N5890 G01 X376.5694 Y1335.5196 Z1.5000 F1750.0
N5900 M05 M30



№	Назва деталі	Кількість
1	Каретка	1
2	Портал	1
3	Стіл	1
4	Несуча рама	1

МР.МПКМ-21.00.00.001 СК				Літера	Маса	Масштаб
Верстат плазмового різання з ЧПК						1:10
Сталь 40Х ГОСТ 4543-88				Аркуш	Аркушів 1	ІФНТУНГ ПМКМ-24-1
Значч. Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Формат А1		
Розроб	Проквіт					
Перев.	Гнилиця І.О.					
Т. контр.	Гнилиця І.О.					
Н. контр.	Борущак Л.О.					
Затв.	Гнилиця І.О.					
Шифр	Панчук В.Г.					

Перш застосувати

Листок №

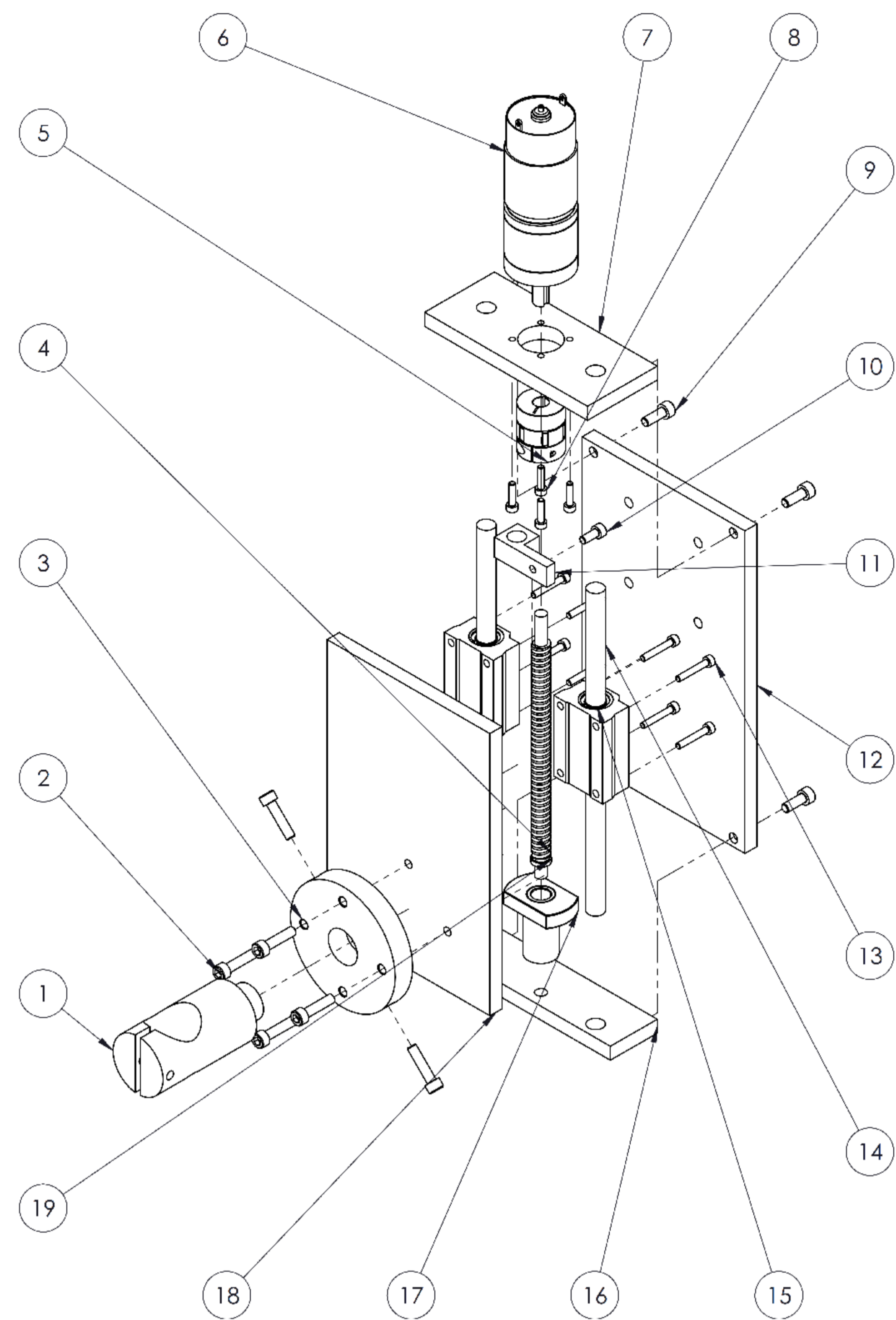
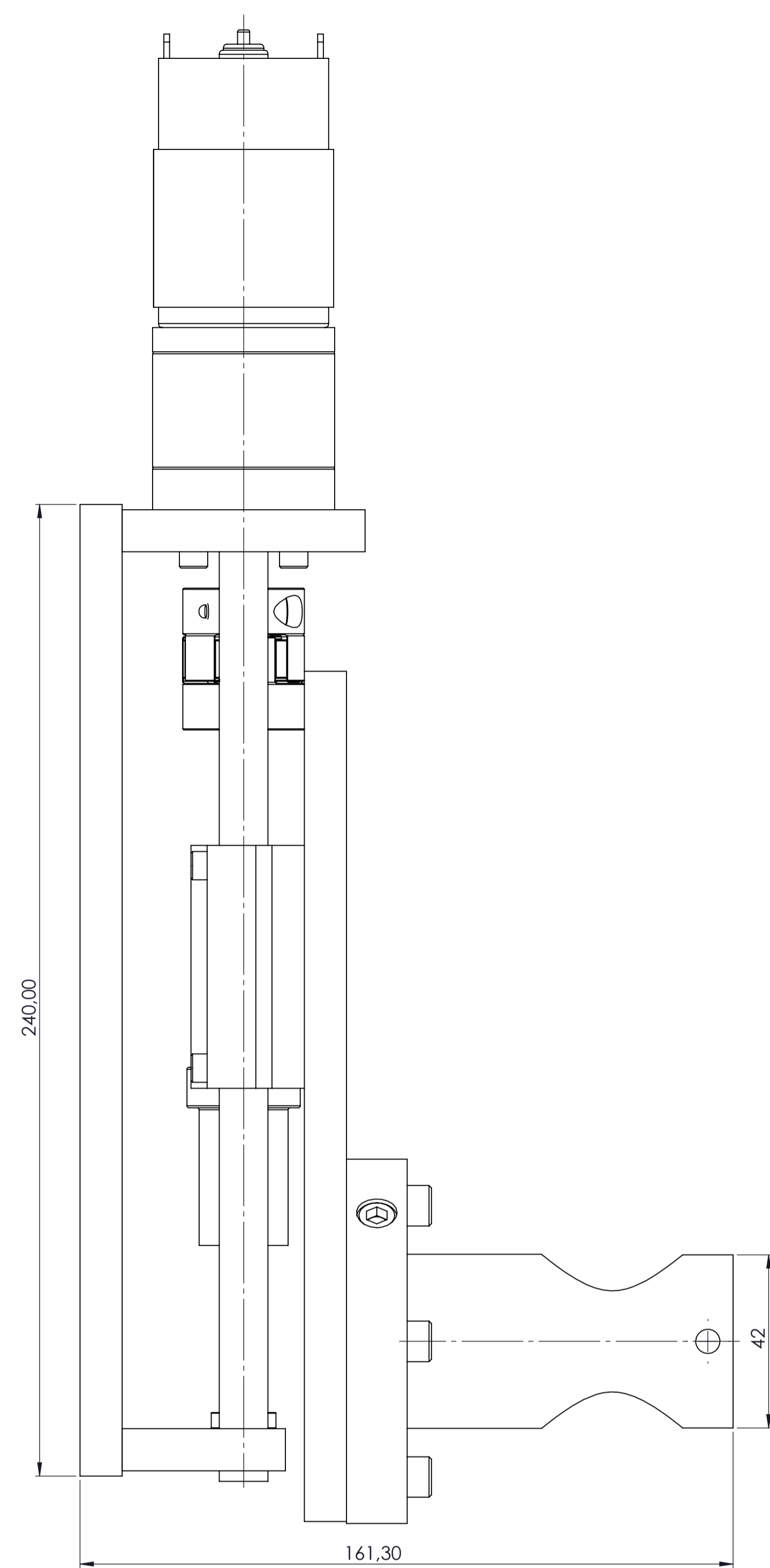
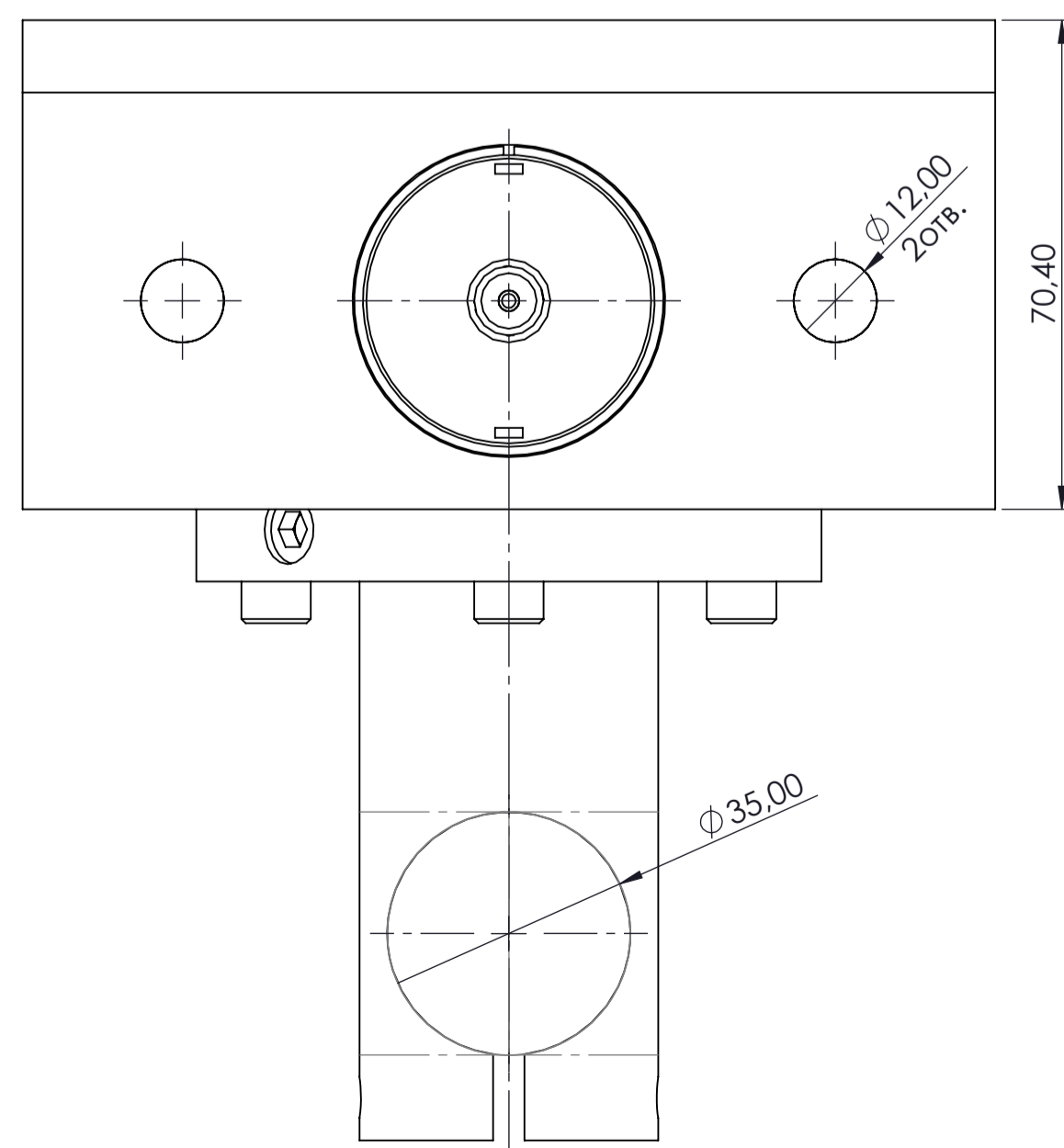
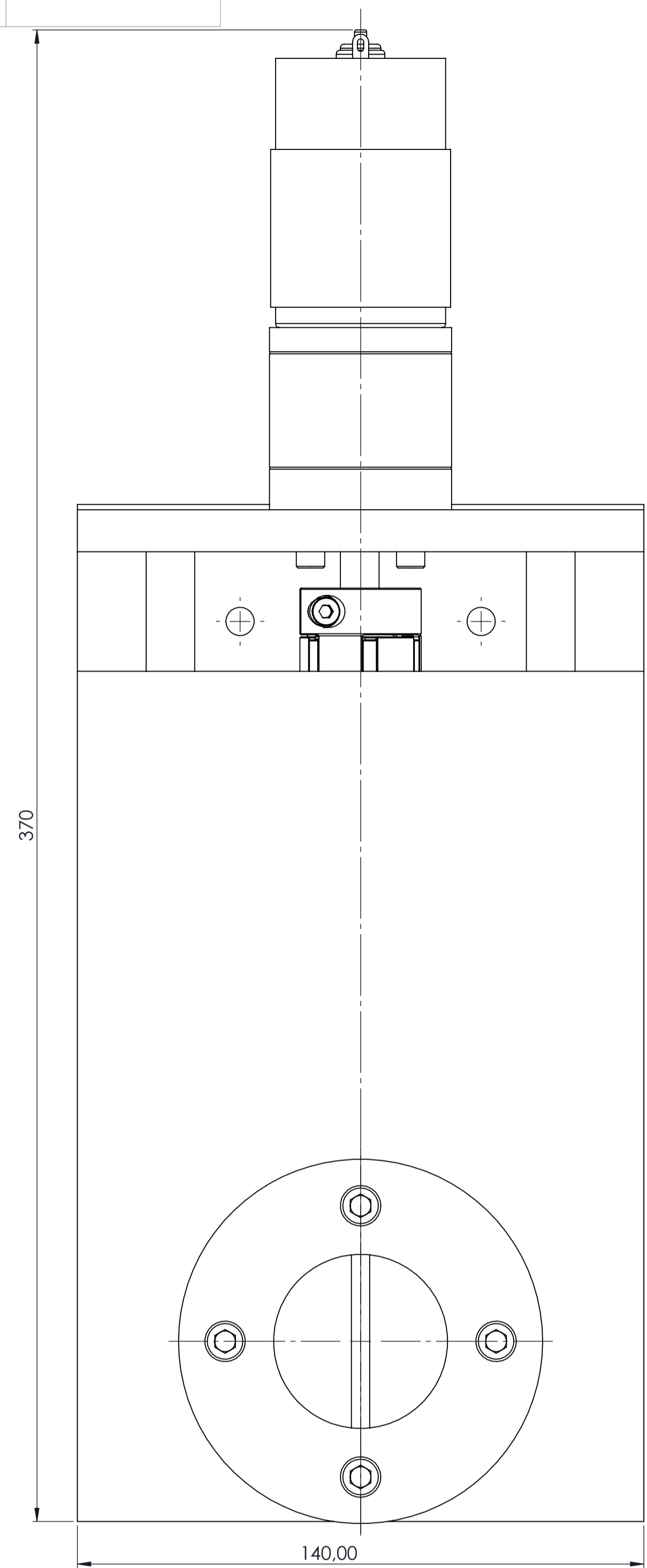
Літера і бітва

№ д.р. об'єк.

Знаєть № д.р.

Літера і бітва

№ д.р. розроб.



№	Назва деталі	Кількість
1	Тримач	1
2	Торцева шайба	1
3	Шайба опорна	1
4	Муфта	1
5	Двигун	1
6	Плита	1
7	Кронштейн	1
8	Ходовий гвинт р4, D= 240mm, ϕ 12mm	2
9	Напрямна	2
10	Лінійний підшипник	1
11	Вал SFU1605-3	1
12	Ходова гайка	1

Знач.	Архив	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Прокотів			
Перев.	Гнилиця І.Д.			
Т. контр.	Борисюк Л.О.			
Н. контр.	Гнилиця І.Д.			
Затв.	Панчук В.Г.			
Шифр				

МР.МПКМ-21.00.00.002 СК		
Каретка		
Літера	Маса	Масштаб
		1:2
Архив	Архив 1	
	ІФНТУНГ	
	ПМЖМ-24-1	
	Формат А1	

Перш. застосує.

Добіток. №

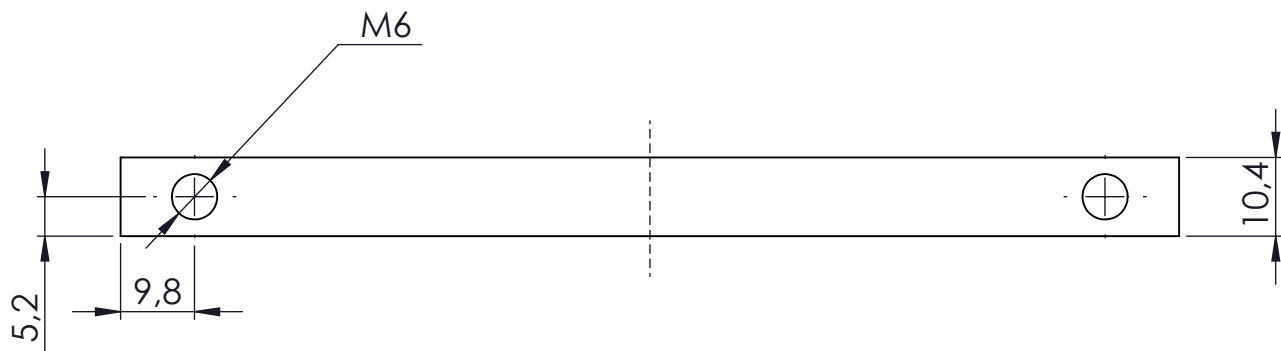
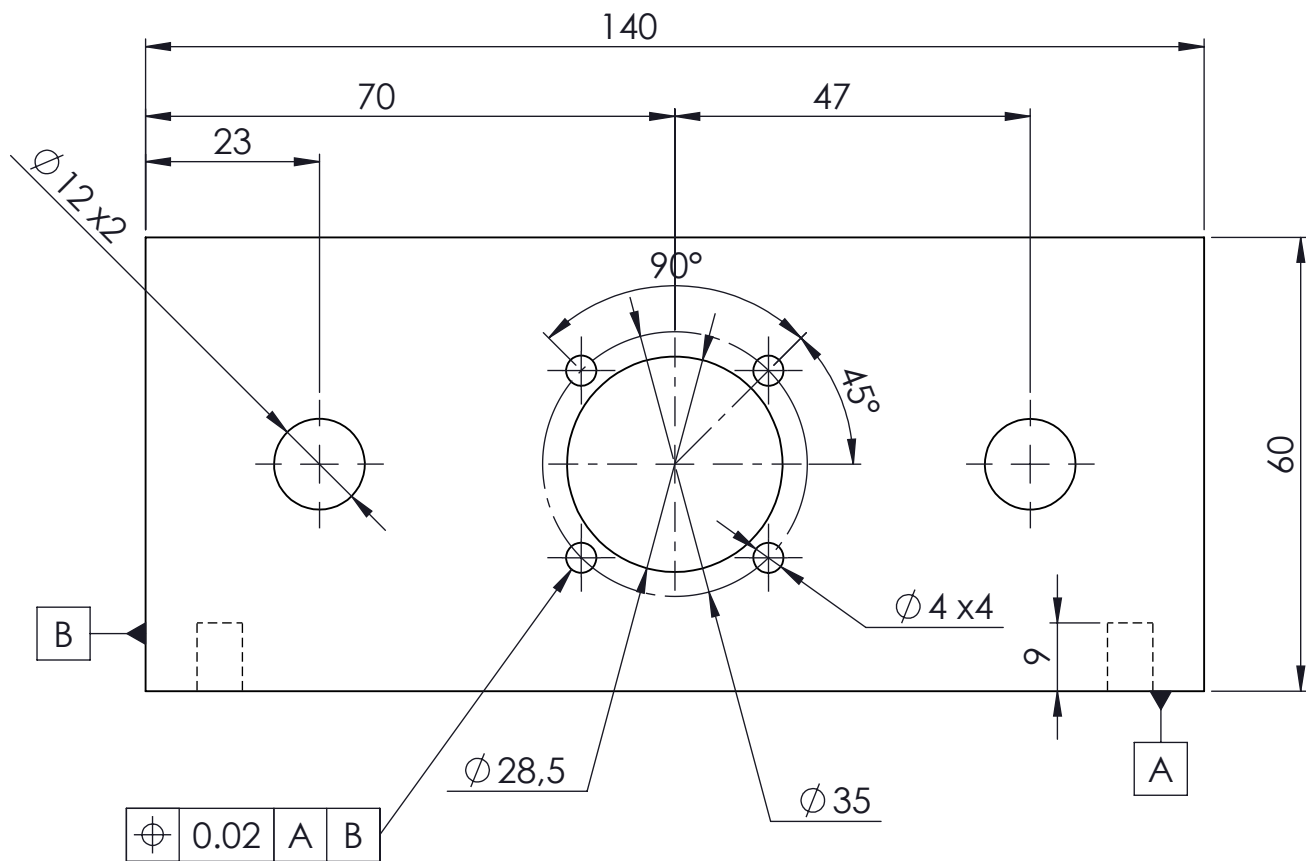
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



MP.MPKM-21.00.00.003

Опорна плита

Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Літера	Маса	Масштаб
		1:1
Аркуш	Аркушів 1	

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Копіював

Формат А4

Перш. застосув.

Добіак. №

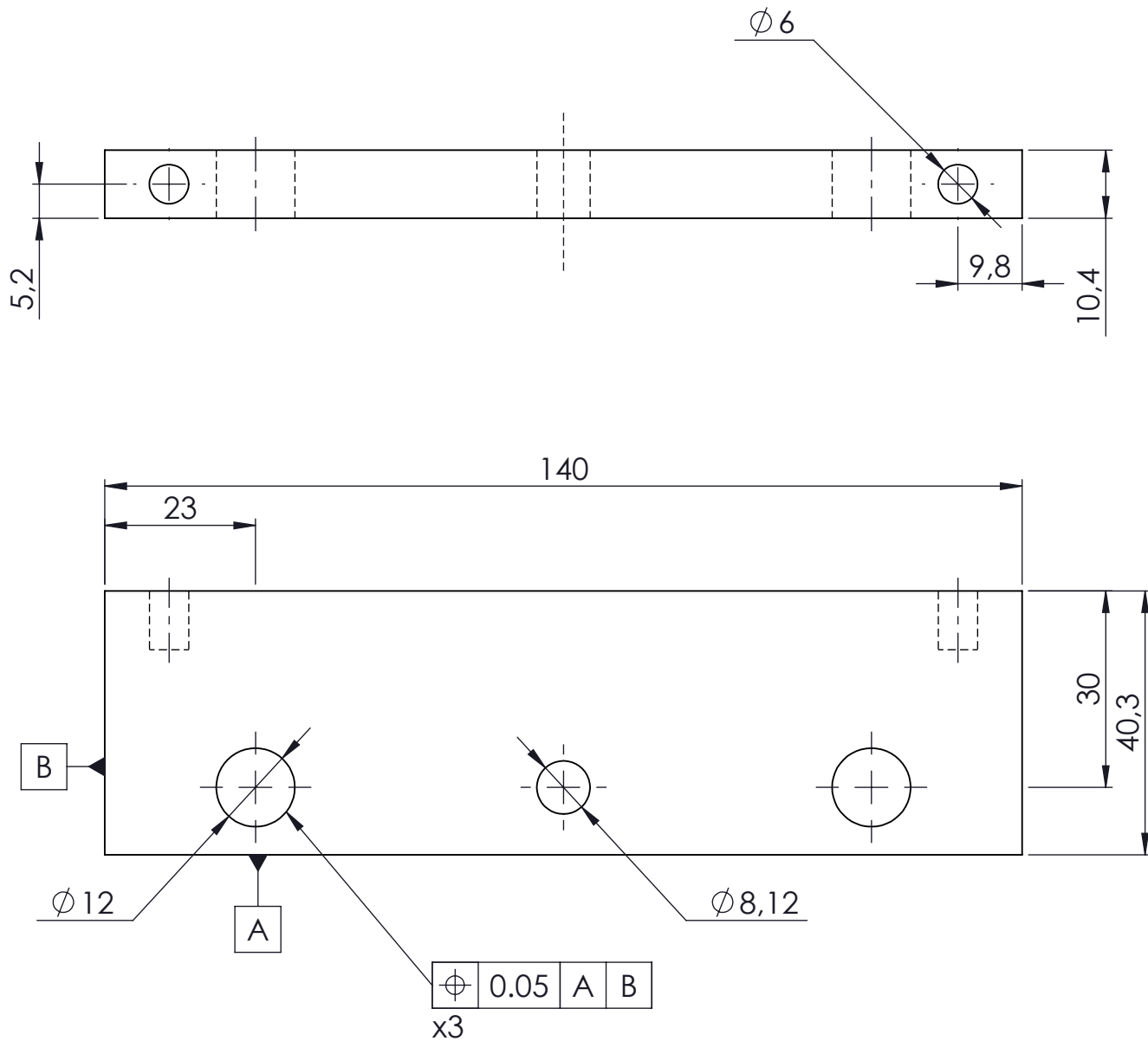
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



MP.MPKM-21.00.00.003

Плита

Сталь 40X ГОСТ 4543-88

Літера Маса Масштаб

1:1

Аркуш Аркушів 1

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Коплював

Формат А4

Зміна	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Прокопів		
Перев.		Гнилиця І.Д.		
Т. контр.		Гнилиця І.Д.		
		Боруцук Л.О.		
Н. контр.		Гнилиця І.Д.		
Затв.		Панчук В.Г.		

Перш. застосув.

Добіак. №

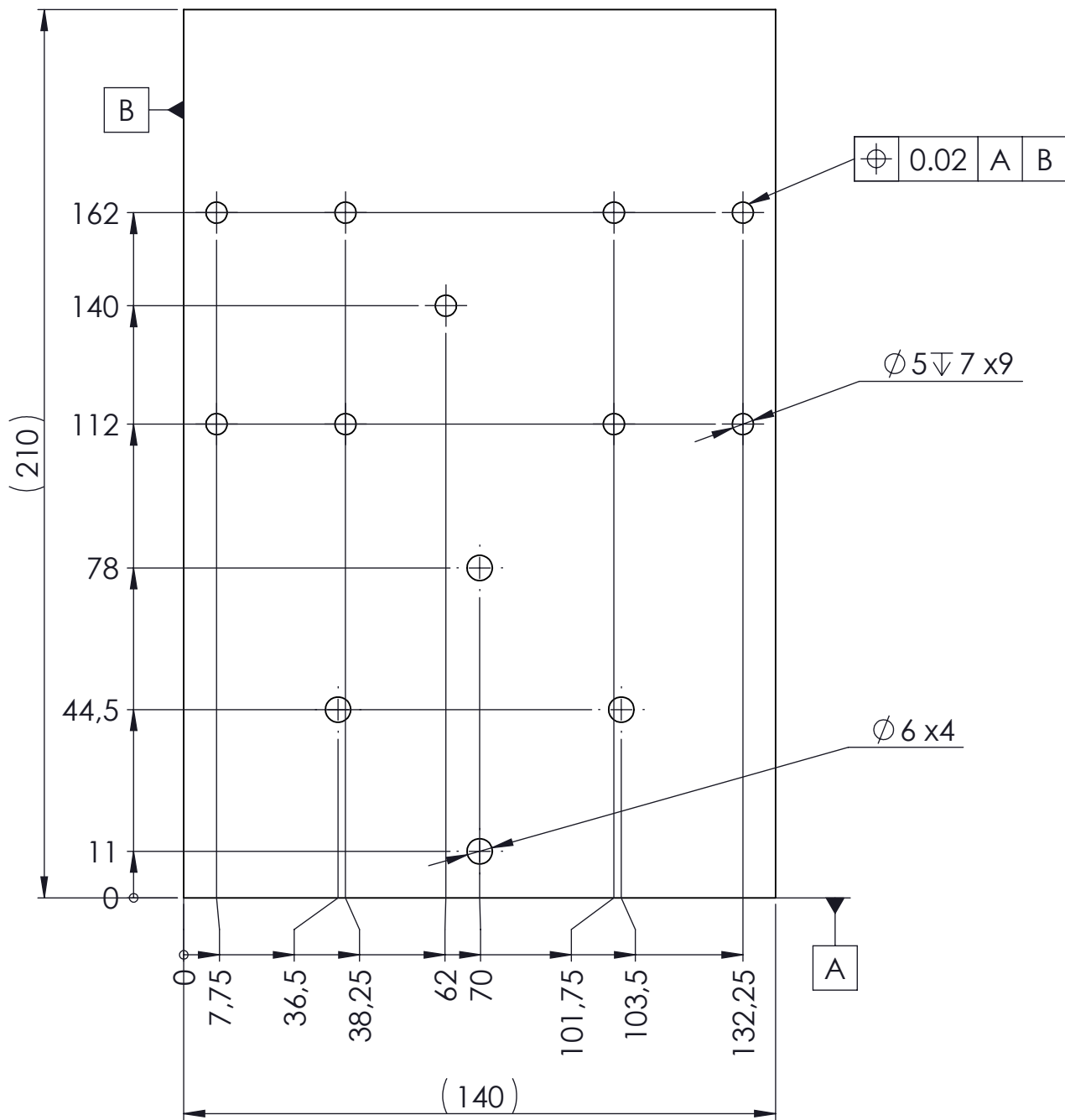
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



Espesor: 10.40mm

MP.MPKM-21.00.00.003

Плита задня

Сталь 40X ГОСТ 4543-88

Літера	Маса	Масштаб
		1:2

Аркуш Аркушів 1

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Коплював

Формат А4

Файл: p9

Перш. застосує.

Добіток. №

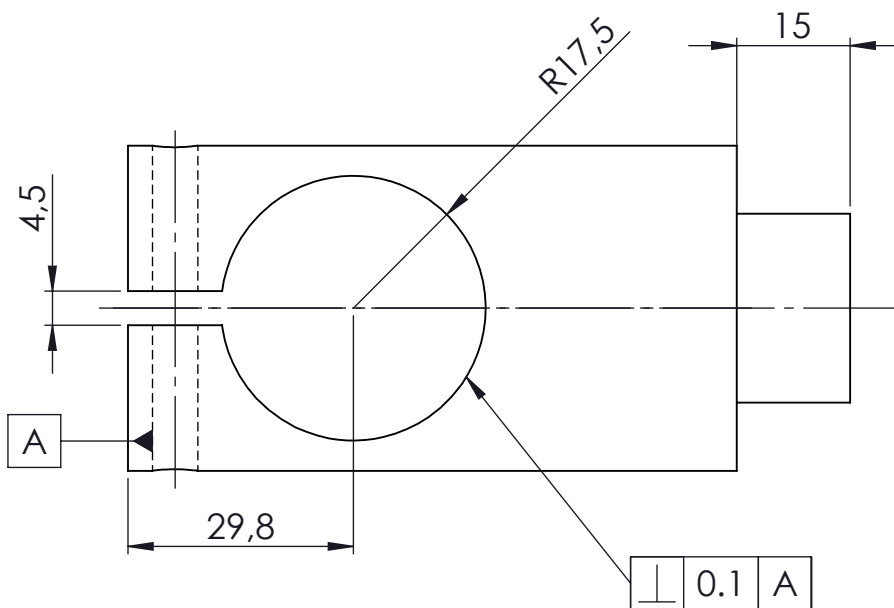
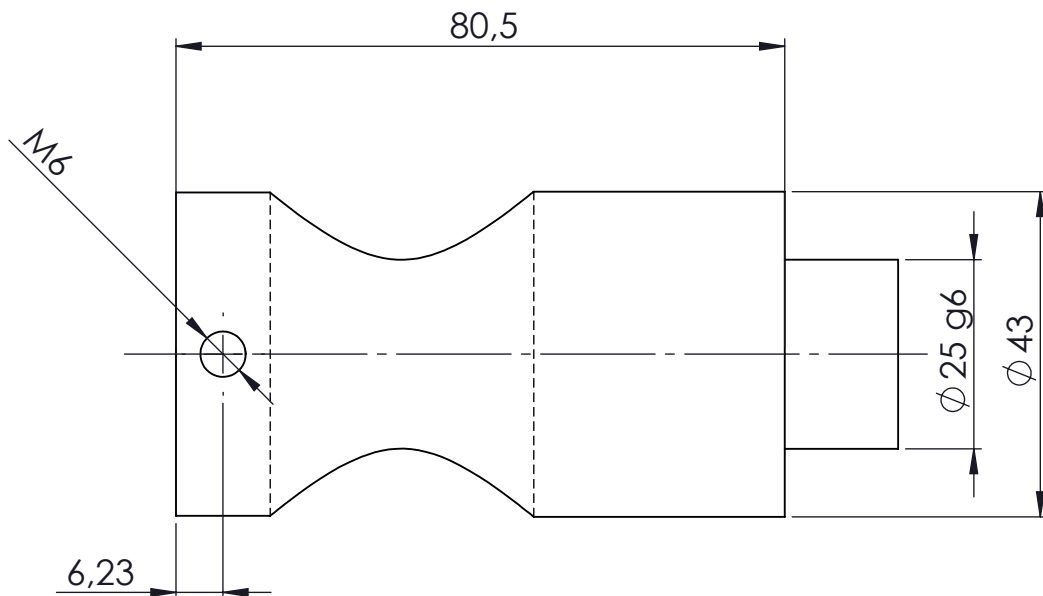
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



MP.MPKM-21.00.00.002

Тримач

Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Літера	Маса	Масштаб
--------	------	---------

1:1

Аркуш	Аркушів 1
-------	-----------

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Формат А4

Шифр:

Копіював

Файл: p11

Перш. застосує.

Добіак. №

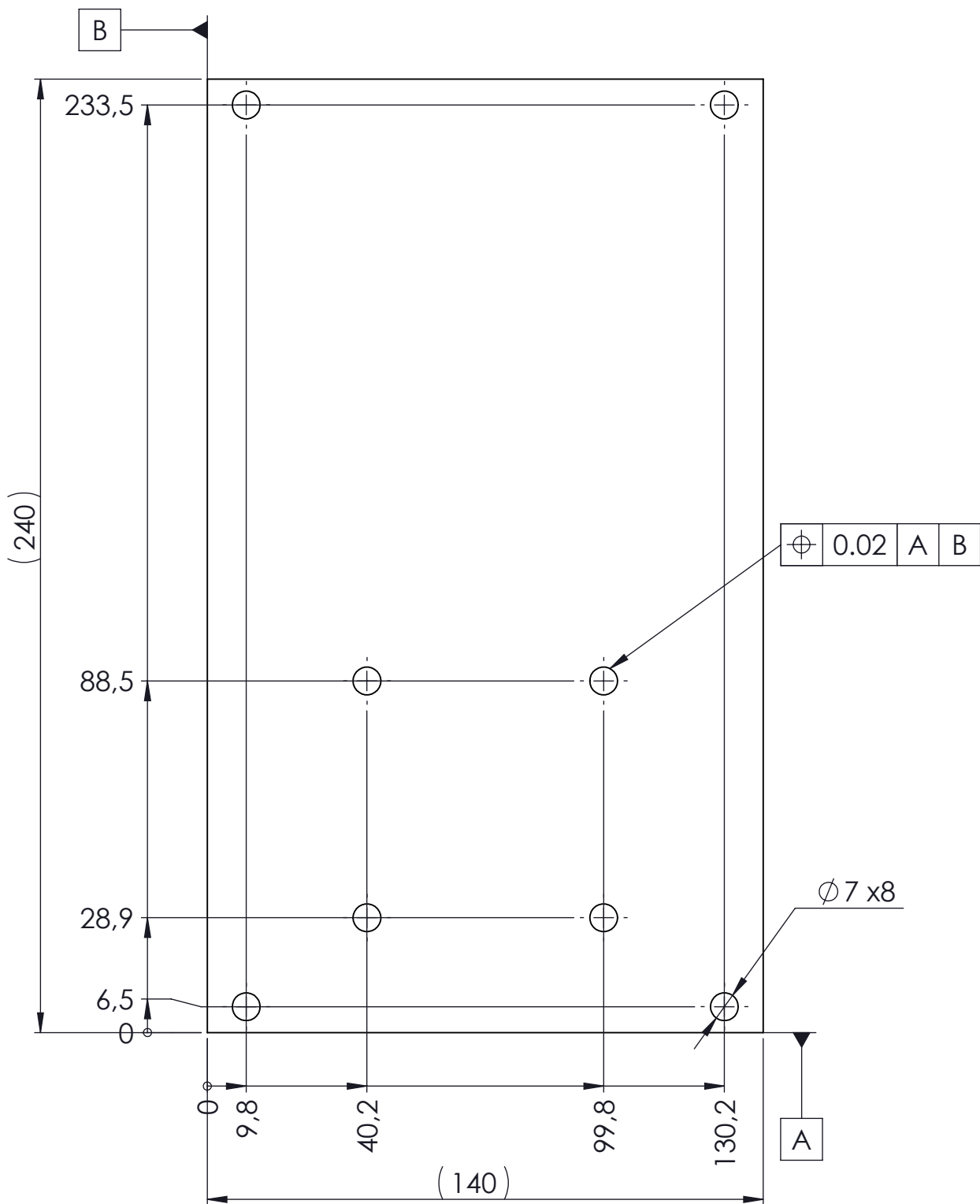
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



MP.MPKM-21.00.00.003

Плита передня

Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Літера	Маса	Масштаб
		1:2

Аркуш Аркушів 1

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Копіював

Формат А4

Перш. застосує.

Добіак. №

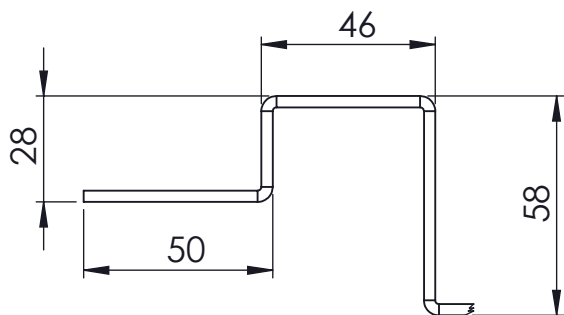
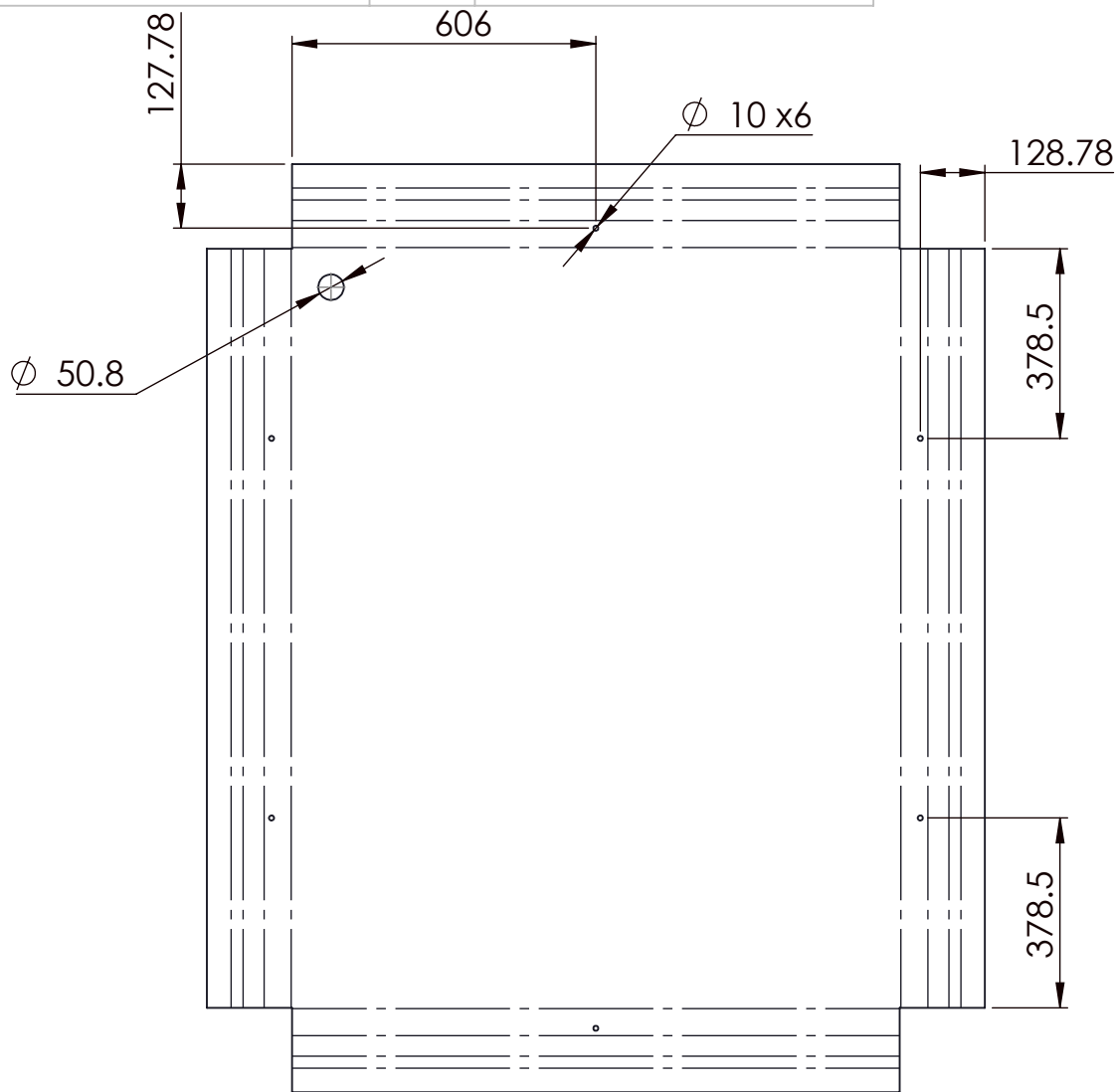
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



Параметри гнуття: 90° R1

Товщина: 3mm

MP.MPKM-21.00.00.002

Лист

СтЗсп ГОСТ 1050-88

Літера	Маса	Масштаб
		1:20
Аркуш	Аркушів 1	
ІФНТУНГ		ПМКМ-24-1

Шифр:

Копіював

Формат А4

Перш. застосує.

Добіток. №

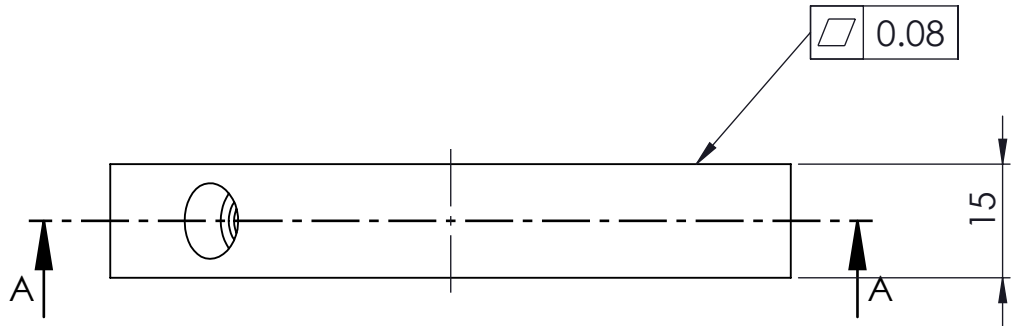
Підпис і дата

Інв. № дубл.

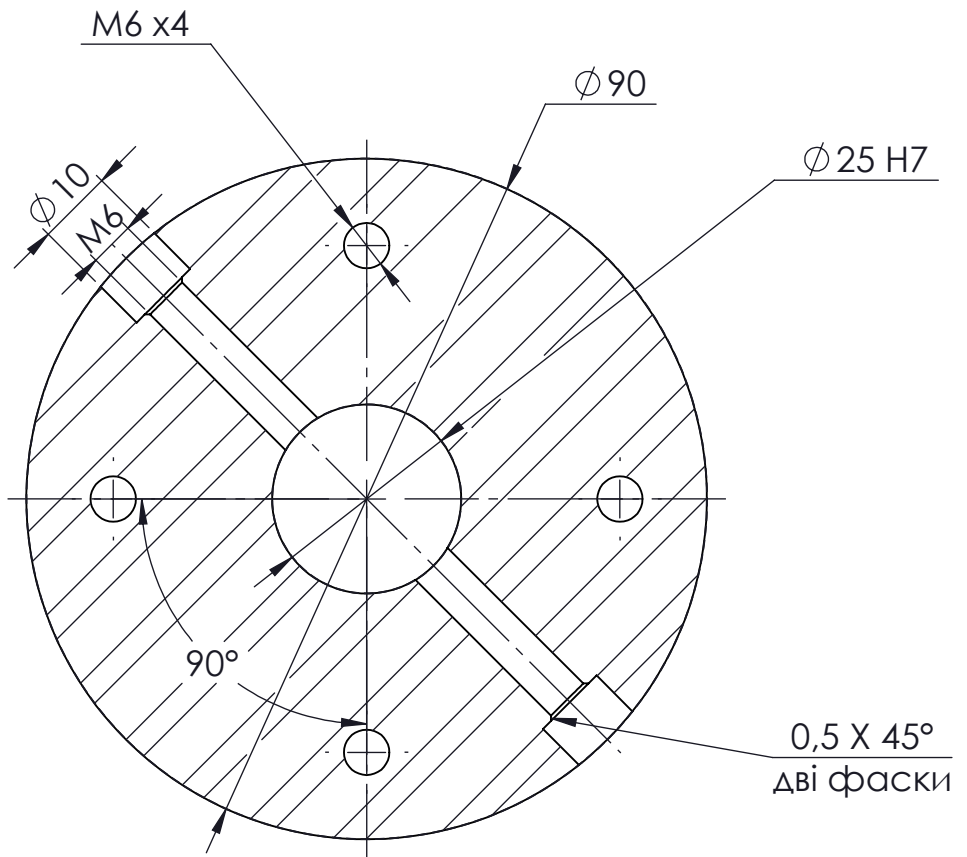
Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



ВИД А-А



МР.МПКМ-21.00.00.001

Шаїда торцева

Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Літера	Маса	Масштаб
		1:1
Аркуш	Аркушів 1	

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Копював

Формат А4

Файл: p10

Перш. застосуф.

Добіак. №

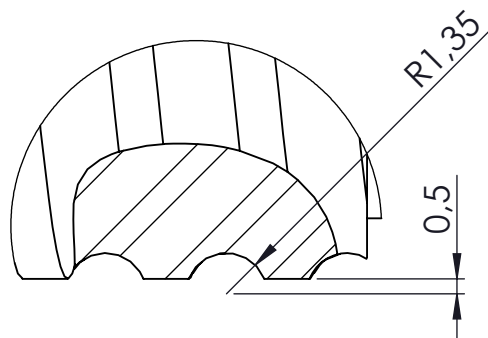
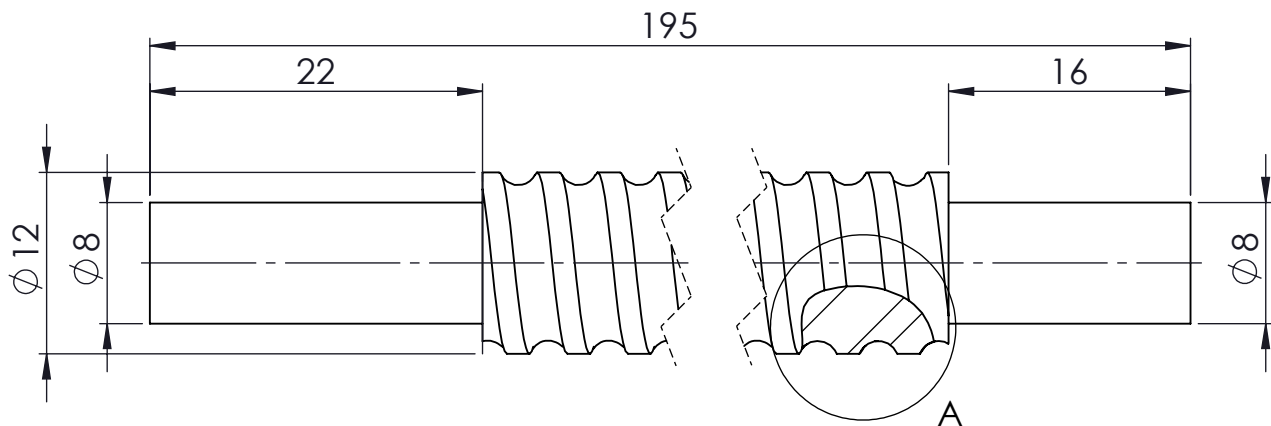
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Замість інв. №

Підпис і дата

Інв. № правдн.



DETALLE A
ESCALA 4 : 1

Модуль	1.25
К-ть витків	1
Кут підйому	9.46°
Напряг гвинта	Правий

MP.MPKM-21.00.00.003

Зміна	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Прокопів		
Перев.		Гнилиця І.Д.		
Т. контр.		Гнилиця І.Д.		
		Баруцак Л.О.		
Н. контр.		Гнилиця І.Д.		
Затв.		Панчук В.Г.		

Ходовий гвинт

Сталь 40X ГОСТ 4543-88

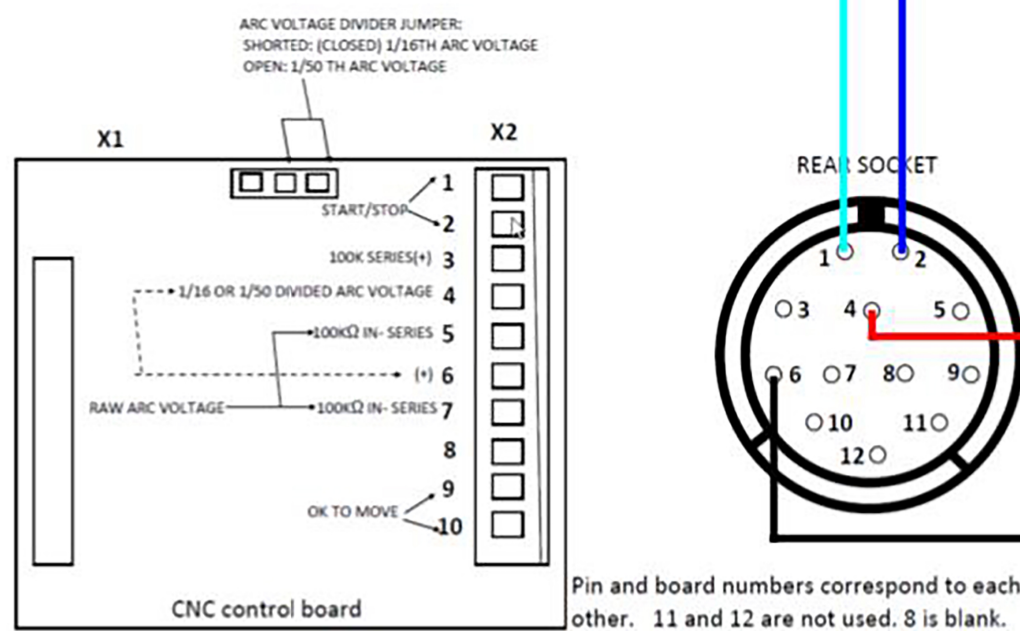
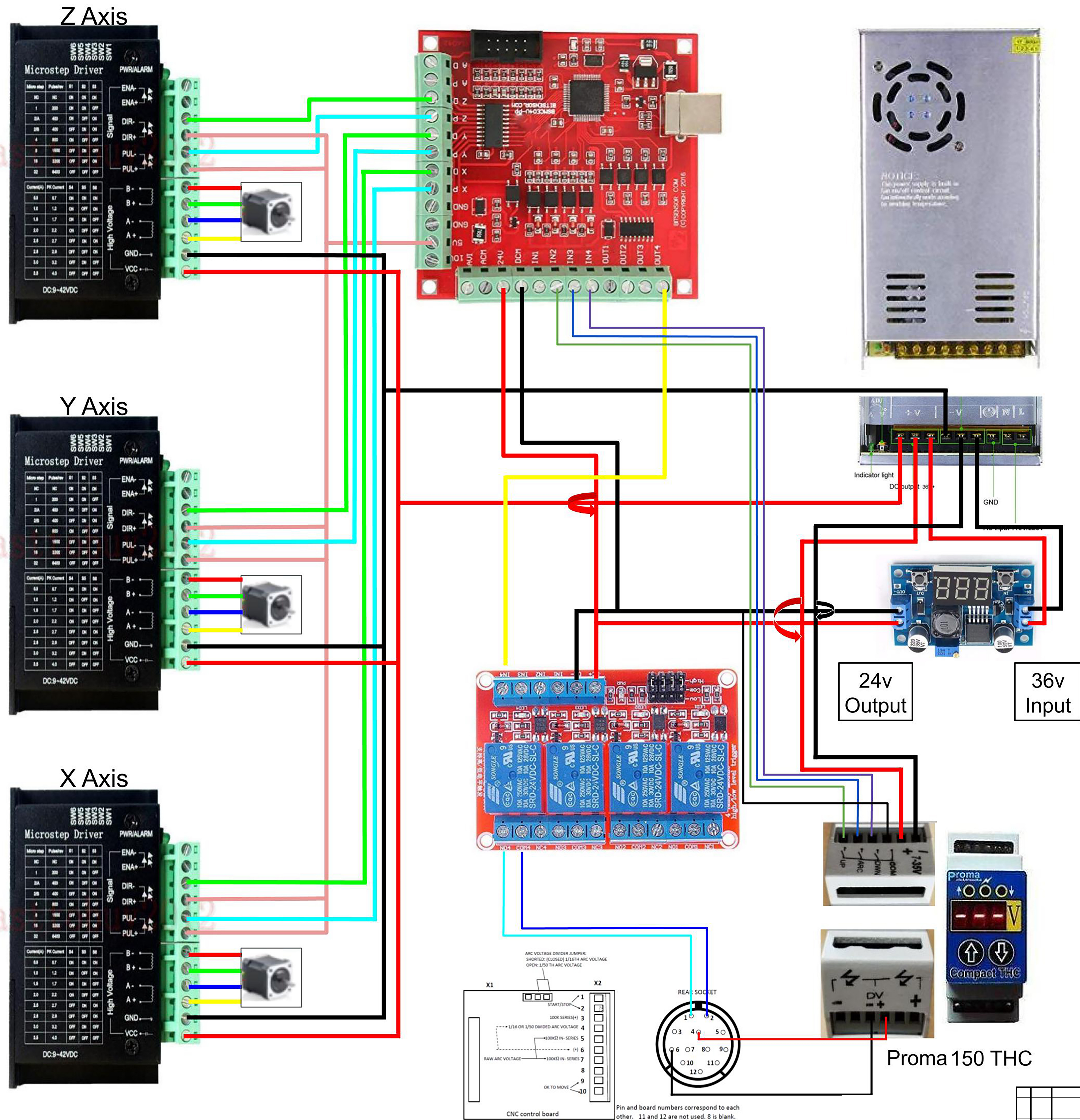
Літера	Маса	Масштаб
		2:1
Аркуш	Аркушів 1	

ІФНТУНГ
ПМКМ-24-1

Шифр:

Копював

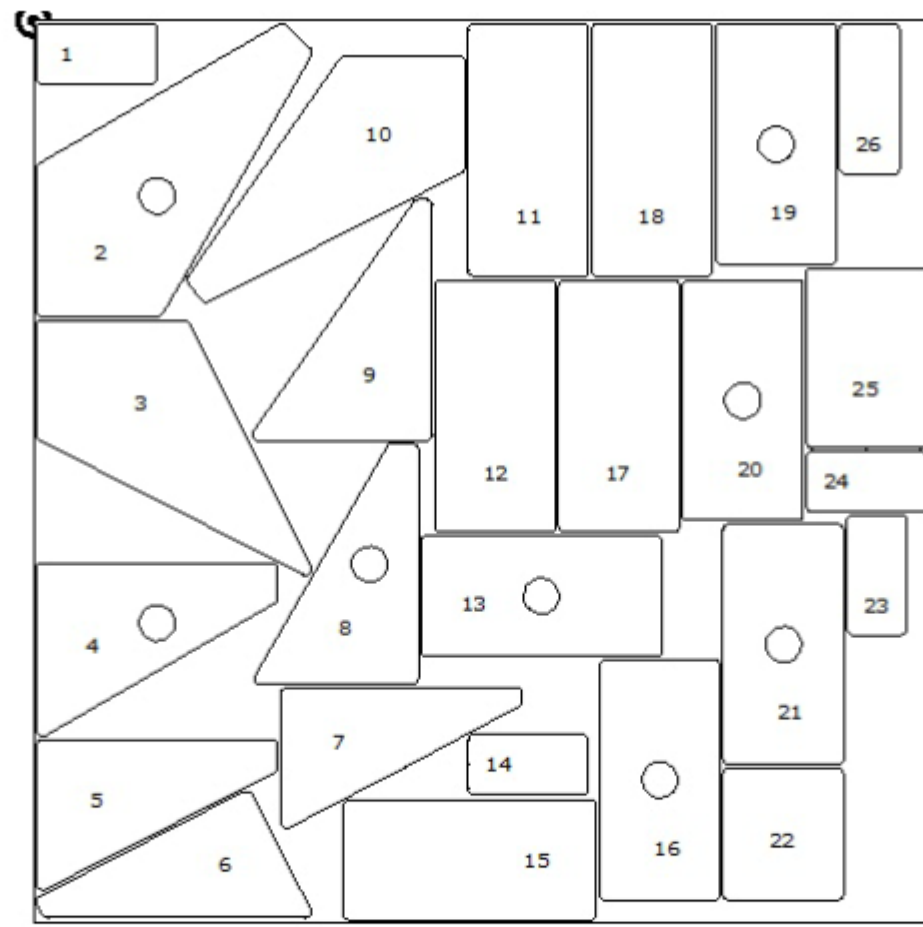
Формат А4



				MP.ПМКМ-2100.00.004				
Эк.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Електрична принципова схема системи керування верстатом з ЧПК для плазмового різання	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Прокалд	Гнилиця І.Д.						
Перев.								
Т.контр.								
Н.контр.								
Замб.								
						Аркши 1		
						1ФНТЧНГ		
						ПМКМ-24-1		
						Формат А1		
						Копія		

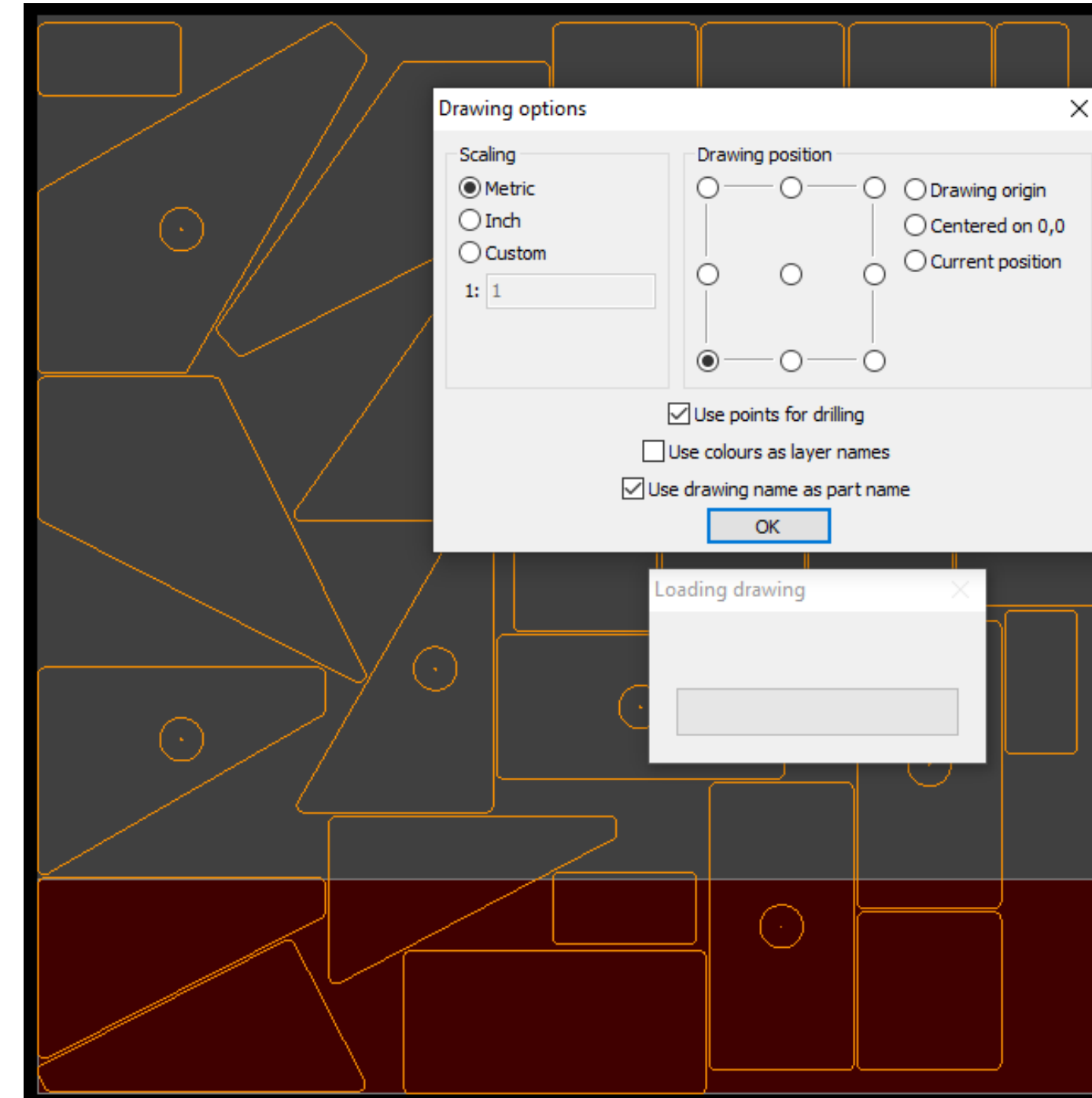
Лист № _____
 Назва _____
 Мат. № _____
 Стор. № _____
 Тітка і дата _____
 Перш. асистент _____

Звіт розкрою



Обладнання: Demo Plasma Machine	Розкрий: 1 із 1	Коефіцієнт використання обрізки: 75,32%
Ім'я вихідного файлу: Nest 1.dxf	Різка - кількість разів: 1	Назва листа: My Plate1
Матеріал: MS 4,00 мм	Базова швидкість подачі: 2000,00 мм/хв	Номер плавки: 70,50 кг
Клас:	Базовий пропили: 1,50 мм	Ідентифікаційний номер інвентарю: 0
Розмір листа: 1500,00 × 1500,00 мм	Час виробництва: 0:20:03	Розташування:
Розмір розкрою: 1487,26 × 1498,86 мм	Загальна довжина розкрою: 29550,09 mm	
Використані процеси: Plasma	Проколи (асяого): 34	
Коефіцієнт фактичного використання площі: 75,32%		

Візуалізація файлу розкладки

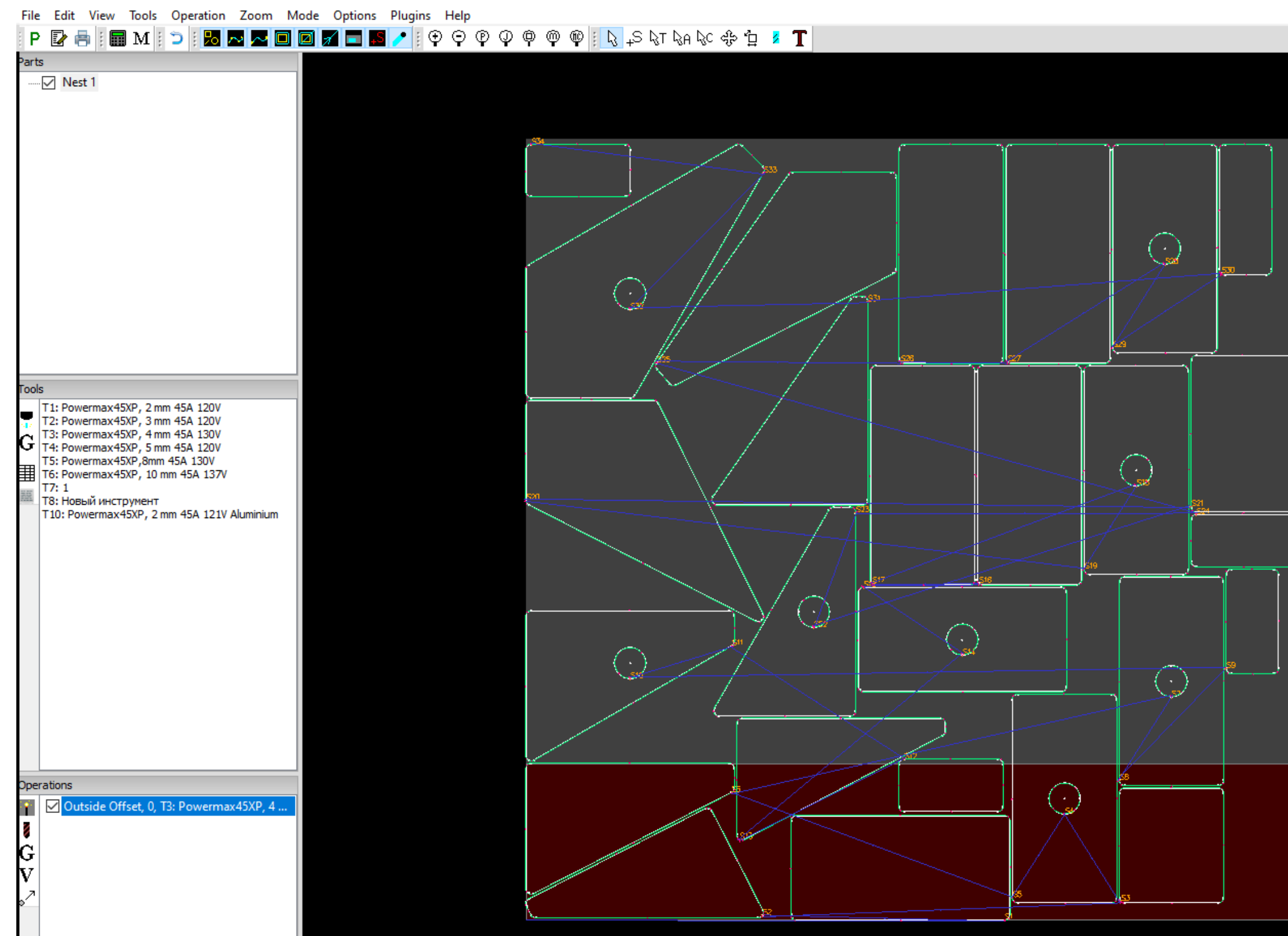


```

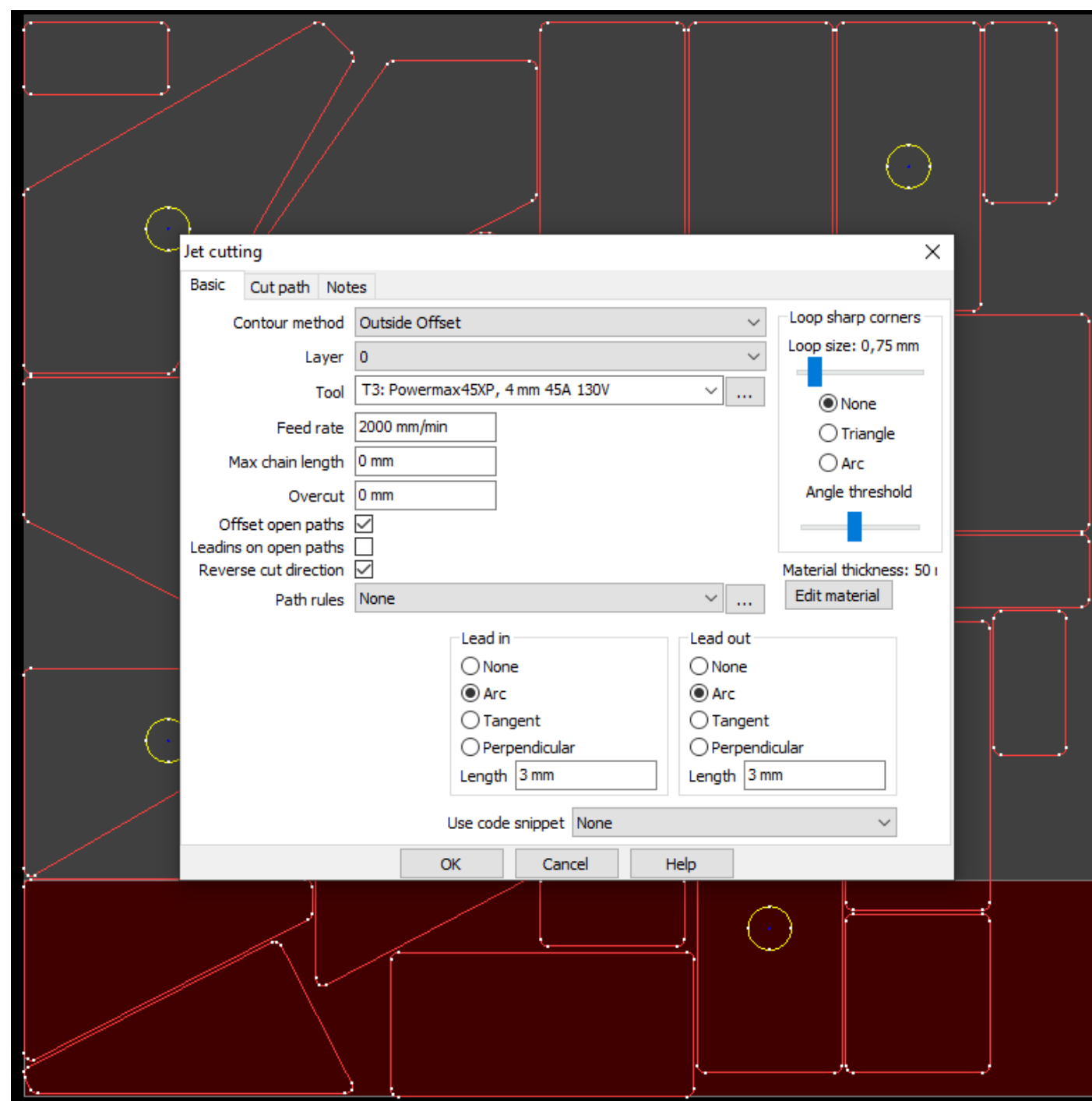
N0010 G21 (Units: Metric)
N0020 F1
N0030 G53 G90 G40
N0040 G00 X0.0000 Y0.0000 Z20.0000
N0050 G00 Z20.0000
N0060 X921.0153 Y-2.6700
N0070 G31 Z -100 F500.0
N0080 G92 Z0.0
N0090 G00 Z2.9000
N0100 G92 Z0.0
N0110 G00 Z3.8000
N0120 M03
N0130 G04 P0.2
N0140 G01 X921.0153 Y-2.6700 Z1.5000 F1750.0
N0150 G03 X919.0953 Y-0.7500 I-1.9200 J0.0000 F2000.0
N0160 G01 X519.0961
N0170 G02 X508.3461 Y10.0000 I0.0000 J10.7500
N0180 G01 Y189.9996
N0190 G02 X519.0961 Y200.7496 I10.7500 J0.0000
N0200 G01 X919.0953
N0210 G02 X929.8452 Y189.9996 I0.0000 J-10.7500
N0220 G01 Y10.0000
N0230 G02 X919.0953 Y-0.7500 I-10.7500 J0.0000
N0240 G03 X917.1753 Y-2.6700 I0.0000 J-1.9200
N0250 M05
N0260 G00 Z20.0000
N0270 X457.4194 Y9.2951
N0280 G31 Z -100 F500.0
N0290 G92 Z0.0
N0300 G00 Z2.9000
N0310 G92 Z0.0
N0320 G00 Z3.8000
N0330 M03
N0340 G04 P0.2
N0350 G01 X457.4194 Y9.2951 Z1.5000 F1750.0
N0360 G03 X454.7797 Y8.6587 I-1.0016 J-1.6380 F2000.0
N0370 G02 X445.6084 Y3.5168 I-9.1713 J5.6080
N0380 G01 X18.7064
N0390 G02 X9.1375 Y9.3680 I0.0000 J10.7500
N0400 G01 X0.4311 Y26.3743
N0410 G02 X5.1012 Y40.8420 I9.5689 J4.8988
N0420 G01 X343.3507 Y214.0086
N0430 G02 X357.8184 Y209.3385 I4.8988 J-9.5689
N0440 G01 X455.1773 Y19.1655
N0450 G02 X454.7797 Y8.6587 I-9.5689 J-4.8988
N0460 G03 X455.4161 Y6.0191 I1.6380 J-1.0016
N0470 M05
N0480 G00 Z20.0000
N0490 X1141.8488 Y32.8375
N0500 G31 Z -100 F500.0
N0510 G92 Z0.0
N0520 G00 Z2.9000
N0530 G92 Z0.0
N0540 G00 Z3.8000
N0550 M03
N0560 G04 P0.2
N0570 G01 X1141.8488 Y32.8375 Z1.5000 F1750.0
N0580 G03 Y35.5528 I-1.3576 J1.3576 F2000.0
N0590 G02 X1138.7002 Y43.1542 I7.6014 J7.6014
N0600 G01 Y243.1538
N0610 G02 X1149.4502 Y253.9038 I10.7500 J0.0000
N0620 G01 X1329.4498
N0630 G02 X1340.1998 Y243.1538 I0.0000 J-10.7500
N0640 G01 Y43.1542
N0650 G02 X1329.4498 Y32.4042 I-10.7500 J0.0000
N0660 G01 X1149.4502
N0670 G02 X1141.8488 Y35.5528 I-0.0000 J10.7500
N0680 G03 X1139.1335 I-1.3576 J-1.3576
N0690 M05
N0700 G00 Z20.0000
N0710 X1032.3527 Y205.8238
N0720 G31 Z -100 F500.0
N0730 G92 Z0.0
N0740 G00 Z2.9000
N0750 G92 Z0.0
N0760 G00 Z3.8000
N0770 M03
N0780 G04 P0.2
N0790 G01 X1032.3527 Y205.8238 Z1.5000 F1750.0
N0800 G03 X1034.2727 Y203.9038 I1.9200 J0.0000 F2000.0
N0810 I0.0000 J29.2499
N0820 X1036.1927 Y205.8238 I0.0000 J1.9200
N0830 M05
N0840 G00 Z20.0000
N0850 X931.6029 Y41.2342
N0860 G31 Z -100 F500.0
N0870 G92 Z0.0
N0880 G00 Z2.9000
N0890 G92 Z0.0
N0900 G00 Z3.8000
N0910 M03
N0920 G04 P0.2
N0930 G01 X931.6029 Y41.2342 Z1.5000 F1750.0
N0940 G03 X933.5229 Y43.1542 I0.0000 J1.9200 F2000.0
N0950 G01 Y423.1534
N0960 G02 X944.2729 Y433.9034 I10.7500 J0.0000
N0970 G01 X1124.2725
N0980 G02 X1135.0225 Y423.1534 I0.0000 J-10.7500
N0990 G01 Y43.1542
N1000 G02 X1124.2725 Y32.4042 I-10.7500 J0.0000
N1010 G01 X944.2729
N1020 G02 X933.5229 Y43.1542 I0.0000 J10.7500
N1030 G03 X931.6029 Y45.0742 I-1.9200 J0.0000
N1040 M05
...
N5770 G00 Z20.0000
N5780 X1334.4269 Y1238.3682
N5790 G31 Z -100 F500.0
N5800 G92 Z0.0
N5810 G00 Z2.9000
N5820 G92 Z0.0
N5830 G00 Z3.8000
N5840 M03
N5850 G04 P0.2
N5860 G01 X1334.4269 Y1238.3682 Z1.5000 F1750.0
N5870 G03 Y1241.0835 I-1.3576 J1.3576 F2000.0
N5880 G02 X1331.2783 Y1248.6849 I7.6014 J7.6014
N5890 G01 Y1478.6845
N5900 G02 X1342.0283 Y1489.4344 I10.7500 J-0.0000
N5910 G01 X1422.0281
N5920 M05 M30

```

Візуалізація траєкторії різання



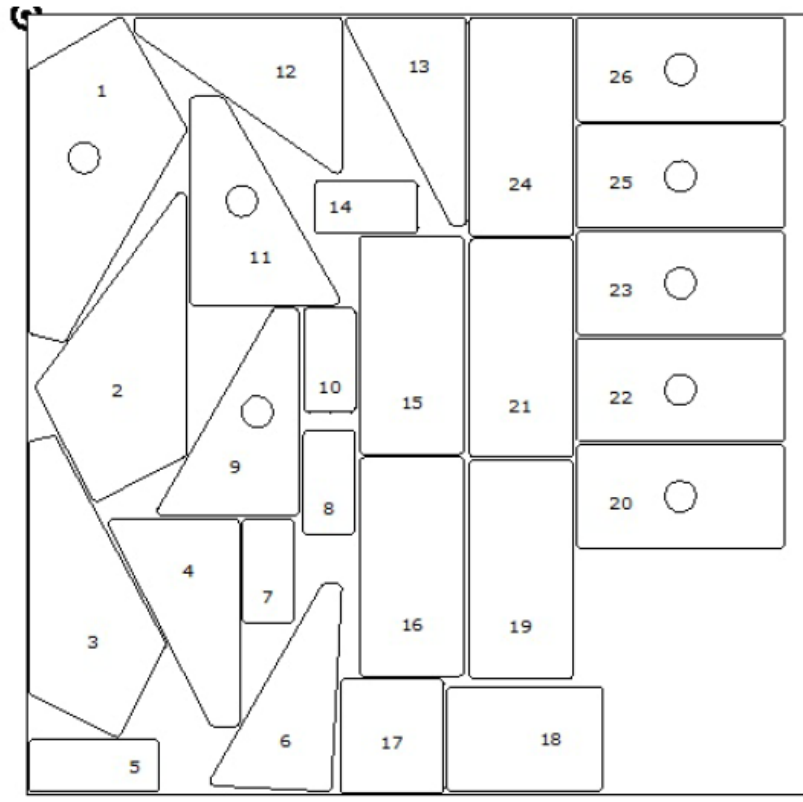
Налаштування машини



				MP.ПМКМ-2100.00.005			
Зм.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Прокальб						
Перев.	Гнилиця ІД.						
Т.контр.					Архиш	Архиш	1
Н.контр.					ІФНТЧНГ		
Затв.					ПМКМ-24-1		
				Копія			
				Формат А1			

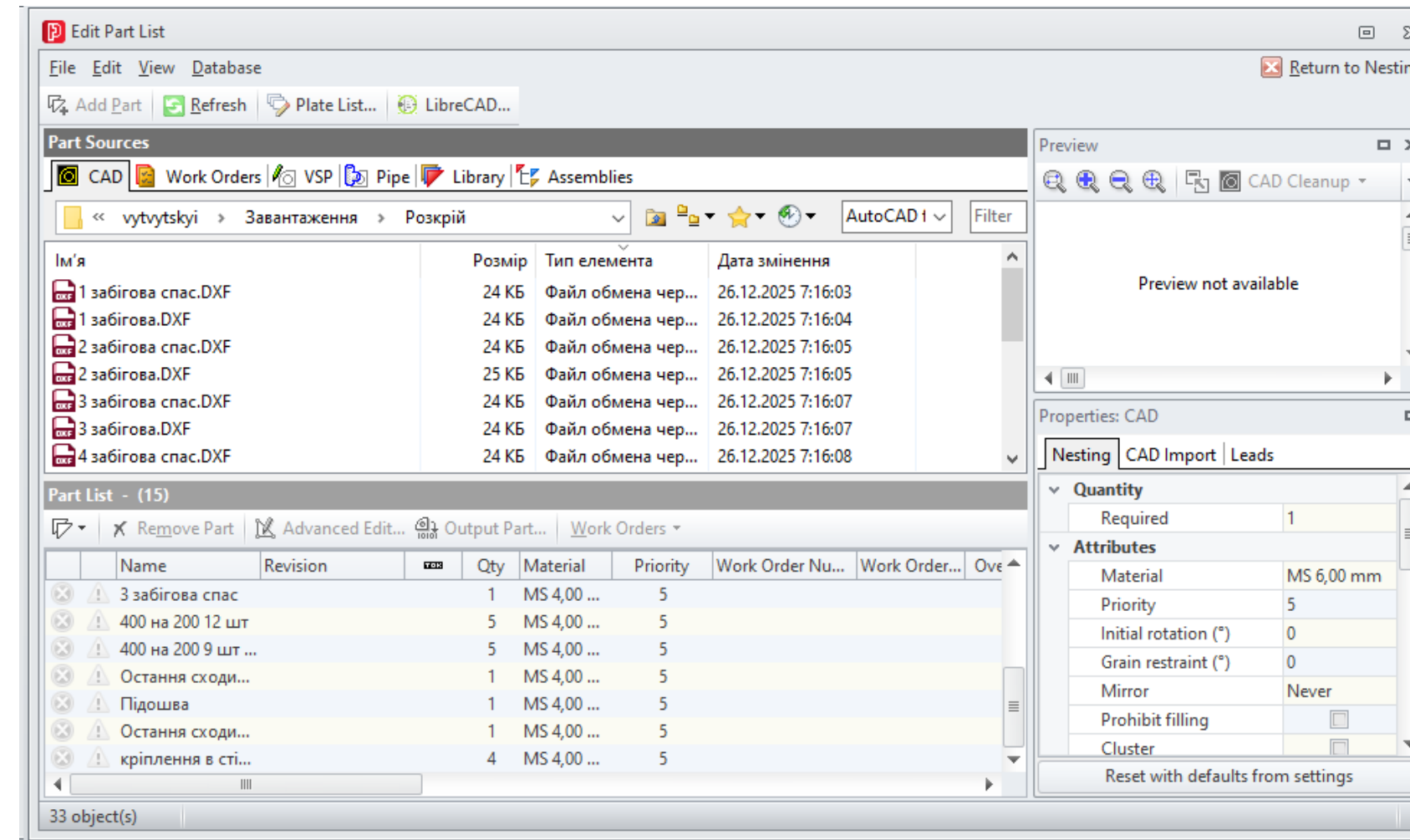
Перш. застос.
 Ліній. №
 Ліній. і дана
 Ліній. № аркуша
 Зам. № аркуша
 Ліній. і дана
 Ліній. № аркуша

Звіт розкряю



Обладнання: Demo Plasma Machine	Розкрий: 1 із 1	Коефіцієнт використання обрізи: 75,32%
Ім'я вихідного файлу: MS 4,00 mm	Різка - кількість разів: 1	Назва листа: My Plate1
Матеріал: MS 4,00 mm	Базова швидкість подачі: 2500,00 мм/хв	Номер плати: 0
Клас: 1500,00 × 1500,00 mm	Базовий пропіл: 2,00 mm	Вага листа: 70,50 кг
Розмір листа: 1480,39 × 1499,96 mm	Час виробництва: 0:17:04	Ідентифікаційний номер інвентарю: 0
Використаний процес: Plasma	Загальна довжина розкряю: 29550,09 mm	Розташування: 0
Коефіцієнт фактичного використання площі: 75,32%	Прокіслів (розкряю): 34	

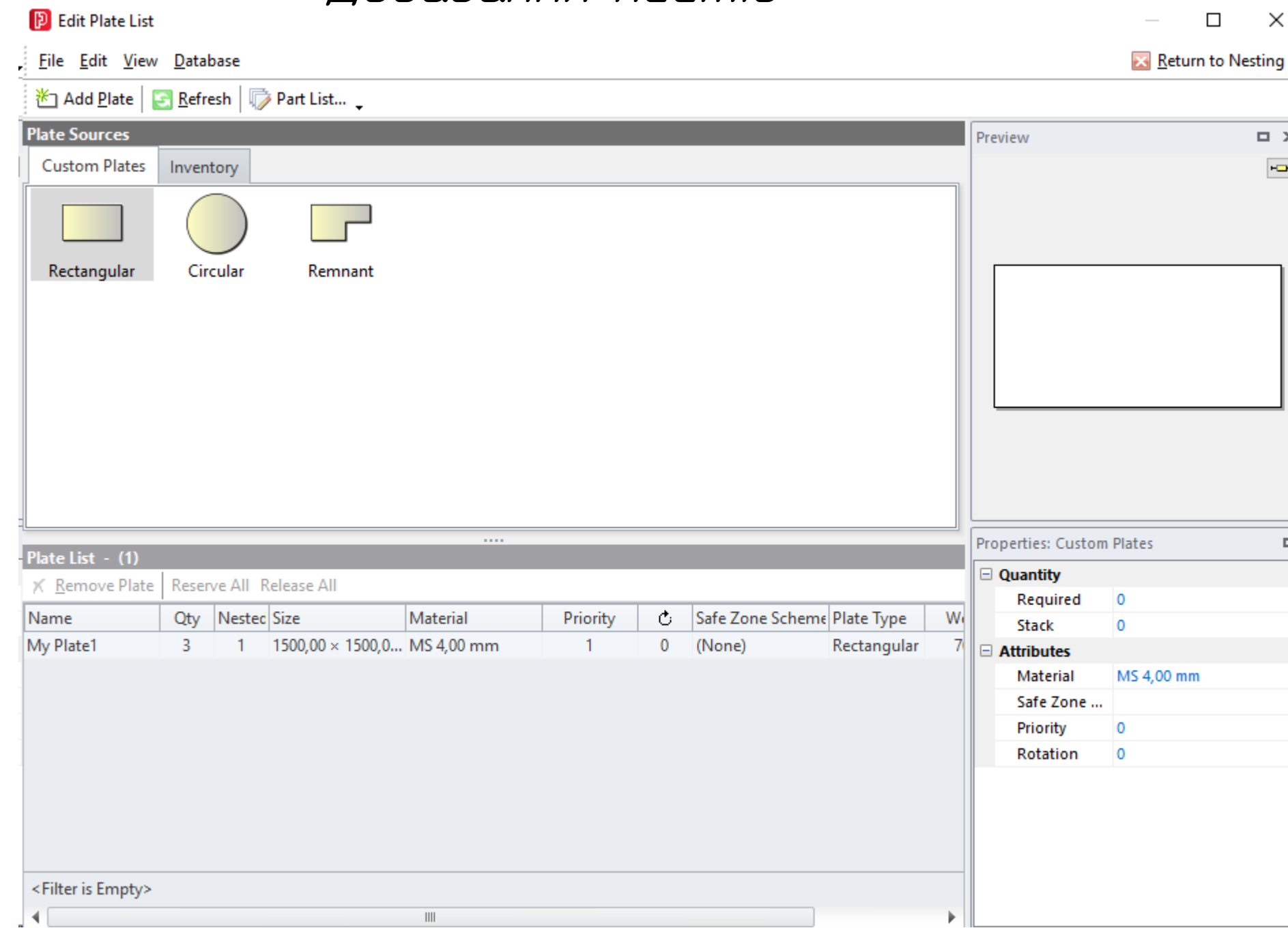
Додавання деталей



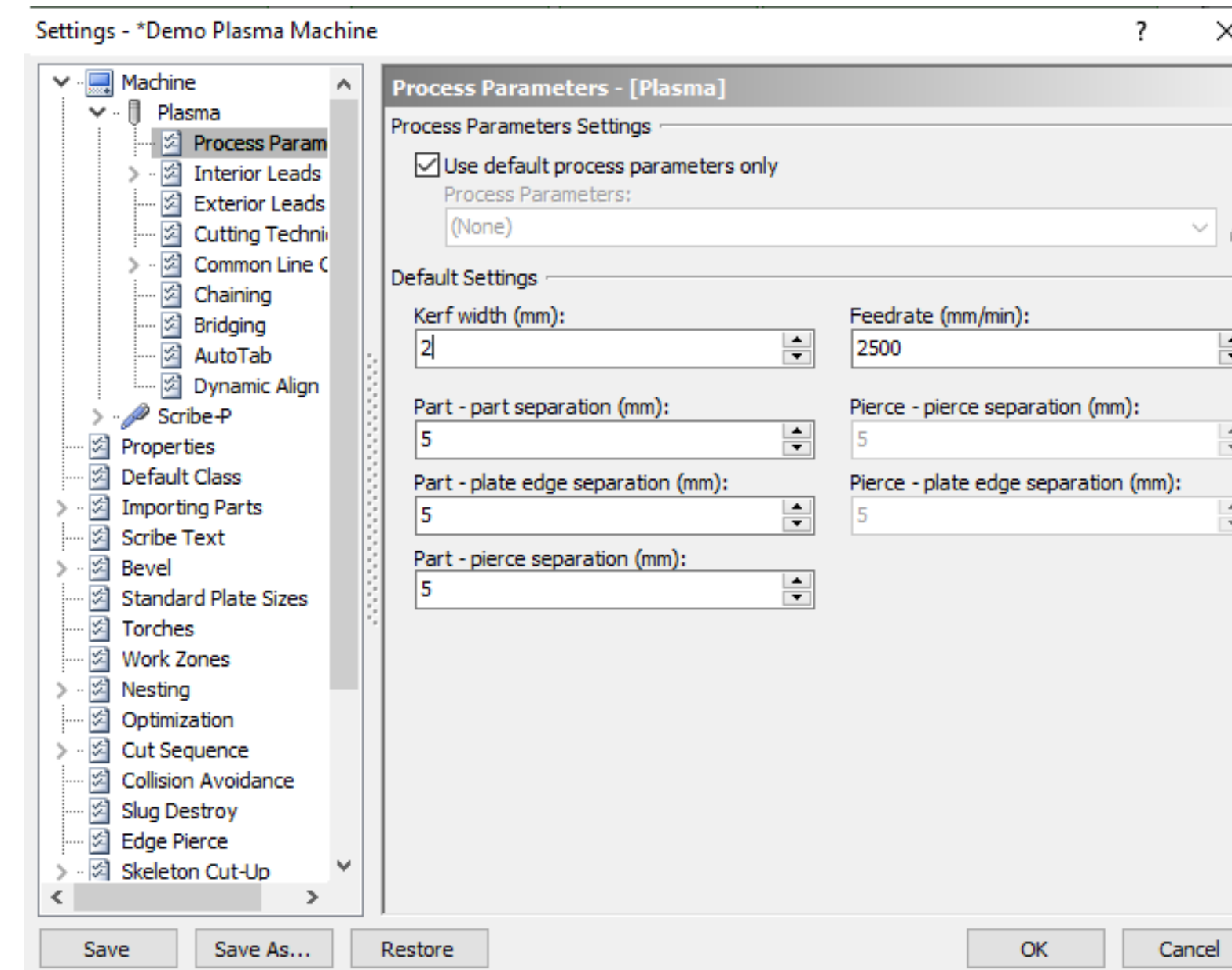
Код керуючої програми ЧПК

- | | |
|---|--|
| N0010 G21 (Units: Metric) | N0610 G01 X800.9312 Y193.9589 |
| N0020 F1 | N0620 G02 X811.6813 Y204.7088 I10.7500 J-0.0001 |
| N0030 G53 G90 G40 | N0630 G01 X1091.6808 Y204.7058 |
| N0040 G00 X0.0000 Y0.0000 Z20.0000 | N0640 G02 X1102.4306 Y193.9557 I-0.0001 J-10.7500 |
| N0050 G00 Z20.0000 | N0650 G01 X1102.4287 Y13.9561 |
| N0060 X599.0394 Y-0.3167 | N0660 G02 X1091.6786 Y3.2062 I-10.7500 J0.0001 |
| N0070 G31 Z -100 F500.0 | N0670 G03 X1089.7586 Y1.2862 I-0.0000 J-1.9200 |
| N0080 G92 Z0.0 | N0680 M05 |
| N0090 G00 Z2.9000 | N0690 G00 Z20.0000 |
| N0100 G92 Z0.0 | N0700 X347.3268 Y16.3486 |
| N0110 G00 Z3.8000 | N0710 G31 Z -100 F500.0 |
| N0120 M03 | N0720 G92 Z0.0 |
| N0130 G04 P0.2 | N0730 G00 Z2.9000 |
| N0140 G01 X599.0394 Y-0.3167 Z1.5000 F1750.0 | N0740 G92 Z0.0 |
| N0150 G03 Y2.3986 I-1.3577 J1.3576 F2000.0 | N0750 G00 Z3.8000 |
| N0160 G02 X595.8908 Y9.9999 I7.6013 J7.6014 | N0760 M03 |
| N0170 G01 X595.8898 Y209.9995 | N0770 G04 P0.2 |
| N0180 G02 X606.6397 Y220.7496 I10.7500 J0.0001 | N0780 G01 X347.3268 Y16.3486 Z1.5000 F1750.0 |
| N0190 G01 X786.6394 Y220.7504 | N0790 G03 X348.0955 Y18.9528 I-0.9178 J1.6864 F2000.0 |
| N0200 G02 X797.3894 Y210.0005 I0.0001 J-10.7500 | N0800 G02 X348.2280 Y29.4664 I9.4423 J5.1385 |
| N0210 G01 X797.3904 Y10.0009 | N0810 G01 X561.6791 Y399.1744 |
| N0220 G02 X786.6405 Y-0.7491 I-10.7500 J-0.0001 | N0820 G02 X571.5308 Y404.5357 I9.3098 J-5.3750 |
| N0230 G01 X606.6408 Y-0.7500 | N0830 G01 X590.6119 Y403.5725 |
| N0240 G02 X599.0394 Y2.3986 I-0.0001 J10.7500 | N0840 G02 X600.8063 Y392.2942 I-0.5420 J-10.7363 |
| N0250 G03 X596.3241 Y2.3985 I-1.3576 J-1.3577 | N0850 G01 X581.6482 Y12.7782 |
| N0260 M05 | N0860 G02 X570.3699 Y2.5839 I-10.7363 J0.5420 |
| N0270 G00 Z20.0000 | N0870 G01 X356.9958 Y13.3551 |
| N0280 X241.9227 Y0.6416 | N0880 G02 X348.0955 Y18.9528 I0.5420 J10.7363 |
| N0290 G31 Z -100 F500.0 | N0890 G03 X345.4913 Y19.7215 I-1.6864 J-0.9178 |
| N0300 G92 Z0.0 | ... |
| N0310 G00 Z2.9000 | ... |
| N0320 G92 Z0.0 | ... |
| N0330 G00 Z3.8000 | N5660 G00 Z20.0000 |
| N0340 M03 | N5670 X406.6340 Y1110.1901 |
| N0350 G04 P0.2 | N5680 G31 Z -100 F500.0 |
| N0360 G01 X241.9227 Y0.6416 Z1.5000 F1750.0 | N5690 G92 Z0.0 |
| N0370 G03 X240.0027 Y2.5616 I-1.9200 J0.0000 F2000.0 | N5700 G00 Z2.9000 |
| N0380 G01 X10.0032 | N5710 G92 Z0.0 |
| N0390 G02 X-0.7468 Y13.3116 I0.0000 J10.7500 | N5720 G00 Z3.8000 |
| N0400 G01 Y93.3115 | N5730 M03 |
| N0410 G02 X10.0032 Y104.0614 I10.7500 J0.0000 | N5740 G04 P0.2 |
| N0420 G01 X240.0027 | N5750 G01 X406.6340 Y1110.1901 Z1.5000 F1750.0 |
| N0430 G02 X250.7527 Y93.3115 I0.0000 J-10.7500 | N5760 G03 X408.5540 Y1108.2701 I1.9200 J0.0000 F2000.0 |
| N0440 G01 Y13.3116 | N5770 I0.0000 J29.2499 |
| N0450 G02 X240.0027 Y2.5616 I-10.7500 J0.0000 | N5780 X410.4740 Y1110.1901 I0.0000 J1.9200 |
| N0460 G03 X238.0827 Y0.6416 I0.0000 J-1.9200 | N5790 M05 |
| N0470 M05 | N5800 G00 Z20.0000 |
| N0480 G00 Z20.0000 | N5810 X376.5694 Y1335.5196 |
| N0490 X1093.5986 Y1.2862 | N5820 G31 Z -100 F500.0 |
| N0500 G31 Z -100 F500.0 | N5830 G92 Z0.0 |
| N0510 G92 Z0.0 | N5840 G00 Z2.9000 |
| N0520 G00 Z2.9000 | N5850 G92 Z0.0 |
| N0530 G92 Z0.0 | N5860 G00 Z3.8000 |
| N0540 G00 Z3.8000 | N5870 M03 |
| N0550 M03 | N5880 G04 P0.2 |
| N0560 G04 P0.2 | N5890 G01 X376.5694 Y1335.5196 Z1.5000 F1750.0 |
| N0570 G01 X1093.5986 Y1.2862 Z1.5000 F1750.0 | N5900 M05 M30 |
| N0580 G03 X1091.6786 Y3.2062 I-1.9200 J0.0000 F2000.0 | |
| N0590 G01 X811.6792 Y3.2092 | |
| N0600 G02 X800.9293 Y13.9593 I0.0001 J10.7500 | |
| N0610 G01 X800.9312 Y193.9589 | |

Додавання листів



Налаштування машини



				MP.ПМКМ-2100.00.006			
Зм.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Проєкт.						
Перев.	Гнилиця ІД.						
Т.контр.					Архив	Архив	1
Н.контр.					ІФНТУНГ		
Зам.					ПМКМ-24-1		
				Копія			
				Формат А1			

Перш запис...
 Лист №...
 Лист №...
 Лист №...
 Лист №...
 Лист №...