

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование кафедры)

15.04.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Технология и оборудование для пайки»

(направленность(профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему "Проектирование и изготовление автоматической установки для
термической резки металлов"

Студент

О.В. Танасов

(И.О. Фамилия)

(подпись)

Научный

руководитель

А.И. Ковтунов

(И.О. Фамилия)

(подпись)

Консультанты

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(подпись)

(И.О. Фамилия)

(подпись)

Руководитель
программы

д.т.н., профессор, А.И.Ковтунов

(ученая степень, звание И.О. Фамилия)

(подпись)

« ___ » _____ 20 ___ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., проф. В.В. Ельцов

(ученая степень, звание И.О. Фамилия)

(подпись)

« ___ » _____ 20 ___ г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Анализ установок термической резки листовых изделий на рынке	6
1.1 Плазменная резка	6
1.2 Станок плазменной резки металла с ЧПУ «СК Старт 15-30».....	8
1.3 Станок плазменной резки металла с ЧПУ «STC PLASMA A2060»	11
1.4 Машина термической резки ASOIK Compact	17
2. Анализ комплектующих	21
2.1 Источники питания	21
2.1.1 Источники питания MC-C	22
2.1.2 Инверторный аппарат для воздушно-плазменной резки CUT 160 (J47)	24
2.1.3 Источник питания TRITON CUT 130 PN	26
2.2 Плазмотроны	31
2.2.1 Автоматический плазменный резак CSA 81 Сварог.....	31
2.2.2 Автоматический плазменный резак P-80P.....	32
2.2.3 Автоматический плазменный резак Autocut A 81P Trafimet, CA,.....	34
2.2.4 Автоматический плазменный резак CB-150M (CA).....	36
2.2.5 Автоматический плазменный резак Autocut AW 201P Trafimet	37
2.2.6 Автоматический плазменный резак Autocut S-105P Trafimet, CA	39
2.3 Технические характеристики газовых резаков.....	41
2.3.1 Автоматический газовый резак Gazcut HandyPipe	41
2.3.2 Автоматический газовый резак PCT-M.....	43
2.3.3 Автоматический газовый резак Messer MS 832	44
2.3.4 Автоматический газовый резак "Корд" РМЗ-200 Г	46
3. Разработка портальной машины плазменной резки с числовым программным управлением.....	48
3.1 Разработка и сборка портального плазменного стола	48
3.2 Компоненты систем с ЧПУ. Управляющая программа	56
3.2.1 Основные составляющие.....	56
3.2.2 Многоканальный драйвер шагового двигателя.....	62
3.2.3 Ethernet контроллер станка ЧПУ PLCM-E1b.....	65

3.2.4 PLCM-T1 / PLCM-T2 контроллер.....	66
3.2.5 Микрошаговый драйвер шагового двигателя PLD331	70
3.3 Настройка МАСНЗ	72
3.4 Общие затраты на конструирование портальной машины плазменной резки с ЧПУ	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	88

ВВЕДЕНИЕ

Появление во второй половине XX века первых станков с числовым программным обеспечением (ЧПУ) ознаменовало начало технологической революции в машиностроении. Значение этого события для дальнейшего развития производственных возможностей человечества и совершенствования окружающего нас материального мира трудно переоценить. Станки с ЧПУ можно поставить в один ряд с величайшими достижениями и открытиями в истории человечества – от появления первых каменных орудий труда, изобретения колеса и открытия электричества, до создания межпланетных космических летательных аппаратов

Необходимость создания более совершенных, точных и производительных станков, способных эффективно работать при минимальном участии человека, назрела давно. Но эта задача могла быть реализована только с появлением «умных» вычислительных систем. Которые способны работать по заранее составленной программе сами, и передавать управляющие команды на исполнительные механизмы подключенного к ним станка. Основными проблемами и задачами, которые должно было решить новое оборудование, использующее преимущества электроники и вычислительной техники, являлись:

- Возросшие требования по обеспечению точности изготовления деталей.
- Недостаточно высокая производительность труда специалистов – станочников.
- Нестабильность размеров деталей, которые изготовлены при участии человека.
- Неизбежность брака вследствие неизбежных ошибок человека, и связанных с этим дополнительных затрат.
- Высокая себестоимость продукции, обусловленная низкой производительностью труда и наличием брака.

— Необходимость приобретения и содержания большого станочного парка.

— Чрезмерные затраты на оплату труда большого количества станочников.

Как правило, если время ставит перед человечеством новые задачи, очень быстро находятся талантливые люди, которые их решают. Уже в первые послевоенные годы после окончания второй мировой, молодому американцу Джону Пэрсонсу удалось опыты по управлению фрезерным станком при помощи системы, в которой нужная последовательность операций была записана на перфокарты. Его устройство было несовершенным, но послужило отправной точкой для исследований ученых и инженеров Массачусетского технологического института. В 1952 году в институтской лаборатории сервомеханики был испытан станок, который управлялся программой, записанной на перфоленту. До технологического уровня, достаточного для промышленного внедрения, система управления не дотягивала. Но, в свою очередь, стала раздражителем и источником идей для начала изысканий специалистов профильных компаний. Которые профессионально занимались конструированием узлов металлообрабатывающих станков, и были более осведомлены в данной области.

Годом, который можно считать началом эры практического использования станков с числовым программным управлением, является 1955 год. Именно тогда американская компания Bendix Corporation начала серийно производить Numeric Control (NC) систему, успешно управлявшую работой фрезерного станка. В практическом внедрении новинки были заинтересованы ВВС США, так как станки с NC-управлением идеально подходили для точной обработки сложных поверхностей воздушных винтов вертолетов и самолетов.

1. Анализ установок термической резки листовых изделий на рынке

1.1 Плазменная резка

Металлообработка насчитывает значительный набор работ, однако наиболее незаменимым останется качественный раскрой металла. Далее возможна механическая обработка и получение конечного продукта из них.

Дополнительная механическая обработка может и не требоваться, т.е. детали могут сразу использоваться в последующих этапах производственного процесса. Как этого достичь? Ответ прост - для раскроя заготовок применить машину термической резки с программным управлением.

Понятие "термическая резка" знакомо каждому человеку, так или иначе связанному с металлоконструкциями либо изделиями из металла, а вот технологию процесса знают далеко не все. Между тем, понимание процесса дает возможность точнее спланировать все этапы изготовления изделия, например, необходимость и величину припусков на детали с последующей механической обработкой, а также время, требующееся на каждый этап изготовления. [1]

На сегодняшний день особое место заняла плазменная резка как высокопроизводительный и качественный способ раскроя листового металла.

Плазма - это полностью или частично ионизированный газ. В качестве газа обычно используется воздух или инертный газ.

Источником тепла для плазменной сварки и резки является искусственно сжатая (высококонцентрированная) дуга. Физическая концепция плазмы была предложена американским физиком и химиком Эрвингом Лангмьюром в 1923 году. Он назвал такое состояние газа, когда после отделения электронов от атомов, газ становится проводящим током. Энергия, необходимая для выброса электронов с орбиты, является теплотой электрической дуги. Сама дуга по существу является плазмой, но в данной

области техники этот термин используется только для обозначения внешне сжатой дуги. Сжатие электрической дуги увеличивает плотность энергии на единицу площади и очень сильно повышает температуру.

Раньше самым популярным методом резки стали была газовая резка. Плазменная резка в настоящее время все шире используется, и процесс плазменной резки значительно улучшился. В настоящее время плазменная резка намного быстрее, снижает эксплуатационные расходы, улучшает резку, резку и качество пустотелых изделий. Плазма режет быстрее, чем кислород, не нужно предварительно нагревать, ширина сечения мала, площадь теплового воздействия меньше, поэтому режущий металл не деформируется, слой краски, прилегающий к срезу, не повреждается.

Технология плазменной резки разработана более 50 лет назад. Первые установки плазменной резки появились в 60-е годы прошлого века. Громоздкие станки были настолько дороги, что приобретались только крупными предприятиями-промышленниками. [2]

1.2 Станок плазменной резки металла с ЧПУ «СК Старт 15-30»



Рисунок 1.1 - Станок плазменной резки металла с ЧПУ «СК Старт 15-30»

Станок «СК Старт 15-30» предназначен для воздушно-плазменной или кислородно-плазменной резки и вырезания сложных деталей из металлических листов или их отходов. Применяемый в составе станка аппарат является генератором плазмы, полученной путем нагрева в электродуге воздуха или кислорода до температуры ионизации.

Данная модель станка плазменной резки с ЧПУ относится к современному оборудованию с числовым программным управлением. Станок «Старт 15-30» предназначен для выполнения автоматизированной резки металла плазменным факелом. Он обеспечивает высокую точность реза, высокий коэффициент использования материала и высокую производительность. Благодаря небольшой массе станка при оптимальных размерах устанавливаемой заготовки, применению новейших электронных и компьютерных технологий при относительно низких капиталовложениях в оборудование, станок плазменной резки с ЧПУ «Старт 15-30» находит самое широкое применение в различных производствах.

Данный станок применяется как для кроя металлических листов, так и для вырезания плоских металлических деталей сложной формы. Станок используется для плазменной резки черных, легированных и цветных

металлов. Для передачи и хранения файлов предусмотрена очень удобная система: при помощи USB- интерфейса операторы могут записывать машинные файлы на жесткий диск компьютера пульта управления станком плазменной резки.

Устройство основных частей плазменного станка Старт 15-30

Станина

Станина является базовой сборочной единицей, на которой крепятся все остальные составляющие станка. Станина имеет сборно-сварную конструкцию и состоит из двух рамок, соединенных между собой двумя траверсами и двумя стяжками. На траверсах установлены

рельсовые направляющие, по которым по оси Y (большая ось) на опорных модулях перемещается портал. На концах траверс установлены корпуса подшипников с зубчатыми шкивами соединенные между собой плоским зубчатым ремнем, который жестко соединен с порталом. Сзади станка к траверсам крепится несущая балка, на которой расположен двигатель оси X соединенный двумя валами и соединительными муфтами с корпусами подшипников. Сверху на станину крепится рабочий стол.

Рабочий стол

Рабочий стол представляет собой конструкцию сварного типа, состоящую из рамки стола, перфорированного листа и уголков с пазами в которые вставляются сменные пластины. На сменные пластины устанавливается обрабатываемое изделие.

Портал

Портал состоит из балки, которая опирается на две боковины. По плоскости балки, на специальных направляющих перемещается модуль крепления плазменного резака (плазмотрона). Плоскость балки портала является осью X.

Модуль крепления плазменного резака

Держатель плазматрона представляет собой сборную конструкцию, состоящую из каретки и плиты. Каретка, с установленным на ней плазменным направляющим перемещается вертикально по оси Z.

Система дымоудаления

Система дымоудаления состоит из поддона для сбора шлака и вытяжной трубы Ø 203 мм жестко соединенных между собой. В поддоне имеются два люка для удаления грата. На выходном конце трубы расположен регулирующий дроссель.

Привод станка

Привод станка включает 3 шаговых двигателя, по одному на каждую ось, шкивы, а также зубчатые ремни и шарико-винтовую пару в качестве движителей портала и модуля крепления плазменного резака. Поступательное перемещение портала по оси Y (большая ось) осуществляется посредством зубчатого ремня, жестко соединенного с порталом специальными планками. Перемещение модуля крепления плазменного резака на портале, по оси X, осуществляется от шагового двигателя посредством зубчатого ремня жестко соединенного с модулем крепления. Вертикальное перемещение модуля крепления плазменного резака плазматрона (ось Z) осуществляется шаговым двигателем посредством шарико-винтовой пары. [3]

Основные технические данные и характеристики представлены на рисунке 1.2

Наибольшие размеры устанавливаемого листа, мм:	1560x3060
Максимальная толщина обрабатываемого листа, мм:	50
Наибольшие перемещения резака, мм:	
По оси X	1520
По оси Y	3010
По оси Z	150
Расстояние от уровня пола до поверхности рабочего стола, мм	800
Точность резки, мм	±0,5
Точность позиционирования, мм	±0,3
Максимальная скорость перемещения портала, мм/мин	10000
Скорость резки, мм/мин:*	400-4000
Давление режущего газа, МПа мин/макс *	0,7 /1,0
Расход сжатого воздуха, л/мин *	480
Количество суппортов, шт.	1
Максимальная масса станка, кг	400

Рисунок 1.2 - Основные технические данные и характеристики

Цена: 1 150 000 рублей

1.3 Станок плазменной резки металла с ЧПУ «STC PLASMA A2060»



Рисунок 1.3 - Станок «STC PLASMA A2060»

Станки термической резки марки STC PLASMA являются машинами портального типа. Основаниями машины являются алюминиевые профили, на которых установлены две рельсовые направляющие. По направляющим в продольном направлении (ось X) перемещаются каретки, на которых установлены электродвигатели с планетарными редукторами и зубчатыми колесами на их выходных валах, обеспечивающие перемещение всего портала в поперечном направлении. Зубчатые колеса находятся в зацеплении с зубчатой рейкой, установленной на алюминиевые профили по средствам прижимного механизма. Эти зубчато-реечные передачи обеспечивают движения машины соответственно по осям X и Y зависимости от типа Вашей машины. На портале установлена каретка перемещения по оси Y к которой прикреплен механизм перемещения резака по высоте (ось Z) и механизм проверки уровня поверхности материала. Подвод питания к электродвигателям осуществляется по кабелеукладчикам. Ограничение перемещения каретки и траверсы осуществляется жесткими упорами и концевыми выключателями датчиками механического типа. [4]

Электрооборудование

Питание машины осуществляется от стабилизированной однофазной сети переменного тока напряжением 220В, 50Гц.

Общее включение и отключение силового питания осуществляется выключателем, расположенным на панели шкафа или консоли автоматики.

Приводы подач координат “X”, “Y” и “Z” осуществляются от шаговых двигателей, управляемых от блока управления.

Электрическая схема и система ЧПУ обеспечивают следующие рабочие функции

машины:

- перемещение узлов машины по координатам “X”, “Y” и “Z” с регулированием скорости перемещения,
- включение и выключение дуги,
- подачу газов и управление факелом (если есть в комплектации Вашего станка).

Контроль крайних положений перемещения по координатам осуществляется конечными выключателями, при наезде на любой из них происходит отключение питания ШД.

При работе на машине и обслуживании электрооборудования необходимо соблюдать правила технической эксплуатации и техники безопасности электроустановок потребителями.

Корпуса машины, шкафа или консоли должны быть заземлены согласно действующим правилам и нормам.

Таблица 1 - Технические характеристики и основные параметры.

Наименование параметра	Марка станка			
	STC PLASMA A2030	STC PLASMA A2060	STC PLASMA A2060G	STC PLASMA W1630
Размер рабочего поля	2050мм*3120 мм *200мм	2050мм*6240 мм *200мм	2050мм*6240 мм *200мм	1650мм*3120 мм *200мм
Внешние габариты	3600мм*3350 мм *1400мм	6720мм*3350 мм *1400	6720мм*3350 мм *1800	3520мм*2510 мм *1250мм

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	STC PLASMA A2030	STC PLASMA A2060	STC PLASMA A2060G	STC PLASMA W1630
Габариты обрабатываемых Листов	2000мм*3000мм	2000мм*6000мм	2000мм*6000мм	1500мм*3000мм
Точность, конусность и шероховатость реза по ГОСТ 14792-80 - для плазменной и газопламенной резки	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс
Количество суппортов резаков	1 плазменный	1 плазменный	1 плазменный 1 газовый	1 плазменный
Продолжительность включения, ПВ, %, по ГОСТ 183-74	S1 (100%)	S1 (100%)	S1 (100%)	S1 (100%)
Тип привода по XYZ	Шаговый двигатель с прецизионным планетарным редуктором			
Направляющие по XYZ	Прецизионные профильные направляющие	Прецизионные профильные направляющие	Прецизионные профильные направляющие)	Прецизионные профильные направляющие

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	STC PLASMA A2030	STC PLASMA A2060	STC PLASMA A2060G	STC PLASMA W1630
Способ передачи крутящего момента по XY	Безлюфтовая передача. Зубчатая рейка с механизмом прижима зубчатой шестерни.	Безлюфтовая передача. Зубчатая рейка с механизмом прижима зубчатой шестерни.	Безлюфтовая передача. Зубчатая рейка с механизмом прижима зубчатой шестерни.	Безлюфтовая передача. Зубчатая рейка с механизмом прижима зубчатой шестерни.
Способ передачи крутящего момента по Z	Безлюфтовая передача. Зубчатый ремень.	Безлюфтовая передача. Зубчатый ремень.	Безлюфтовая передача. Трапециевидный винт.	Безлюфтовая передача. Зубчатый ремень.
Способ удаления продуктов резки	Вытяжной секционный стол с электронной системой управления клапанами.	Вытяжной секционный стол с электронной системой управления клапанами.	Вытяжной секционный стол с электронной системой управления клапанами.	Водный стол с высокой адсорбцией продуктов горения. Также обеспечивает сохранение низких температур
Проходной диаметр вытяжного стола	350мм	350мм	350мм	-
Скорость перемещения по XY	18м/мин	18м/мин	18м/мин	18м/мин
Скорость перемещения по Z	5м/мин	5м/мин	4м/мин	5м/мин

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	STC PLASMA A2030	STC PLASMA A2060	STC PLASMA A2060G	STC PLASMA W1630
Рабочие ускорения по XY	1м/с ²	1м/с ²	1м/с ²	1м/с ²
Дискретность перемещений по XYZ в режиме полного шага	0,01мм	0,01мм	0,01мм	0,01мм
Драйвера шаговых приводов	Цифровые драйвера	Цифровые драйвера	Цифровые драйвера	Цифровые драйвера
Контроль высоты резки	Определение начальной высоты в точке прокола с помощью оптического датчика в качестве основного и резервного механического. Контроль высоты резки по напряжению дуги во время реза.	Определение начальной высоты в точке прокола с помощью оптического датчика в качестве основного и резервного механического. Контроль высоты резки по напряжению дуги во время реза.	Определение начальной высоты в точке прокола с помощью оптического датчика в качестве основного и резервного механического. Контроль высоты резки по напряжению дуги во время реза.	Определение начальной высоты в точке прокола с помощью оптического датчика (устанавливается опционально) и механического. Контроль высоты резки по напряжению дуги во время реза.
Дискретность контроля по напряжению дуги	0,25В	0,25В	0,25В	0,25В

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	STC PLASMA A2030	STC PLASMA A2060	STC PLASMA A2060G	STC PLASMA W1630
Полная масса станка	~2150Кг	~4100Кг	~4200Кг	~2100Кг (Сухая 1250кг)
Потребляемая мощность, Вт	1100	1100	1100	1100
Обслуживающий персонал, чел.	1	1	1	1
Пульт управления	Терминальная стойка	Терминальная стойка	Терминальная стойка	Терминальная стойка
Степень защиты от попадания пыли и воды по ГОСТ 2479	IP23	IP23	IP23	IP23

Цена: 2 160 000 рублей

1.4 Машина термической резки ASOIK Compact



Рисунок 1.4 – Машина термической резки ASOIK Compact

Машина термической резки Compact объединяет в себе наиболее распространенные и востребованные на сегодняшний день виды резки листового металла. Установка отлично зарекомендовала себя при раскросе как черного, так и цветного металла толщиной от 1 мм до 80 мм благодаря комбинации двух видов резки. Облегченная портальная машина с ЧПУ для воздушно-плазменной и газокислородной резки металла ASOIK Compact:

Основные преимущества станка для резки металла ASOIK Compact:

- Двухсторонний привод станка с тщательно продуманными приводными узлами обеспечивает стабильный, плавный ход во всём диапазоне рабочих скоростей, за счет чего обеспечивается отличное качество кромки детали.
- Промышленное жесткое исполнение. Раздельный станок и стол. Такая компоновка увеличивает срок службы машины.
- Простой и удобный интерфейс ЧПУ. Простой в освоении алгоритм раскроя металла.
- Встроенная библиотека стандартных деталей.

- Кабели и шланги защищены кожухами и кабель-каналами, за счет чего станок стабильно работает годами.
- Высокая точность позиционирования — 0,5 мм/метр.
- Стабильная точность позиционирования резака по всей рабочей зоне.
- Отличное соотношение цена/качество и короткий срок окупаемости.
- Программное обеспечение для создания карт раскроя идет в комплекте со станком.
- Вариативность исполнения.

Комплектация:

- блок автоматической регулировки высоты резака с системой слежения по напряжению дуги, а также с омическим датчиком для плазменной резки (демонстрация работы по ссылке>>>), либо с емкостным датчиком для газокислородной резки. Такие блоки позволяют в процессе резки без вмешательства оператора компенсировать неровности листа и изменение толщин раскраиваемых листов. На станок можно установить 2 таких блока — для каждого вида резки.
- комплект лицензионного программного обеспечения FastCam, Техтран, либо ProNest на русском языке. Программа устанавливается на ПК и служит для создания раскладок деталей по площади листа;
- резак для газокислородной резки GCE Krass (Чехия);
- стальная рама для установки станка.
- под конкретные задачи подбирается оптимальный источник плазменной резки, если подходящий источник уже есть, то мы адаптируем его к машине

Таблица 1.1 - Технические характеристики машины термической резки с ЧПУ ASOIK Compact

Тип привода	Шаговые двигатели постоянного тока с обеих сторон портала
Ширина рабочей зоны, мм	от 1600 до 2200
Длина рабочей зоны	от 3000 до 12000
Точность позиционирования	0,5мм/1м
Скорость перемещения на холостом ходу, мм/мин	до 8000
Тип реза	Плазма/газ
Толщина реза, мм	1—80
Напряжение питания	220В/50Гц
Потребляемая мощность	600 Вт

Цена: 1 600 000 руб.

На базе организации ООО «ССДЦ «Дельта» изготавливают различные металлоконструкции, изделия, заготовки различных форм. Для повышения качества и точности изготовления заготовок, требуется станок плазменной резки с числовым программным управлением. Так как организация ООО «ССДЦ «Дельта» является малым предприятием, это очень проблематично приобрести уже готовую, полноценную машину плазменной резки с ЧПУ, так как цена на новую машину очень высока.

Таким образом, целью магистерской диссертации является: снижение себестоимости термической резки в условиях ООО «ССДЦ «Дельта» за счет разработки и изготовления машины плазменной и газокислородной резки.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Проведен анализ и выбраны оптимальные по техническим возможностям и стоимости, комплектующие для автоматической установки газокислородной и плазменной резки, такие как источник питания, плазматрон, автоматическая газовая горелка;
- Разработана конструкция и изготовлена установка с ЧПУ газокислородной и плазменной резки в условиях ООО «ССДЦ «Дельта»».
- Отработаны режимы плазменной и газокислородной резки на изготовленной установке в условиях ООО «ССДЦ «Дельта»».

2. Анализ комплектующих

2.1 Источники питания

Источники питания для воздушно-плазменной резки предназначены для резки металлов и сплавов путем их расплавления и дальнейшего выдува из зоны реза расплавленного металла струей сжатого воздуха. Расплавление металла обусловлено энергией сжатой дуги (называемой плазмой).

На процесс плазменной резки влияют множество факторов:

- Качество изготовления и точность геометрии рабочей пары «катод-сопло».
- Качество сжатого воздуха. Несмотря на то, что практически все установки снабжены фильтром тонкой очистки, добавление еще одной ступени очистки только улучшит качество резки.
- Непосредственно сама установка плазменной резки. Несмотря на обилие представленных на отечественном рынке установок, сконструированных по трансформаторной схеме, все они обладают определёнными недостатками: требуют мощных и небезопасных осцилляторов для надёжного «пробоя» дугового промежутка; обладают очень высокой степенью инертности при возникающих возмущениях (например, когда дуга обрывается); большими габаритами и массой.

2.1.1 Источники питания МС-С



1 - источник питания МС - 120С; 2 - источник питания МС - 160С; 3 - источник питания МС - 200С

Рисунок 2.1 - Источники питания МС - С

Всех этих недостатков лишены инверторные установки серии «МС-С». Суть заключается в частоте выпрямленного тока и элементной базе, на которой выполнены эти аппараты.

Осциллятор, получающий питание от высокой частоты, не требует дополнительных устройств для его «раскачки», поэтому он мал в габаритах, а самое главное, более надёжен при поджиге дуги и практически не капризен к чистоте воздуха.

Кроме того, кривая, полученная при выпрямлении от обычных трансформаторов, несмотря на сглаживающие фильтры, имеет провалы по току и напряжению, а это значит, что во время этих провалов плазма теряет свою энергию. Именно этим объясняются шероховатые линии реза на стенках разрезанных деталей. При выпрямлении тока на высокой частоте, таких провалов не наблюдается, поэтому дуга не теряет связь с разрезаемыми кромками, рез идёт очень уверенно, а, практически вся энергия плазмы тратится на разрезание металла. Поэтому рез получается очень чистым, скорость резки выше, а потери в сети – минимальны.

Источники имеют небольшую массу и габариты, обеспечивающие применение этих аппаратов в самых различных производственных условиях максимально мобильно и удобно.

Технические характеристики приведены на Рисунке 2.2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	МС-120С	МС-160С	МС-200С
Напряжение питающей сети, В	~3х380 ±10%	~3х380 ±10%	~3х380 ±10%
Потребляемый ток, А	26	37	54,7
Потребляемая мощность, кВА	16	26	40
Напряжение холостого тока, В	270	345	345
Регулировка тока, А	20-100	30-120	30-200
Рабочее напряжение, В	120	128	160
Способ возбуждения дуги	бесконтактный	бесконтактный	бесконтактный
Частота питающей сети, Гц	50	50	50
Максимальная толщина резки, мм	до 25	до 30	до 55
Расход сжатого воздуха, л/мин	200	250	380
Максимальное давление воздуха, МПа	6	6	0,6
Минимальное давление воздуха, МПа	3	3	0,4
Вид охлаждения	Воздушное	Воздушное	Водяное
Степень защиты / Класс изоляции	IP21/В	IP21/В	IP21/В
Габариты источника питания, мм	570 x 300 x 510	600 x 310 x 560	615 x 380 x 546
Масса источника питания, кг	38	45	58
ЦЕНА, доллар США (с НДС)	3 119	3 770	4 212

Рисунок 2.2 – Технические характеристики

2.1.2 Инверторный аппарат для воздушно-плазменной резки CUT 160 (J47)

Инверторный аппарат для воздушно-плазменной резки CUT 160 (J47) позволяет проводить быструю резку любых токопроводящих материалов: нержавеющей и оцинкованной стали, алюминия, меди, латуни и т.д. Для осуществления процесса резки не используются горючие газы и баллоны с кислородом, а только сжатый воздух под давлением. Это делает процесс резки металла взрывобезопасным и доступным для широкого применения.

Аппарат воздушно-плазменной резки CUT 160 (J47) обладает классом защиты IP21S. Это означает, что корпус аппарата отвечает следующим требованиям:

- Защита от проникновения внутрь корпуса пальцев и твердых тел диаметром более 12 мм.
- Капли воды, падающие вертикально, не оказывают вредного воздействия на изделие.

Технические характеристики приведены в Рисунке 2.3

Наименование параметра	Единица измерения	CUT 160 (J47)
Напряжение питающей сети	В	380 ± 15
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВА	29
Потребляемый ток, А	А	44
Диапазон регулирования тока реза	А	30 – 160
Ток при ПН 100%	А	123
ПН (40°С)	%	60
Способ возбуждения дуги		высоочастотный
Скорость подачи сжатого воздуха	л/мин	350
Номинальное давление компрессора	МПа	0,7
Напряжение холостого хода	В	285
Максимальная толщина разрезаемого металла	мм	55
Кoeffициент мощности		0,8
КПД	%	88
Класс изоляции		F
Степень защиты	IP	21S
Габаритные размеры	мм	610 x 325 x 575
Масса	кг	50

Рисунок 2.3 – Технические характеристики источника Сварог CUT 160

Описание аппарата, вид спереди представлен на Рисунке 2.4 и вид сзади на Рисунке 2.5



1 - Панель управления; 2 - Ручка для транспортировки; 3 - Проушина для переноски; 4 - Разъём подключения плазмотрона; 5 - Разъём подключения обратного кабеля ОКС35-50; 6 - Колеса.

Рисунок 2.4 – Внешний вид спереди



7 - Вход сжатого воздуха; 8 - Вентиляционные отверстия; 9 - Регулятор давления; 10 - Крепление фильтра-регулятора; 11 - Тумблер включения; 12 - Сетевой кабель; 13 - Крепление провода заземления.

Рисунок 2.5 – Внешний вид сзади

Цена: 191 000 рублей

2.1.3 Источник питания TRITON CUT 130 PN



Рисунок 2.6 – Источник питания TRITON CUT 130 PN

В линейке воздушно-плазменных аппаратов компании TRITON, модель CUT 130 PN занимает промежуточное значение между топовыми моделями с водяным охлаждением CUT 160 HF W, и CUT 200 HF W, и профессиональными аппаратами CUT 70 PN и CUT 100 PN CNC. Глубина раскроя достигает 57 миллиметров, при этом максимальная производительность достигается при работе с металлами толщиной до 36 мм. Функция «Пневмоподжига», режим 2Т/4Т, технология «Soft Switch», эффективное охлаждение и функция POST GAS позволяют обеспечить идеальный рез различных изделий из металлов. Отличная мобильность аппарата, питание 380 В, удобное управление, высокий уровень защиты и безопасности, гарантия на 2 года, наряду с высокими техническими показателями обеспечили популярность TRITON CUT 130 PN на производственных объектах, в судостроительной и автомобильной отрасли.

Передовая технология «мягкой коммутации», которая реализована в CUT 130 PN, позволяет обеспечить ряд преимуществ. Благодаря функции Soft Switch коммутация IGBT транзисторов Siemens осуществляется со смещением фаз. При этом происходит снижение тепловых потерь в широком рабочем диапазоне плазменной дуги. Кроме этого, сокращается нагрев транзисторов, повышается их срок службы и надежность аппарата. Функция Soft Switch позволяет добиться высокую стабильность цикла раскроя даже в условиях интенсивной нагрузки в сложных условиях эксплуатации.

Возгорание факела осуществляется за счет технологии «Пневмоподжига». При этом, как только начинается подача сжатого воздуха на горелку, внутри плазматрона будет происходить возгорание дуги. Электрод, за счет потока воздуха поднимается внутри горелки, а опускаясь, будет замыкать цепь внутри горелки. В результате процесс возгорания факела осуществляется без прямого контакта с раскраиваемым металлом. Благодаря этому не происходит загрязнение плазматрона, также резчик получает возможность приступить к раскрою загрязненного металла, со слоем краски на поверхности или ржавчины. Отсутствие в момент возгорания факела высокочастотных импульсов позволяет применять TRITON CUT 130 PN для работы в современных портальных станках с ЧПУ. При этом исключаются помехи на высокоточное электронное оборудование. Вместе с аппаратом рекомендуется использовать плазменный резак STM-120.

Диапазон тока раскрою в аппарате TRITON CUT 130 PN составляет 20-130 А, что позволяет резчику выбирать наиболее оптимальную величину для работы с металлами разной толщины. За счет высокотемпературной стабильной плазменной дуги формируется идеальный раскрой металла с правильными кромками. При этом практически не требуется доработка металла, что позволяет его сразу же использовать для дальнейшей обработки. Максимальная производительность, при работе с устройством, достигается при раскросе металлов толщиной до 36 миллиметров, при этом за 1 минуту длина реза будет составлять не менее 500-600 миллиметров. Стоит отметить, что при установке тока 130 А, показатель ПВ будет на уровне 60%, а при установке 100 А – ПВ 100%. Благодаря этому гарантируется высокая производительность и безотказность TRITON CUT 130 PN даже при работе в особо сложных производственных условиях. [10]

На фронтальной панели TRITON CUT 130 PN можно выбрать два режима работы плазматрона 2Т/4Т. При этом в результате чего достигается не только оптимальная производительность и качественный раскрой, но и

снижается нагрузка на руки резчика. При режиме 2Т можно получить короткий аккуратный рез при работе с небольшими заготовками. Цикл раскроя будет продолжаться, если резчик удерживает кнопку на плазматроне. Чтобы завершить цикл реза достаточно отпустить кнопку, и далее автоматически дуга погаснет. Режим 4Т станет особенно полезным для выполнения длинного реза металлических заготовок при ручном раскрое. При активации режима 4Т возгорание факела будет происходить при кратковременном нажатии кнопки на плазматроне, после этого дуга будет автоматически гореть на заданных параметрах. Чтобы завершить цикл раскроя, резчику достаточно повторно кратковременно нажать кнопку на плазматроне.

Технология «финишной продувки» позволяет снизить перегрев расходных материалов, и очистить зону раскроя после отключения факела. Таким образом, повышается качество реза и ресурс расходников. Активация функции Post Gas в TRITON CUT 130 PN происходит в автоматическом режиме.

Для выбора величины тока раскроя используется всего один регулятор, который работает в паре с цифровым дисплеем. Таким образом резчик получает возможность настроить ток раскроя с шагом всего 1 А для достижения идеального раскроя. Удобная сенсорная кнопка выбора режима 2Т/4Т расположена возле светодиодных индикаторов «Сеть», «Перегрузка», «Перегрев».

Инверторный аппарат TRITON CUT 130 PN подключается к трехфазным сетям 380 В. Это обеспечивает дополнительную стабильность в работе.

Предусмотренные рым-болты, удобные транспортировочные колеса и ручки, позволяют быстро транспортировать TRITON CUT 130 PN.

Благодаря модульной конструкции основных элементов инвертора, гарантируется быстрый и несложный процесс замены или ремонта

вышедших из строя элементов. При этом не требуется менять всю дорогостоящую плату целиком.

Электронные компоненты внутри TRITON CUT 130 PN покрыты защитным слоем лака, кроме этого, воздушные каналы охлаждения полностью изолированы от плат. Благодаря этому все это повышается надежность инвертора, снижается образование пыли на электронных компонентах. Монтажные ножки IGBT транзисторов покрывают термостойкими силиконом, что позволяет исключить пробой. Боковая стенка корпуса покрывается диэлектриком, чтобы в случае случайного удара крышка корпуса не закоротила силовые элементы. На данную модель предоставляется гарантия на 5 лет.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.1

Таблица 2.1 - Технические характеристики

Входное напряжение	380 В 15
Входная мощность	26.09 kVa
Напряжение Холостого Хода	390 В
Диапазон выходного напряжения	90-145 В
ПВ на максимальном токе	60 %
Габаритные размеры (Д*Ш*В)	680x310x650 мм
Вес	45 кг
КПД	85 %
Максимальная толщина реза	57 мм
Ток резки	20-130 А

Цена: 165 000 рублей

Основная часть источников питания для воздушно-плазменной резке представлена в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Источники питания для воздушно-плазменной резки

Внешний вид						
Марка источника	Selma UVPP-120	HELVI DIGICUT X45	ПУРМ 180М	Свароз CUT 160 (U47)	HELVI PC 123 Италия	Powermax 105 (CPC, RS 485)
Напряжение питания, В.	3ф/380 (50/60Гц)	230-400 (50/60Гц)	3ф/380 (50/60Гц)	3ф/380 (50/60Гц)	3ф/380 (50/60Гц)	3ф/380 (50/60Гц)
Потребляемая мощность, кВа.	32	25	30	29	17	20
Напряжение холостого хода, В.	300	280	280	275	290	280
Диапазон регулирования тока, А.	40-120	10-150	160-180	30-160	15-100	30-105
ПВ %	60 %	ПВ 40% 150 А ПВ 100% 90 А	ПВ 100% 160 А	ПВ 100% 120 А	60 %	ПВ 100% 94 А
Максимальная толщина, мм.	35	45	55	60	40	32
Тип поджига дуги	осцилятор	осцилятор	осцилятор	осцилятор	Пневма	Пневма
Работа в системе ЧПУ	Нет	Опция	Нет	Нет	Встроенная	Встроенная
Конструкция источника	Трансформатор	Трансформатор	Трансформатор	IGBT	IGBT	IGBT
Габариты мм.	660x520x900	710x551x856	600x500x970	610x325x575	600x400x515	592x274x508
Вес кг.	155	190	250	50	38,5	41
Цена руб.	119.545	168.200	254.880	118.500	290.100	438.121

Анализируя достаточное количество источников питания для плазменной резки, было принято решение о приобретении источника питания TRITON CUT 130 PN. Решение принималось исходя из цена-качество и его технических характеристик.

2.2 Плазмотроны

2.2.1 Автоматический плазменный резак CSA 81 Сварог



Рисунок 2.7 - Автоматический плазменный резак CSA 81 Сварог.

Предназначен для использования в аппаратах воздушно-плазменной резки CUT 100 - 160 IGBT.

Применяется в составе порталных установок ЧПУ для плазменной резки металла толщиной до 23 мм.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.3

Таблица 2.3 – Технические характеристики автоматического плазменного резака CSA 81 Сварог

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Ток при ПВ 100%, А	80
Способ возбуждения дуги	высокочастотное
Охлаждение	воздушное
Объем подачи воздуха, л/мин	160
Расход газа, л/мин	110
Давление воздуха, атм	4,5 - 5,0
Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	6
Центральный разъем (СА)	да
Масса, кг	2,7

Цена: 19 439 руб.

2.2.2 Автоматический плазменный резак Р-80Р



Рисунок 2.8 - Автоматический плазменный резак Р-80Р

Горелка Р-80Р (механическая, машинная или автоматическая) предназначена для работ по резке металла на портальных установках, в составе ЧПУ, от источников воздушно-плазменной резки с ВЧ-поджигом и током резки до 70-80 Ампер. Способ возбуждения дуги - высокочастотный, или НФ. В стандартном варианте горелка поставляется с разъемом М 16 х 1,5. По заявке Заказчика возможна поставка горелки с центральным разъемом СА, при этом стоимость горелки увеличиться на 1300 руб.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.4
Таблица 2.4 – Технические характеристики автоматического плазменного
резака Р-80Р

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Максимальный ток резки, А	100
Ток при ПВ 60%, А	100
Ток при ПВ 100%, А	75
Расход воздуха, л/мин	200
Давление, бар	5
Охлаждение	воздушное
Способ возбуждения дуги	ВЧ
Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	10
Разъем	М 16*1,5
Страна производства	КНР

Цена: 7 850 руб.

2.2.3 Автоматический плазменный резак Autocut A 81P Trafimet, СА,



Рисунок 2.8 - Автоматический плазменный резак Autocut A 81P Trafimet

Автоматический плазменный резак А 81Р бренда Trafimet (Италия) применяется в комплекте с аппаратами воздушно-плазменной резки металлов со сварочным током до 80-100 А.

Серия А, включающая резаки с высокочастотным поджигом от 50 до 200 ампер, является оптимальным решением для плазменной резки с применением традиционных источников. А также подсоединения их, резаков, к большинству источников благодаря центральному адаптеру (или СА). Предназначен для плазменной резки металла толщиной до 25 мм на аппаратах в составе с системой ЧПУ.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.5

Таблица 2.5 - Технические характеристики автоматического плазменного резака Autocut A 81P Trafimet

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Максимальный ток резки, А	80
Ток при ПВ 60%, А	80
Ток при ПВ 100%, А	60
Расход воздуха, л/мин	155
Давление, бар	4
Охлаждение	воздушное
Способ возбуждения дуги	высокочастотный
Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	6
Разъем	СА
Страна производства	Италия

Цена: 27 203 руб.

2.2.4 Автоматический плазменный резак СВ-150М (СА)



Рисунок 2.9 - Автоматический плазменный резак СВ-150М (СА)

Технические характеристики представлены в Таблице 2.6

Таблица 2.6 - Технические характеристики автоматического плазменного резака СВ-150М (СА)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Максимальный ток резки, А	140
Ток при ПВ 60%, А	140
Ток при ПВ 100%, А	100
Расход воздуха, л/мин	230
Давление, бар	5
Охлаждение	воздушное
Способ возбуждения дуги	ВЧ
Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	12м
Разъем	СА
Страна производства	КНР

Цена: 25 673 руб.

2.2.5 Автоматический плазменный резак Autocut AW 201P Trafimet



Рисунок 2.10 - Автоматический плазменный резак Ergocut AW 201

Автоматический плазменный резак AW 201P с водяным охлаждением бренда Trafimet (Италия) применяется в комплекте с аппаратами воздушно-плазменной резки металлов с нагрузкой тока до 180 - 200 А.

Серия А, включающая резаки с высокочастотным поджигом от 50 до 200 ампер, является оптимальным решением для плазменной резки с применением традиционных источников. Модель Ergocut AW 201 была разработана на основании горелки PW 180 с новой системой водяного охлаждения, обеспечивающей отличную производительность в процессе резки материалов большой толщины. А также подсоединения их, резаков, к большинству источников благодаря центральному адаптеру (или СА). Предназначен для плазменной резки металла толщиной до 40 - 50 мм.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.7

Таблица 2.7 - Технические характеристики автоматического плазменного резака Ergocut AW 201

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Максимальный ток резки, А	200
Ток при ПВ 100%, А	200
Расход воздуха, л/мин	50
Давление, бар	4,0
Охлаждение	водяное
Давление жидкости, бар	2,0 - 4,0
Расход жидкости, л/мин	1,45
Способ возбуждения дуги	высокочастотный
Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	12
Разъем	СА
Страна производства	Италия

Цена: 86 339 руб.

2.2.6 Автоматический плазменный резак Autocut S-105P Trafimet, CA



Рисунок 2.11 - Автоматический плазменный резак Autocut S-105P Trafimet

Автоматический плазменный резак S-105P бренда Trafimet (Италия) применяется в комплекте с системами ЧПУ и аппаратами воздушно-плазменной резки металлов со сварочным током до 100 А.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.8

Таблица 2.8 - Технические характеристики автоматического плазменного резака Autocut S-105P Trafimet

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:	
Максимальный ток резки, А	100
Ток при ПВ 60%, А	100
Ток при ПВ 100%, А	70
Расход воздуха, л/мин	180
Давление, бар	4,0
Охлаждение	воздушное
Способ возбуждения дуги	пневмоподжиг

Продолжение таблицы 2.8

Комплектность	
Плазматрон, шт	1
Шлейф, м	12
Разъем	СА
Страна производства	Италия

Цена: 41 875 руб.

Анализируя различные автоматические резаки для плазменной резки, было принято решение о приобретении автоматического плазменного резака STM - 120. Решение принималось исходя из средней цены, хорошего качества сборки, и условий эксплуатации плазменного резака.

2.3 Технические характеристики газовых резаков

2.3.1 Автоматический газовый резак Gazcut HandyPipe



Рисунок 2.12 - Автоматический газовый резак Gazcut HandyPipe

Работа газового резака Gazcut HandyPipe заключается в следующем - линия реза металла нагревается пламенем до температуры горения, а затем нагретая область сжигается кислородом. Автоматический газовый резак Handy Auto может таким образом делать рез по прямой, по кривой и по линии конуса. Также машина справляется с резкой балок, отверстий и кольцевыми резами.

Характеристики и преимущества:

- Позволяет производить рез из всех позиций резки;
- Могут использоваться все горючие газы.
- Высокое качество резания – безопасные и долговечные наконечники прилагаются в комплектации к каждому аппарату.
- Прост в использовании.

— Превосходный дизайн и качество наконечника обеспечивает быстроту, плавное резание.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.9

Таблица 2.9 - Технические характеристики автоматического газового резака Gazcut HandyPipe

Толщина разрезаемого металла, мм		3 - 15	15 - 30
Мундштук газосмесительный пропан (П) / метан (М)		PNME 1/32	PNME 1/64
Давление на входе, кгс/см ²	кислорода	2,5 - 3,5	3,5 - 4,0
	пропана метана	0,4 - 1,5	
Расход, м ³ /ч не более	кислорода	5,8	
	пропана метана	0,49	
Присоединительная резьба штуцеров	кислорода	M16 × 1,5	
	пропана метана	M16 × 1,5LN	
Скорость реза, мм/мин		150 - 350	
Диаметр вырезаемых отверстий, мм		5 - 500	
Перемещение резака		ручное по детали	
Привод перемещения		электропривод, 220В	
Масса резака, кг не более		3,5	
Длина резака, мм не более		500	

Цена: 28 615 руб.

2.3.2 Автоматический газовый резак РСТ-М



Рисунок 2.13 - Автоматический газовый резак РСТ-М

Чрезвычайно легкий и удобный машинный резак РСТ-М (3 вентеля) для резки различных сталей. Толщина реза до 300 мм.

Технические характеристики представлены в Таблице 2.10

Таблица 2.10 - Технические характеристики автоматического газового резака

Технические характеристики резака РСТ-М	
Толщина разрезаемого металла	до 300мм
Применяемый горючий газ	пропан (П)
Диаметр присоединяемого рукава, мм	9/9
Длина резака, мм	320
Вес резака, кг	1,15

Цена: 3 498 руб.

2.3.3 Автоматический газовый резак Messer MS 832



Рисунок 2.14 - Автоматический газовый резак Messer MS 832

ООО "Торговая марка "ТАВР" официальный представитель MESSER в Крыму предлагает к использованию на машинах термической резки зарубежного и отечественного производства газокислородные резаки фирмы «MESSER Cutting & Welding». Настоящие резаки позволяют выполнять высококачественный раскрой листового проката из низкоуглеродистых сталей толщиной до 300 мм, используя газы-заменители ацетилена (пропан, метан, МАФ). Применение резаков серии 832 на машинах «Комета», «Кристалл», АСШ и др. значительно улучшает качество обработанной поверхности, повышает производительность и резко снижает уровень шума.

Используемые с данными резаками составные газорезающие мундштуки позволяют получить оптимальные ширину и качество реза при соблюдении рекомендаций производителя. Уменьшение зоны термического влияния, снижение коробления и поводов вырезанных изделий – результат высокой скорости резки, которая достигается применением предлагаемых резаков. Стойкость (продолжительность эксплуатации) предлагаемых

газорежущих мундштуков на порядок выше любых отечественных, за счет использования специальных термостойких материалов и высококачественного хромирования. [11]

- Резак имеет три разъема для подключения шлангов.
- Для щелевых сопел.
- Зажимной диаметр - 32 мм.
- Диапазон резки - до 300 мм.

Для аппаратов для кислородной резки конструкционных серий MINISEC, SECATOR, CORTA, STATOSEC, MULTISEC, OMNIMAT, SICOMAT, CORTINA, SANCUT, COMCUT, EASYTHERM.

СИСТЕМА MS 832

- Резак MS 832 оснащён дроссельными вентилями и клапанами обратного удара
- Сопла для любых горючих газов
- Шланги подачи газов – класса NFPA
- Регулировочное оборудование
- Держатели резаков устанавливаются на все типы установок для резки

Цена: 20 752 руб.

2.3.4 Автоматический газовый резак "Корд" РМЗ-200 Г



Рисунок 2.15 - Автоматический газовый резак "Корд" РМЗ-200 Г

На данное время компания «Трейдаконс» поставляет широкий ассортимент продукции, которая востребована как профессионалами, так и потребителями. Среди газосварочного оборудования следует отметить резаки машинные безвентильные Корд РМЗ 300, которые предназначены для оборудования металлорежущих машин. Как правило, для машинной резки металла используют резаки с внутрисопловым смешением газа и кислорода. Резак машинный РМЗ 300 очень трудоемко в изготовлении и применяется только на газорезущих машинах, которые имеют программное управление. Без вентильный резак машинный РМЗ 300 используются с вынесенными узлами регулирования.

Резаки для машинного типа резки металла РМЗ 300 устанавливают при машинах для осуществления кислородной резки. Они отличаются прямолинейной конструкцией. Все основные детали конструкции – корпус, головка, газоподводящие трубки устанавливаются в вертикальном положении, так как это необходимо для рабочего положения резака устройства. Резак машинный РМЗ 300 выпускается с речно-зубчатым механизмом, который необходим для установки на высоте мундштука непосредственно перед началом резки.

Безвентильный резак серии РМЗ 300 с сопловым смешиванием газов применяют для газорезательных машин типа АСШ, Микрон, Орбита, Радуга,

Спутник, Искра, Комета, Гугарк, Кристалл, Комета. Его применяют для полуавтоматической и автоматической кислородной резки металла, такого как низколегированная и углеродистая сталь с толщиной до 350 мм. Если вам необходимо купить без вентиляционный машинный резак серии РМЗ 300, то вы должны знать, что производитель поставляет оборудование с внутренними мундштуками 1Р, 2Р, 3Р, а также наружной гильзой 1Р. По требованию заказчика резак машинный может быть укомплектован следующими сварочными атрибутами: смесителем, наружным мундштуком 2Р, внутренними мундштуками 0Р, 4Р, 5Р, 6Р, рейкой. [12,13,14]

Цена: 7 670 руб.

Основные параметры, цена и толщина разрезаемого металла, указаны на рисунке 2.16

Марка резака	Внешний вид	Рабочий газ	Максимальная толщина разрезаемого металла, мм.	Длина резака, мм.	Вес, кг.	Стоимость, руб.
Резак LT-01-04		Пропан, ацетилен	200	320		9.558
Резак НОРВ РМ-100П		Пропан, ацетилен, природный газ	200	450	13	6.850
Резак MESSEUR MS 832/110 РМ12		Пропан	300	110		20.778
Резак РМЗ Даннет 357		Пропан-бутан, метан	300	360	0.86	4.437
РМЗ-200 Корд		Пропан, ацетилен, метан	300	327	1.05	5.234
Резак РМЗ-300 Корд (безвент.)		Пропан, ацетилен	350	327	1.05	3.871

Рисунок 2.16 – Технические характеристики исследуемых автоматических резаков

Анализируя различные автоматические резаки для газовой резки, было принято решение о приобретении автоматического газового РСТ-М. Решение принималось исходя из низкой стоимости, и достаточной толщины реза для условий малого предприятия.

3. Разработка портальной машины плазменной резки с числовым программным управлением

3.1 Разработка и сборка портального плазменного стола

На основе портальной машины плазменного раскроя листового металла с числовым программным управлением STC PLASMA, было принято сконструировать и собрать свою портальную машину плазменного раскроя листового металла с числовым программным управлением.

Все принципиальные схемы, имеющиеся в наличии, разрабатывались в конструкторской программе КОМПАС.

На всех рисунках не проставлены размеры, так как предусматривается конфиденциальность проекта

Рабочий стол

Он изготовлен из секционных отделений, размеры которых составляют 2000мм на 3000 мм. В современной металлообработке чаще всего применяются столы с размерами отделений 500 на 500 мм. Процесс обработки заготовки возможен на одной и более частях. Конструкция стола разработана так, чтобы избавление от отходов во время работы не затрудняло процесс работы. В нижней его части расположена система удаления дыма.

Конструкция стола представлена на рисунках 3.1 - 3.3.

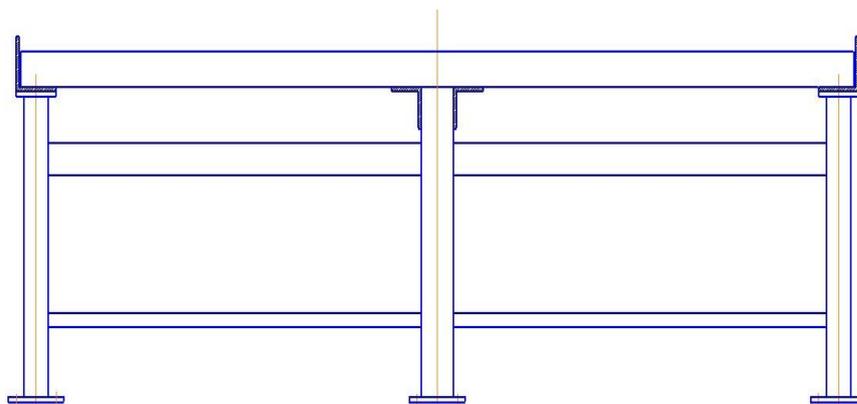


Рисунок 3.1 – Конструкция стола по ширине станка

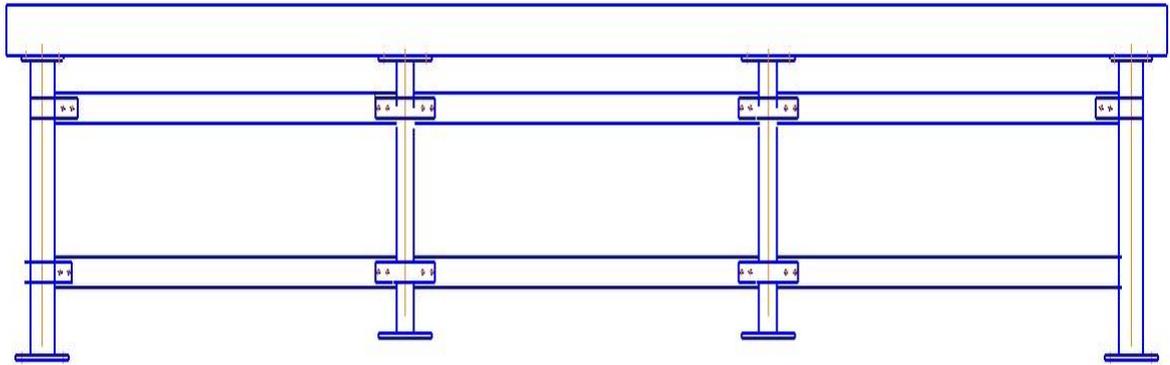


Рисунок 3.2 – Конструкция стола по длине станка

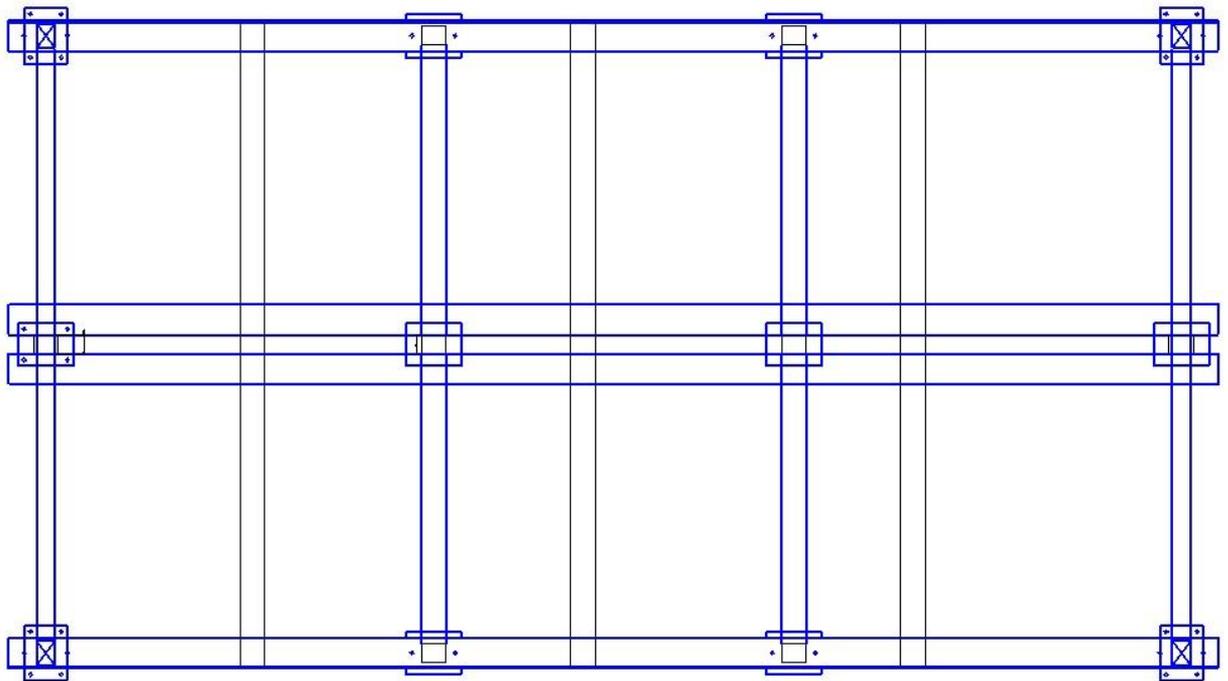


Рисунок 3.3 – Вид сверху

Основные опоры плазменного стола, были сконструированы из профильной трубы квадратного сечения, размерами 60x80 и толщиной стенки 4 мм. Общее число опор, составляет 12 шт. и имеют высоту равную 700 мм.

Основная база координатного стола была собрана из профильной трубы квадратного сечения, размерами 60x60 мм. Это обеспечило необходимую легкость и жесткость всей конструкции, так как разработка портальной плазменной машины, шла с учетом того, что стол может быть демонтирован и перемещен в иное необходимое место. В дальнейшем, стол портальной машины был обшит стальным листом толщиной в 2 мм.

Поверхность координатного стола, то есть его рабочая часть, собрана из металлических ламелей, которые было принято изготовить из металлического листа толщиной 8 мм, длиной 2000 мм и шириной 100 мм. Они укладываются друг за другом, с шагом 100 мм. Это обеспечивает возможность легкого изъятия детали после резки, а также позволяет дольше выдерживать ровную плоскость стола. После некоторого количества использования, их переворачивают на 180 градусов, что увеличивает срок службы ламелей и тем самым, делает стол более экономически выгодным. [15, 16] Рабочая часть стола, собранная из ламелей, представлена на рисунке 3.4

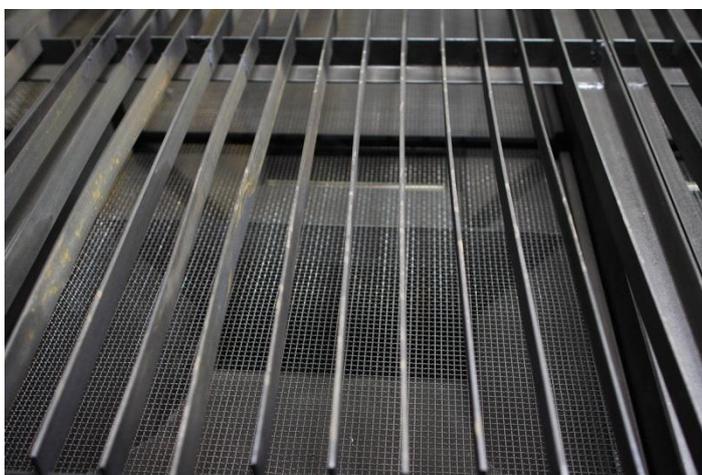


Рисунок 3.4 – Ламели координатного стола для плазменной резки

Устанавливаем зубчатые рейки для направляющей каретки, расположенные по длине координатного стола.

Пример и место расположение представлены на рисунке 3.5 – 3.6

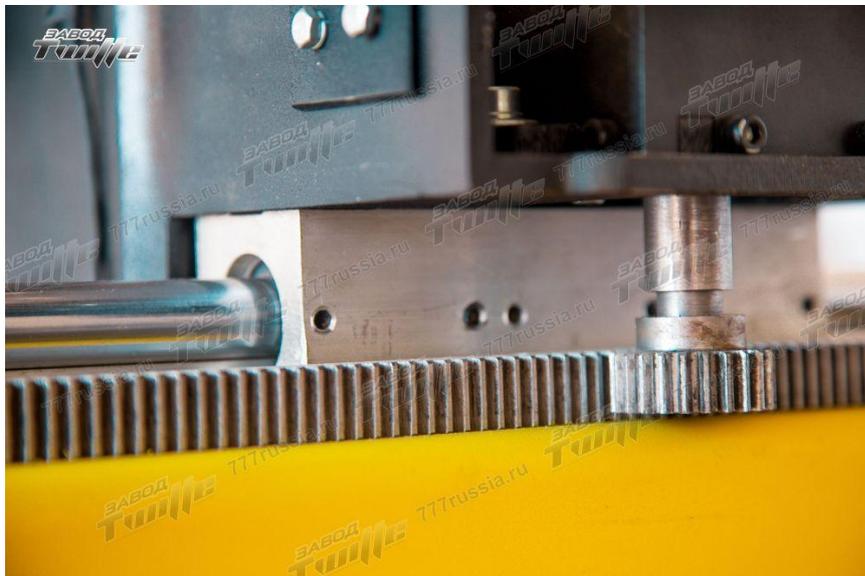


Рисунок 3.5 – Зубчатая рейка

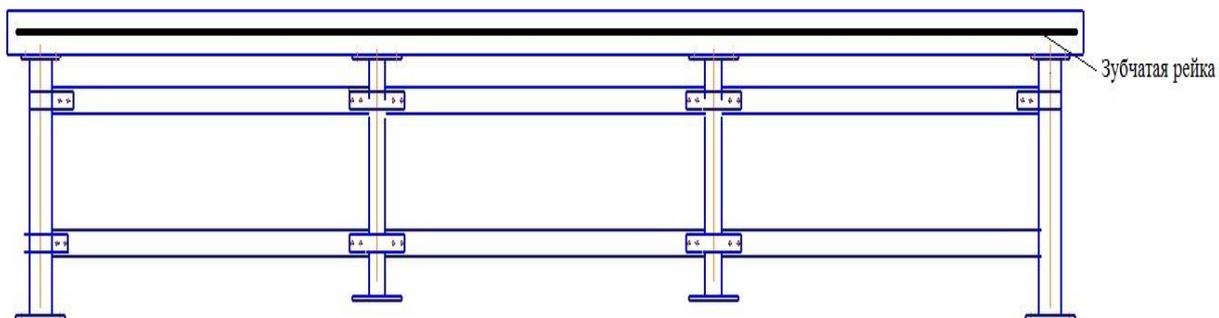


Рисунок 3.6 – Расположение зубчатой рейки

Следующая задача состоит в том, чтобы собрать раму, на которой будет устанавливаться держатель горелки, который в последствии будет перемещаться по оси Y и Z.

Для начала свариваем раму из профиля 20 на 40 мм.

Рама тележки портала представлена на рисунке 3.7

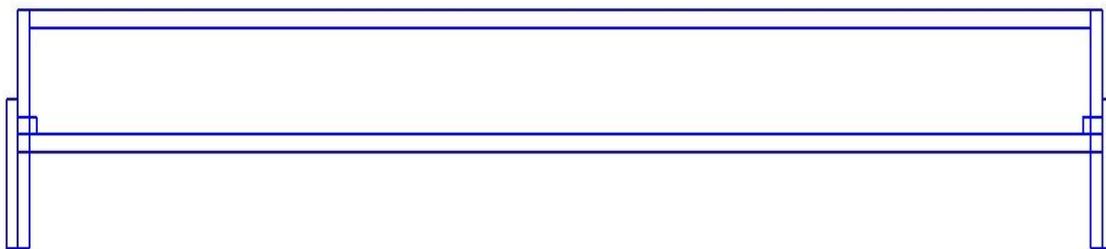


Рисунок 3.7 – Рама тележки портала

К раме тележки портала, с каждого торца, крепим пластины с уже установленными каретками, чтобы портал мог перемещаться вдоль стола по оси X. Торец рамы тележки портала представлен на рисунке 3.8

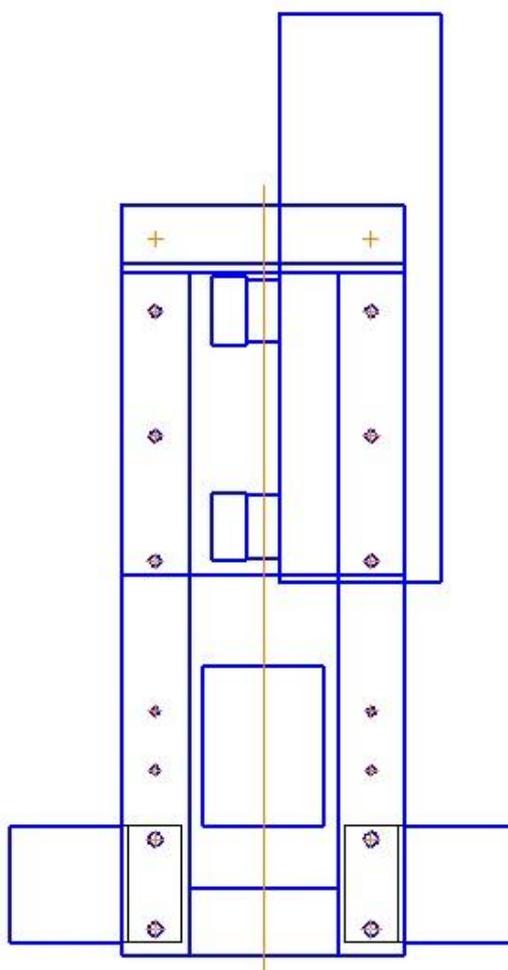


Рисунок 3.8 – Торец рамы тележки портала

Для того, чтобы наш плазменный и газовый резак могли перемещаться по оси Y и Z, нужно собрать поперечную каретку, для этого используем лист толщиной 6 мм. Обеспечивающая перемещение плазменной горелки вдоль оси Z, и служит основанием для крепления плазматрона.

В итоге у нас получается конструкция, представленная на рисунке 3.9

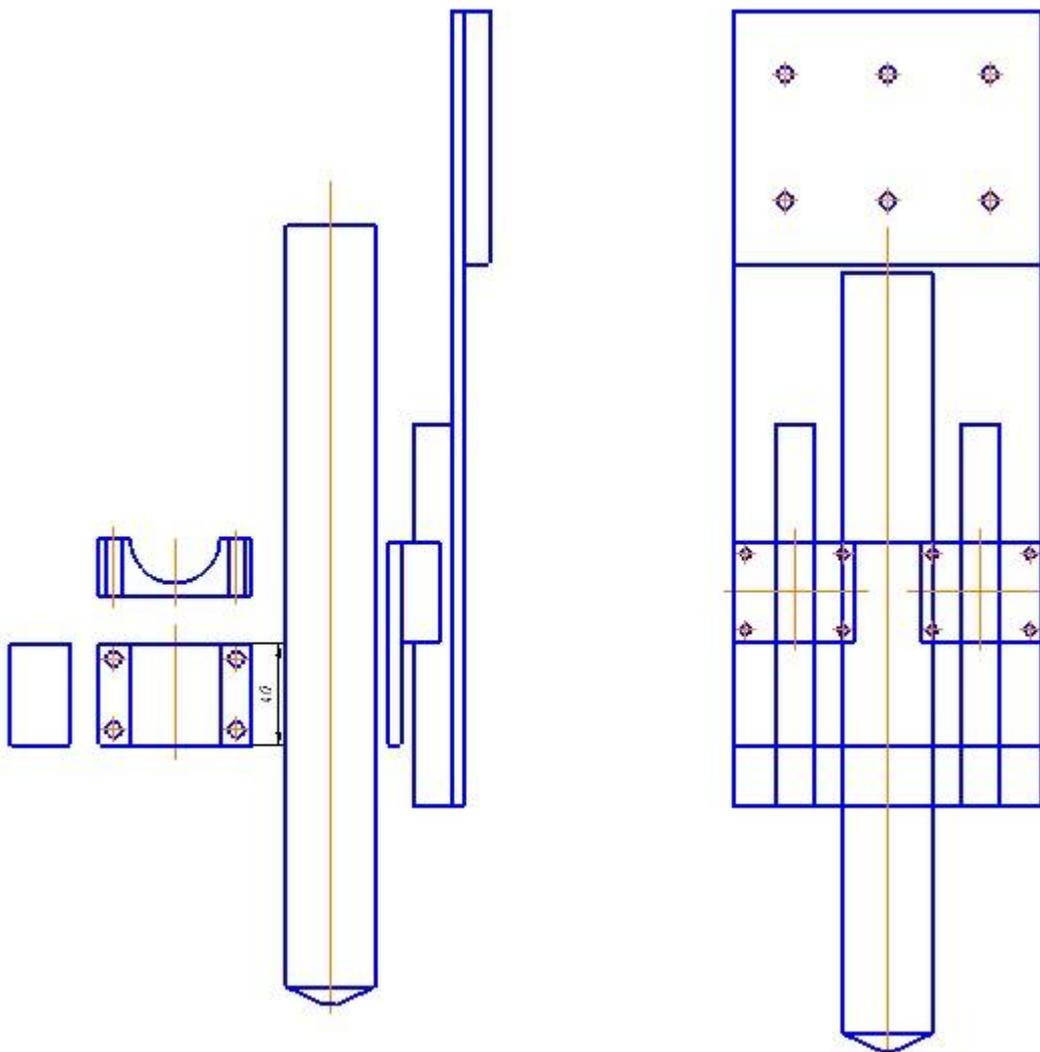


Рисунок 3.9 – Поперечная каретка

Следующей задачей является установка зубчатых реек, для перемещения поперечной каретки по оси Y. Состоит суппорт Y из основания, установленного на опорных модулях, шагового двигателя и шестеренки.

Расположение реек представлено на рисунке 3.10

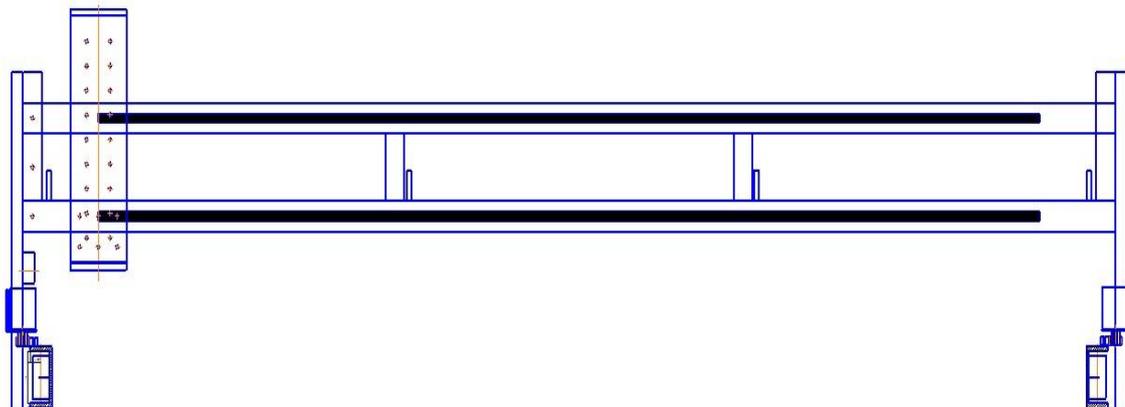


Рисунок 3.10 - Расположение реек на раме

Далее устанавливаются шаговые привода, которые и будут перемещать портал

Представляет собой шаговый электродвигатель с блоком управления. При подаче электрического импульса ротор двигателя совершает угловое перемещение на строго определенную величину. Современные шаговые электродвигатели обеспечивают до 400 шагов на один оборот. Это позволяет позиционировать инструмент (резец, плазменный резак) с точностью до десятых миллиметра. [17] Изображение шагового привода представлено на рисунке 3.11



Рисунок 3.11 – Шаговый привод

Как достоинства шаговых приводов следует отметить:

- высокая точность в сочетании с более простой конструкцией;
- доступная цена, вытекающая из простоты исполнения.
- Главный недостаток шагового привода – проблема пропуска

шага. Это происходит по ряду причин:

- нагрузка на валу превышает допустимое;
- неправильно заданными параметрами реза в управляющей программе – слишком резкое ускорение или торможение, без учета веса портала;
- скорость вращения ротора попадает в зону резонанса со станком.

Пропуск шага может приводить к некорректному позиционирования резака, и соответственно отклонению реза от заданной программы.

Далее следует подключение всех кабелей и шлангов.

3.2 Компоненты систем с ЧПУ. Управляющая программа

3.2.1 Основные составляющие

1. Система автоматизированного проектирования – CAD/CAM приложение. Разработчик-дизайнер использует CAD/CAM приложение для создания выходного файла, называемого «управляющая программа» (УП). УП, обычно представляемые в виде файла G-кодов, содержат набор команд, по которым будет производиться обработка. G-кодovou управляющую программу можно составить и вручную. [18]

2. Файл УП помещается на внешний носитель – USB флешку, дискету или посредством локальной сети передается из CAD/CAM приложения в Программу управления станком.

3. Программа управления станком. Программа управления читает УП, переводит ее на язык, понятный станку и управляет инструментом, который обрабатывает заготовку. Mach3, запущенная на персональном компьютере, выполняет функции Программы управления и посылает сигналы Платам электропривода (контроллерам). [19]

4. Платы электропривода. Сигналы от Программы управления усиливаются платами электропривода осей так, что сигналы приобретают мощность и соответствующую продолжительность, чтобы управлять двигателями, установленными на осях станка.

5. Станок. Движение по осям Станка производится с помощью винтовых, реечных или ременных передач, вращение на которые передается от серводвигателей или шаговых двигателей.

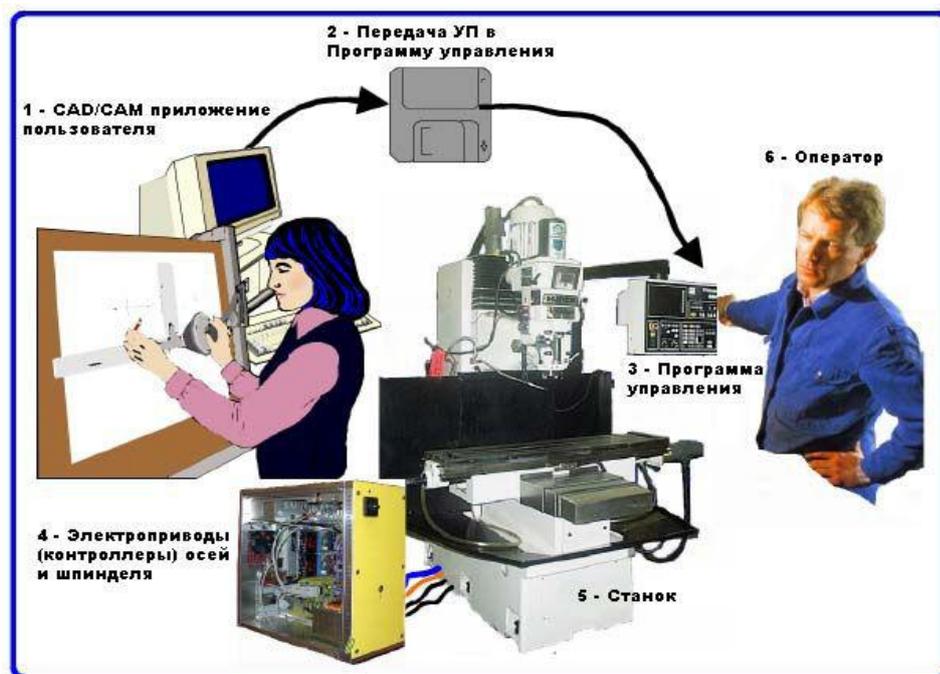


Рисунок 3.12 - Главные составляющие системы с ЧПУ

Хотя здесь показан фрезерный станок, но руководство подходит и для плазменного трассировщика и для лазерного резака.

«Если обеспечены соответствующие интерфейсные подключения, в дополнение к управлению положением инструмента, Программа управления может запускать и останавливать мотор шпинделя, управлять частотой его вращения, включать и выключать охлаждение и контролировать, чтобы УП или сам оператор станка не вывели обрабатывающую головку станка за его концевые пределы».

«Программа управления станком также связана с различными кнопками, клавиатурой, измерительным оборудованием, колесом Ручного генератора импульсов (РГИ), джойстиком, что также позволяет оператору вручную управлять станком, запускать и останавливать УП. Программа управления имеет дисплей и оператор станка всегда в курсе того, что происходит».

Вследствие того, что команды управляющих G-кодовых программ могут требовать сложных координатных перемещений по осям станка, Программа управления способна выполнять множество вычислений в

режиме реального времени (например, фрезерование по спирали (винтовая интерполяция) требует большого количества тригонометрических вычислений). Так сложилось, что Программа управления является одной из дорогостоящих составляющих оборудования.

«Mach3 - это пакет программного обеспечения, который работает на ПК и превращает его в экономичную станцию управления станком».

«Для работы Mach3 вам нужно иметь ПК, на котором установлена операционная система Windows 2000, Windows XP или 32-битная Windows Vista. ArtSoft USA рекомендует использовать процессор с частотой не менее 1GHz и монитор с разрешением 1024 x 768 пикселей. Стационарный компьютер дает лучшие результаты, по сравнению с ноутбуками и значительно дешевле. Кроме того, вы можете использовать этот компьютер и для других, когда он не занят управлением вашим станком.

Mach3 и его драйвер параллельного порта соединяется с оборудованием станка через один (иногда через два) параллельный порт (порт принтера). Если ваш компьютер не оборудован параллельным портом (всё больше и больше компьютеров выпускается без этого порта), вы можете приобрести специальную плату – внешний контроллер "motion controller board", который подключается к компьютеру через USB или Ethernet порт. При использовании внешнего контроллера значительный технологический потребитель будет вынесен с компьютера, и многие пользователи рассматривают его использование с целью повышения производительности, даже, на компьютере, имеющем параллельный порт. Mach3 генерирует импульсы шага и сигналы направления, выполняя последовательно команды G-кодовой управляющей программы (УП), и посылает их на порт(ы) компьютера или внешний контроллер». [20, 21 22]

Платы электропривода двигателей осей вашего станка должны принимать сигналы шага и сигналы направления (step и dir), выдаваемые программой Mach3. Так обычно работают все шаговые двигатели и современные сервосистемы постоянного и переменного тока, оснащенные

цифровыми энкодерами (датчиками положения). Если вы модернизируете старый станок с ЧПУ (системы NC), сервомоторы которого использовали счетно-решающие устройства (стойку) для измерения перемещений, вам придется оснастить станок комплектом новых плат электропривода для всех осей станка.

Чтобы настроить систему с ЧПУ на использование Mach3, вам необходимо установить ПО Mach3 на ваш компьютер и правильно подключить электроприводы ваших двигателей к порту компьютера. Эти операции рассматриваются в следующей главе.

Mach3 очень гибкая программа, созданная для управления такими машинами, как фрезерные станки, токарные станки, плазменные резаки и трассировщики. Характеристики станков, управляемых Mach3, следующие:

- Частичное ручное управление. Кнопка Аварийного останова (EStop) обязательно должна присутствовать на любом станке.

- Две или три оси, расположенные под прямым углом друг к другу (обозначаемые как X, Y, и Z)

- Инструмент, движущийся относительно заготовки. Начальные положения осей фиксируются относительно заготовки. Относительность движения заключается в том, что (1) движется инструмент (например, фреза, зажатая в шпинделе, перемещается по оси Z или токарный инструмент, закрепленный в зажиме, совершает движение в направлении осей X и Z) или (2) перемещается стол и закрепленная на нем заготовка (например, на консольно-фрезерном станке происходит перемещение стола по направлениям осей X, Y и Z, когда инструмент и шпиндель неподвижны).

И дополнительно:

- Выключатели, сообщающие, когда инструмент находится в положении «База».

- Выключатели, определяющие ограничения разрешенного относительного движения инструмента.

— Управляемый «шпиндель». Шпиндель может вращать инструмент (фрезу) или заготовку (точение).

— До трех дополнительных осей. Они могут быть определены как ротационные (т.е. их движение измеряется в градусах) или линейные. Каждая из дополнительных линейных осей может быть подчинена оси X, Y, или Z. Они будут перемещаться вместе, управляемые УП или вашими ручными переездами, но обращение к ним осуществляется по отдельности.

— Выключатель или выключатели, соединенные в защитную цепь станка.

— Управление способом подачи охлаждения (жидкостного и/или газообразного)

— Зонд - щуп в держателе инструмента, позволяющий производить оцифровку существующих деталей или моделей.

— Энкодеры, датчики положения со стеклянной шкалой, которые могут показывать положение узлов станка

— Специальные функции.

«В большинстве случаев, станок подключается к компьютеру, на котором установлен Mach3, через параллельный (принтерный) порт(ы) компьютера. Простой станок использует один порт, комплексному – иногда требуется два.

Управление специальными функциями, такими как LCD дисплей, смена инструмента, фиксирование осей или конвейер для отвода стружки, происходит посредством подключения специального устройства ModBus (например, PLC или Homan Design ModIO контроллер)». [23]

«Также соединение может происходить через "эмулятор клавиатуры", который генерирует псевдо нажатия клавиш в ответ на сигналы ввода.

Mach3 управляет сразу шестью осями, координируя их одновременное движение с помощью линейной интерполяции, или осуществляя круговую интерполяцию по двум осям (из X, Y и Z), в то же время линейно

интерполируя оставшиеся четыре с помощью угла, охваченного круговой интерполяцией. Таким образом, при необходимости инструмент может перемещаться по сужающейся винтовой траектории. Подача на протяжении этих передвижений поддерживается в соответствии со значением, указанным в вашей управляющей программе (УП), согласно ограничениям ускорения и максимальной скорости осей. Вы можете вручную передвигаться по осям, используя различные способы ручных Переездов.

«Если механизм вашего станка представляет собой руку робота или гексапод, то Mach3 не сможет им управлять, потому что в этом случае потребуются кинематические вычисления, чтобы соотнести положение «инструмента» в точках X, Y и Z с длиной и вращением «руки» станка».

«Mach3 может запускать шпиндель, вращать его в любом направлении и выключать его. Также возможно управление скоростью вращения (в об/мин) и наблюдение за углом его наклона для выполнения таких задач, как нарезание резьбы».

Mach3 может включать и выключать два типа подачи охлаждения.

Mach3 наблюдает за аварийными выключателями Estop и контролирует использование выключателей Баз, защитного оборудования и концевых выключателей.

«Mach3 сохраняет базу данных параметров до 256 единиц различного инструмента. Однако, если в вашем станке предусмотрена автоматическая смена инструмента или магазина, вам придется управлять ею самостоятельно. В Mach3 имеется возможность задания макросов, но для работы с этой функцией пользователю нужно знать программирования». [24]

3.2.2 Многоканальный драйвер шагового двигателя

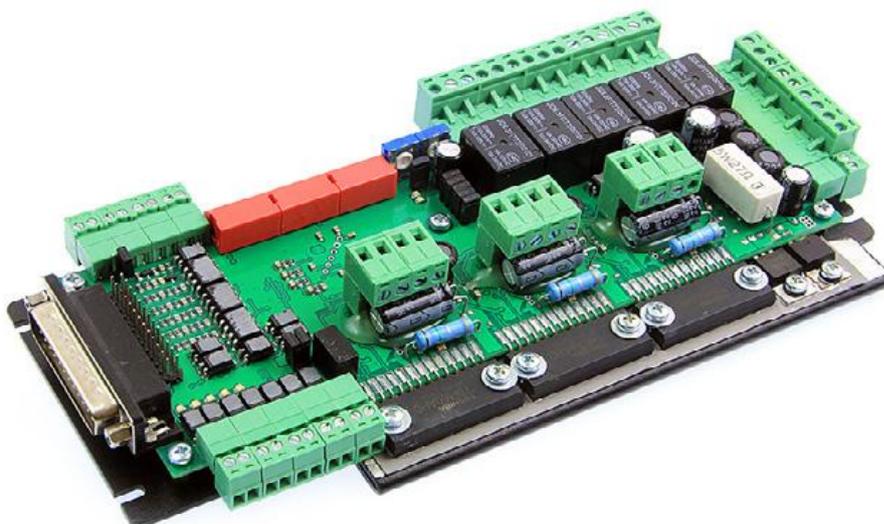


Рисунок 3.13 - Многоканальный драйвер шагового двигателя

Общие сведения

PLC330b – микрошаговый многоканальный драйвер управления ШД. Модуль позволяет управлять 3-мя осями станка, используя LPT-порт.

Драйвер имеет встроенные цепи защиты от КЗ обмоток ШД, от эффекта обратной ЭДС от ШД, встроенный автоматический компенсатор среднечастотного резонанса ШД. Также устройство снабжено режимом AUTO-SLEEP, который включается при отсутствии сигнала STEP. Многоканальный драйвер поддерживает управление частотным преобразователем, а также таймер для управления подачей СОЖ. Модуль имеет 5 оптоизолированных входов для подключения концевых выключателей и кнопки E-STOP.

Устройство оптимально подходит для управления биполярными и униполярными шаговыми двигателями Purelogic R&D серий PL42/PL57 а также другими ШД.

Комплект поставки:

- Многоканальный драйвер ШД PLC330b – 1 шт.
- LPT-кабель – 1 шт.

- Руководство по подключению и настройке – 1 шт.
- Диск с программным обеспечением – 1 шт.

Технические характеристики представлены на рисунке 3.14

Метод управления	STEP/DIR/ENABLE от порта LPT
Напряжение питания модуля	17 ... 32В (типичное значение 25В)
Рабочий ток каждого ШД	0.7А, 1.7А, 2.7А, 3.3А (дискретная регулировка)
Деление шага ШД (микрошаг)	1:1, 1:2, 1:8, 1:16
Максимальная частота сигнала STEP	100 кГц
Максимальная частота вращения вала ШД	30 об/сек
Параметры установленных реле	220В/7А
Параметры таймера управления СОЖ	Частота срабатывания – 2...80 сек. Длительность – 5...95% от частоты
Параметры конвертера ШИМ>напряжение	Uвых=0...9.8В (при изменении скважности Q=0...1) Питание 10В от частотного преобразователя
Частота сигнала ChargePump	2- 15 кГц
Сопротивление изоляции	500 МОм
Рабочая температура	0 ... 50 °С
Вес модуля без упаковки	0,5 кг
Габаритные размеры (ШхВхГ)	210 x 110 x 35 мм

Рисунок 3.14 - Технические характеристики многоканального драйвера ШД PLC330b

Возможности:

- Работа с любой LPT ЧПУ программой (STEP/DIR – Mach, TurboCNC и пр.).
- Использование одного питающего напряжения для питания всей схемы, система плавного запуска модуля, выход +12В для питания внешних датчиков и вентилятора охлаждения.
- Встроенный демпер (устройство компенсации обратной ЭДС от ШД).
- Управление одновременно 3-мя ШД – любыми биполярными или униполярными ШД (4, 6 или 8 выводов) типа ДШИ200-х-х, FL57 и другими. Мы настоятельно рекомендуем использовать модуль с шаговыми двигателями Purelogic R&D.
- 3 идентичных драйвера ШД (микрошаг 1, 2, 8, 16, режим AUTOSLEEP). Регулировка тока в обмотках каждого ШД. Встроенный автоматический компенсатор среднечастотного резонанса ШД.

— Режим AUTO-SLEEP, драйвер после 1 сек. простоя (отсутствие сигнала STEP) автоматически входит в режим удержания ротора ШД установленным током, для уменьшения нагрева ШД и снижения акустического шума.

— Защита модуля от КЗ в обмотках ШД, от неправильного подключения ШД, от переполусовки подключения напряжения питания

— Возможность подключения 2-х внешних драйверов ШД для построения 5-ти осной ЧПУ системы (PLD330, PLD545, PLD880 и др.)

— Оптоизоляция модуля и LPT порта ПК. Буферизация по току всех управляющих пинов порта LPT.

— Управление 5-ю сильноточными реле 7A/220В для коммутации дополнительных устройств станка (шпинделя, помпы СОЖ или электроventилятора).

— Выбор режимов работы реле, индикация срабатывания реле, отключение каждого реле.

— Встроенный регулируемый таймер (регулируется время и длительность срабатывания реле) для коммутации помпы СОЖ.

— Поддержка управления частотным инвертором (регулировка оборотов шпинделя, конвертор ШИМ>напряжение) от ШИМ сигнала программы управления (Mach).

— Контроль состояния 5-ти внешних датчиков (концевых выключателей). Входы оптоизолированы, индикация срабатывания датчиков.

— Удобные разборные клемные разъемы подключения ШД, источника питания и нагрузок реле. Предусмотрено подключение LPT порта ПК как через стандартный разъем DB-25M так и через штыревой разъем с использованием шлейфа (если необходимо вынести разъем на приборную панель при установке модуля в корпусе). [25]

3.2.3 Ethernet контроллер станка ЧПУ PLCM-E1b



Рисунок 3.15 – Ethernet контроллер станка ЧПУ PLCM-E1b

Общие сведения

Данное устройство является контроллером серии PLCM (см. общую инструкцию), имеет порт ввода-вывода и интерфейс Ethernet для связи с ПК. Порт по форме и расположению контактов соответствует LPT-порту компьютера.

Комплект поставки:

- Контроллер PLCM-E1b – 1 шт.
- Руководство по эксплуатации контроллеров серии PLCM – 1 шт.
- Руководство по подключению и настройке PLCM-E1b – 1 шт.
- Диск с программным обеспечением – 1 шт.
- Кабель Ethernet – 1 шт.

Технические характеристики представлены на рисунке 3.16

Напряжение питания	12В, постоянного тока
Максимальный ток потребления	250мА
Интерфейс управления	Ethernet, тип разъема "RJ-45". Трансляция сигналов STEP/DIR/ENABLE и сигналов с входов. Совместимость с MACH3.
Максимальная частота сигналов STEP	100 кГц
Число входов	5 шт., буферизированы Логические уровни "0"<1.8В, "1">2.5В Максимальное входное напряжение 15В.
Число выходов	12 шт., буферизированы 5В, 10мА MAX
Максимальное число осей станка ЧПУ	6
Сопротивление изоляции	500 мОм
Рабочая температура	0 ... 50 °С
Вес модуля без упаковки	0,3 кг
Габаритные размеры (ШхВхГ)	83 x 27 x 66 мм

Рисунок 3.16- Технические характеристики Ethernet контроллера станка ЧПУ PLCM-E1b

3.2.4 PLCM-T1 / PLCM-T2 контроллер



Рисунок 3.17 – PLCM-T1 / PLCM-T2 контроллер

Общие сведения

«Устройства PLCM-T1/T2 предназначены для автоматического регулирования высоты реза в аппаратах плазменной резки (АПР).

Данные устройства прошли полные испытания в АПР фирмы Hypertherm, которые имеют репутацию надежного и качественного оборудования. В большинстве своём они имеют специальные разъёмы для подключения блоков ТНС».

Для корректной работы с плазморезами других производителей необходимо убедиться в следующем:

1. В них предусмотрена возможность подключения устройств для автоматического регулирования высоты реза;
2. Указанные выходные электрические параметры резака совпадают с входными параметрами блока ТНС.

В случае если в инструкции для плазмореза не указана возможность подключения блоков ТНС или параметры не удовлетворяют заявленным, ответственность за безопасность подключения и работоспособность системы в целом несёт покупатель.

Комплект поставки:

- Контроллер PLСМ-Т1 / Контроллер PLСМ-Т2 – 1 шт.
- Руководство по подключению и настройке – 1 шт.
- Кабель Ethernet – 1 шт.

Технические характеристики представлены на рисунке 3.18

Напряжение питания модуля	12В
Ток потребления	до 100мА
Измеряемое напряжение дуги плазменного резака	устройство Т1 - до 200В устройство Т2 - до 8В*
Интерфейс управления	Ethernet
Программа управления	МАСНЗ
Сопротивление изоляции	500 мОм
Рабочая температура	0 ... 60 °С
Вес модуля без упаковки	0,35 кг
Габаритные размеры (ШхВхГ)	126,6 x 82 x 29 мм

Рисунок 3.18 – Технические характеристики PLСМ-Т1 / PLСМ-Т2 контроллера

«Принцип построения системы автоматического регулирования высоты дуги плазмореза с использованием устройств Т1 и Т2 отличается от аналогичных систем других производителей. Т1 и Т2 не генерируют традиционные для МАСНЗ сигналы Torch UP и Torch Down. Вместо этого устройство передает по сети Ethernet действующее напряжение в дуге. ЧПУ контроллер серии PLСМ принимает эту информацию и производит корректировку высоты, после чего передает в МАСНЗ текущее состояние корректировки. При таком подходе автоколебания оси Z исключены, так как PLСМ знает не только требуемое направление корректировки, но и величину отклонения от номинала, из которой можно определить требуемое смещение оси Z в данный момент времени».

Помимо основной измерительной функции, Т1 и Т2 управляет поджигом плазмы и передает в PLСМ текущее состояние сигнала «ARC ОК».

Для обеспечения регулирования высоты плазмореза контроллеру PLСМ необходимо установить следующие дополнительные параметры:

— Требуемое напряжение на дуге (выбирается из инструкции к плазменной установке). Данное значение может быть нулевым. В этом случае после розжига по истечении «задержки регулирования» контроллером будет измерено напряжение на дуге и принято за требуемое и в течение реза он будет поддерживать именно это напряжение.

— Будет ли использоваться сигнал «ARC ОК». Если да, то после команды включения плазмореза PLCM не будет двигаться, пока не получит от Tx подтверждения, что «ARC ОК» сработал. Эту функцию можно отключить, тогда движение начнется независимо от состояния сигнала «ARC ОК». Если во время движения дуга потухнет и сигнал ARC ОК пропадет, движение продолжится независимо от выбранного режима. Дело в том, что пропадание дуги — это штатная ситуация, которая, например, может произойти если вырезанная заготовка уже выпала, но контур реза был задан с некоторым перекрытием и станку требуется пройти еще некоторое расстояние прежде чем он потушит плазму.

— «Задержка регулирования» задает время в секундах, в течение которого после включения резака не будет производиться регулирование. Вовремя прожига металла напряжение в дуге почти всегда сильно выше нормы и если в это время не заблокировать регулирование, то резак начнет двигаться вниз, пытаясь нормализовать напряжение. Задержка зависит от толщины металла и может составлять от 0 до 5-10 секунд».

— «Превышение напряжения» (ранее называлось «допустимое отклонение напряжения») задает предельное превышение заданного напряжения, при котором разрешено регулирование. Если текущее напряжение превысит заданное на большее значение, то регулирование прекращается до тех пор, пока напряжение не вернется в требуемые пределы. Дело в том, что напряжение в дуге зависит также от скорости реза. В инструкции к плазменной установке указаны рекомендованные значения напряжения для конкретной скорости перемещения резака. На поворотах

МАСНЗ замедляет движение, что приводит к повышению напряжения в дуге и, как следствие, к опусканию резака. Кроме того, при проходе работающей плазменной головки над существующим разрезом металла, напряжение также кратковременно увеличивается. Чтобы система не реагировала на подобные резкие колебания напряжения введен данный параметр. Его значение подбирается экспериментально и обычно составляет 5-10% от требуемого напряжения». [26, 27]

Назначение выводов, индикация и подключение

XP1 – подключение измеряемого напряжения дуги плазменного резака;

XP2 – выход для управления поджигом дуги. Выход представляет собой нормально-разомкнутую контактную группу реле;

XP3 – вход сигнала «ARC ОК» от плазменного резака. Контакты должны быть разомкнуты если дуги нет и замкнуты во время работы плазмореза. Допустимо не использовать сигнал

«ARC ОК», например, если его не поддерживает используемая плазменная установка;

XP4 – подключение к сети Ethernet;

XP5 – подключение источника напряжения 12В.

POWER – индикатор поданного напряжения;

ARC ОК – дублирует состояние входа ARC ОК. Горит, если контакты ARC ОК замкнуты и не горит, если разомкнуты;

TORCH FIRE – дублирует состояние выхода TORCH FIRE. Горит, если контакты замкнуты и не горит, если разомкнуты;

ERROR – загорается при ошибке.

Устройства T1 и T2 устанавливаются в непосредственной близости от установки плазменного реза или внутри нее. Это минимизирует длину высоковольтных проводов и позволяет повысить точность измерения. Подключение к установке плазменного реза осуществляется согласно ее описанию.

3.2.5 Микрошаговый драйвер шагового двигателя PLD331



Рисунок 3.19 - Микрошаговый драйвер шагового двигателя PLD331

Общие сведения

«PLD331 — микрошаговый драйвер шагового двигателя на базе микросхемы TB6560 фирмы TOSHIBA. Устройство имеет встроенные цепи защиты от КЗ обмоток ШД; защиту от переплюсовки напряжения питания; защиту от превышения напряжения питания и перегрева. Драйвер работает со стандартным протоколом управления STEP/DIR/ENABLE. Все управляющие входы драйвера оптоизолированы и совместимы с логическими уровнями 2.5В, 3.3В, 5В».

«Драйвер оптимально подходит для управления биполярными и униполярными шаговыми двигателями Purelogic R&D серий PL42/PL57. Также возможна работа с другими ШД».

Драйвер необходимо установить на теплоотвод (в комплект не входит), площадью не менее 100 см². Микросхему 1 (рис. 4) устанавливать на радиатор через диэлектрическую теплопроводящую прокладку.

Комплект поставки:

- Драйвер ШД PLD331 — 1 шт.
- Руководство по подключению и настройке — 1 шт.

Технические характеристики представлены на рисунке 3.20

Напряжение питания модуля	18 ... 30В (типичное значение 27В)
Рабочий ток ШД	0.7А, 1.7А, 2.7А, 3.3А (дискретная регулировка)
Деление шага ШД (микрошаг)	1:1, 1:2, 1:8, 1:16
Максимальная частота сигнала STEP	50кГц
Максимальная частота вращения вала ШД	30 об/сек
Сопротивление изоляции	500 мОм
Рабочая температура	0 ... 50 °С
Вес модуля без упаковки	0,04кг

Рисунок 3.20 - Технические характеристики микрошагового драйвера шагового двигателя PLD331

3.3 Настройка MACH3

«Использование устройств PLCM и PLCM-Tx требует дополнительных нестандартных настроек MACH3, например, требуемое напряжение дуги или задержка регулирования, которые можно добавить, изменив стандартный скринсет (внешний вид программы MACH3). В стандартном комплекте поставки ПО для PLCM уже есть разработанный нами скринсет, поддерживающий необходимые функции».

«Для начала рассмотрим традиционный процесс подготовки к раскрою металла, без применения PLCM-Tx. Исходными данными будем считать DXF файл с чертежом заготовки. Из него с помощью специализированных программ, например, Sheetcam, требуется подготовить G-код. Далее, этот код загружается в MACH3, но перед началом его исполнения требуется во внешнем блоке ТНС задать требуемое напряжение. Причем основные настройки, такие как скорость реза, задержка на прожиг металла, делаются не в MACH3, а в Sheetcam. Значит при изменении толщины металла Вам потребуется запустить SheetCam и переформировать G-код».

Предлагаемая нами система ТНС позволяет сконцентрировать все настройки в одном месте, а именно на экране MACH3.

«В каталоге <MACH3>\Purelogic\postprocessors находятся постпроцессоры для различных популярных программ, генерирующих G-код. Используя этот постпроцессор, Вы получите G-код, в котором не будут явно прописаны такие параметры работы, как скорость перемещения, высота подъема/опускания резака, алгоритм прожига и т.п. Все эти команды заменены макросами MACH3, которые будут использовать параметры из специальных полей ввода на экране (DRO)». В данный момент доступно несколько постпроцессоров для SheetCam:

— Purelogic ТНС - Основная версия постпроцессора.

— Purelogic THC no probe - Данный постпроцессор формирует G-код без поиска материала. Его следует использовать, если ваша установка не оборудована датчиком материала. [28]

— Purelogic THC splitted arcs - Этот постпроцессор отличается от основного тем, что если в чертеже встречается полная окружность, он генерирует не одну инструкцию G02 или G03, а две, разбивая полную окружность на две дуги. Замечено, что в некоторых конфигурациях Mach3 иногда пропускает замкнутые окружности сразу после розжига. Для обхода данной проблемы следует использовать этот постпроцессор.

Следующим шагом необходимо скопировать все файлы из каталога <MACH3>\Purelogic\MACH3Macros в каталог <MACH3>\macros\<название используемого профиля>. В программе MACH3 необходимо войти в меню «View->LoadScreens» и выбрать скринсет <MACH3>\PLPlasma.set.

Появится окно, изображенное. В верхней левой части окна расположены кнопки переключения страниц экрана. Перейдите на страницу THC и Вы увидите список параметров работы. [29]

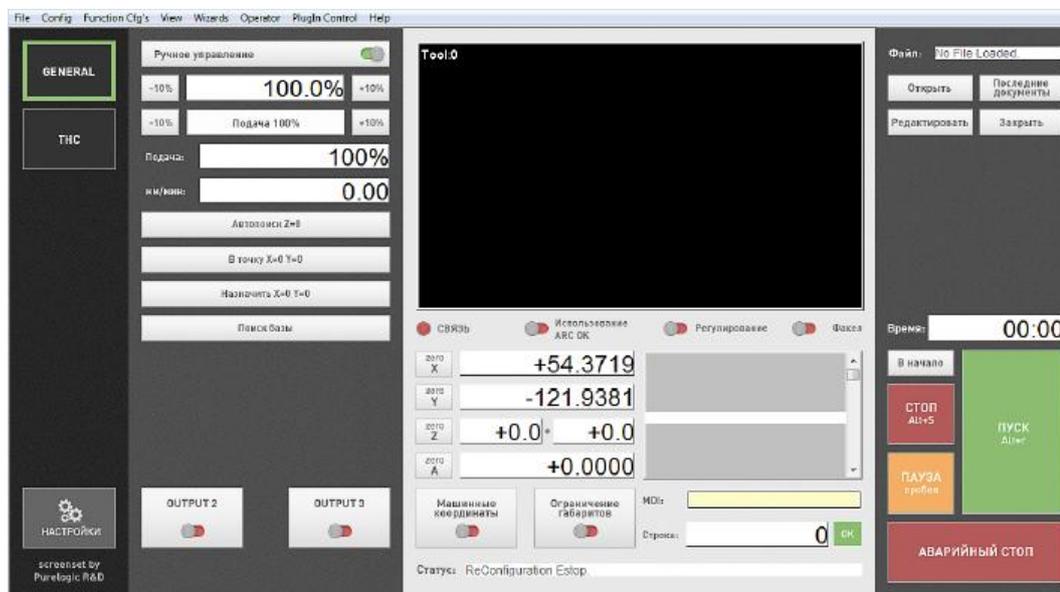


Рисунок 3.21 - Основной экран скринсета PLPlasma

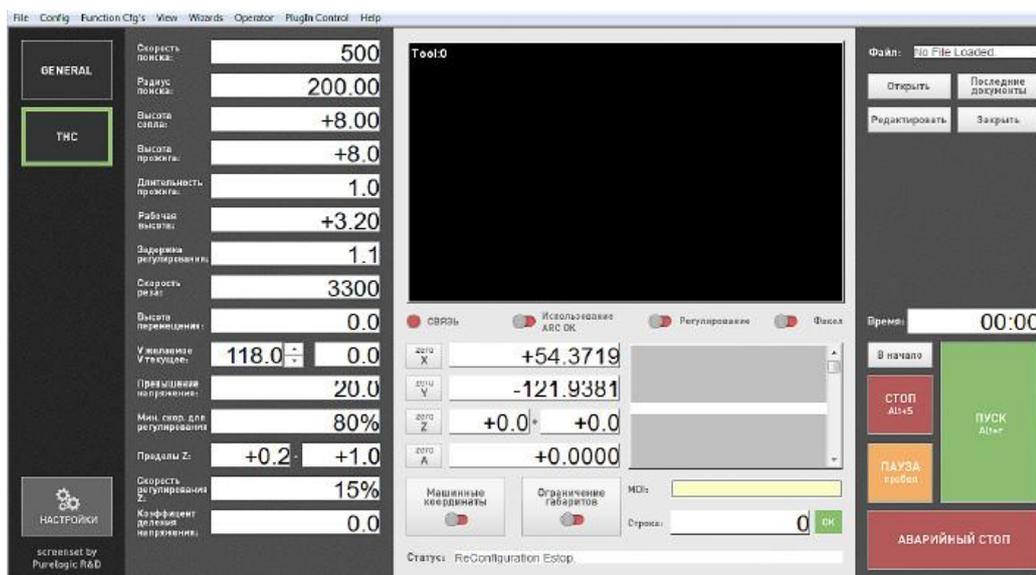


Рисунок 3.22 - Второй экран скринсета PLPlasma

Если Вы сформировали G-код используя один из предоставленных постпроцессоров, то вместо команд поиска металла и поджига дуги в коде будет содержаться только вызовы специализированных макросов, с помощью которых будет произведен розжиг в соответствии и заданным алгоритмом:

- Запоминается текущая скорость перемещений;
- Выполняется поиск металла со скоростью, заданной в «скорость поиска», опускаясь вниз не более чем на 100мм (Чтобы не перегружать экран MACH3 различными настройками, некоторые параметры, зависящие только от конструкции используемого станка, и не меняющиеся при смене сопла или материала, не вынесены на скринсет. Их можно изменить открыв файл <MACH3>\macro\<<название_профиля>M900.m1s в любом текстовом редакторе);

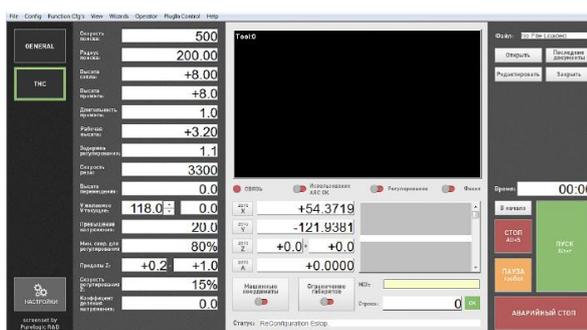


Рисунок 3.23 - Второй экран скринсета PLPlasma

- После касания в текущую координату оси Z записывается значение из поля «высота сопла»;
- Резак поднимается на высоту «высота пробоя»;
- PLCM-Tx включает резак;
- Выполняется ожидание, заданное параметром «Длительность прожига»;
- Резак перемещается на высоту «рабочая высота»;
- Устанавливается скорость «скорость реза».

При выключении резака после команды M05 производится подъем резака на высоту «высота перемещения». Кроме того, на экране расположен индикатор «связь» который показывает наличие связи между PLCM и PLCM-Tx.

Поле ввода «Коэффициент деления напряжения» применяется только с PLCM-T2 и задает коэффициент деления выходного напряжения плазменной установки. В случае использования PLCM-T1 коэффициент должен быть установлен в 1.

Также имеется возможность создать свою библиотеку режимов реза. При нажатии на кнопку «Настройки» открывается окно, в котором Вы можете заполнить все описанные ранее параметры и сохранить их под определенным названием.

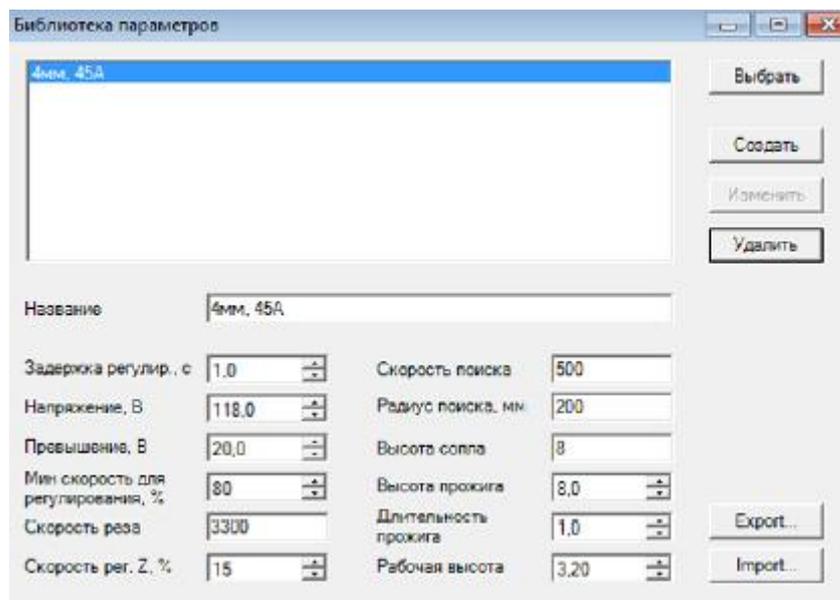


Рисунок 3.24 - Окно редактора параметров обработки

Для выбора соответствующего режима достаточно выбрать его в списке и нажать на кнопку «Выбрать», после чего все параметры из этого окна будут скопированы в основное окно МАСНЗ.

Таким образом, все настройки теперь не только сосредоточены в одной программе, но также существует возможность сохранять их для каждого материала.

Далее приведен полный список доступных параметров. Жирным выделены те, которые зависят от материала и задаются в библиотеке режимов реза.

— Скорость поиска: скорость опускания резака при поиске материала. **Задается в мм/мин.**

— Радиус поиска: Если очередной розжиг производится на расстоянии менее указанного радиуса от места последнего поиска материала, то считается что текущая координата Z верна и повторный поиск не требуется. Розжиг будет произведен без поиска металла. Это значение можно указать равным нулю, чтобы выполнять поиск перед каждым розжигом.

— Высота сопла: значение, которое следует назначить координате Z сразу после поиска материала. Если касание производится соплом, то здесь должен быть нулевое значение. Если же используется другой датчик, то, очевидно, что в момент срабатывания датчика сопло находится на некоторой высоте от металла, причем эта высота зависит от установленного сопла. Именно эта высота и должна быть указана в данном поле.

— Высота прожига: Требуемая высота оси Z перед включением факела.

— Длительность прожига: Время ожидания прожига, в течение которого резак будет стоять с зажженным факелом над материалом на высоте «Высота прожига» задается в секундах. Для корректной работы этого параметра, необходимо, чтобы в меню Mach3 Config->General Config была установлена галочка «G04 Dwell in ms».

— Рабочая высота: высота, на которую переместится резак по истечении «Длительности прожига».

— Задержка регулирования: Сразу после перемещения на рабочую высоту начинается движение по заданной в G- коде траектории, но в начале движения напряжение еще не стабилизировано и, как правило, сильно завышено. Данный параметр запрещает перемещение оси Z на заданное время. Указанного времени должно быть достаточно для разгона до номинальной скорости.

— Скорость реза: задается в мм/мин

— Высота перемещения: Высота, на которую поднимется резак по окончании реза.

— Желаемое напряжение: Требуемое значение напряжения в дуге. Если в качестве желаемого напряжения указано нулевое значение, то сразу по истечении задержки регулирования контроллер зафиксирует текущее напряжение дуги и будет поддерживать его до конца реза. В окошке справа от данного отображается напряжение в дуге в данный момент.

— Превышение напряжения: задает предельное превышение заданного напряжения, при котором разрешено регулирование

— Минимальная скорость регулирования - известна в Mach3 как «AntiDive». Задает минимально необходимую скорость перемещения резака в плоскости XY для разрешения регулирования. Как отмечалось выше, в поворотах Mach3 замедляет движение резака, что приводит к возрастанию напряжения в дуге и, как следствие, возможному опусканию резака. Для защиты от этого введено ограничение минимальной скорости перемещения, при которой будет производиться регулирование. Если текущая скорость станет ниже данного порога, регулирование будет заблокировано, пока резак снова не разгонится. Значение задается в процентах от заданной подачи.

— Пределы Z: минимальная и максимальная координата оси Z при регулировании.

— Скорость регулирования Z: задается в % от максимально разрешенной в окне Config->Motor tuning для оси Z. Слишком высокая скорость может приводить к пропускам шагов или «дрожанию» оси, а слишком низкая может не успевать следить за поверхностью. Параметр зависит от кривизны материала и выбранной подачи, поэтому выбирается экспериментально для каждого из режимов реза.

Наиболее частые неисправности

1. Не загорается, либо долго моргает светодиод «Link» при подключении Ethernet кабеля к PLCM-Tx.

Возможные причины: поврежденный кабель, нерабочий коммутатор Ethernet, нерабочая сетевая карта, не удается автоматически определить параметры соединения.

Пояснение: Данный индикатор отражает состояние физического подключения к сети Ethernet. В случае успешно установленного соединения индикатор должен постоянно гореть.

Решение: Проверить кабели, соединения, работоспособность оборудования и его настройки методами, аналогичными диагностике

проблем в локальной сети. Установить в настройках сетевой карты режим соединения 10Mbit/Full Duplex.

2. При подключении Ethernet кабеля к PLCM-Тх светодиод «Link» загорается сразу, но устройство по адресу 192.168.10.12 не пингуется.

Возможные причины:

- 1) IP-адрес контроллера не соответствует значению по умолчанию.
- 2) Некорректно настроен IP-адрес компьютера.

Пояснения: По умолчанию 2-устройства PLCM-Тх имеют предустановленный адрес 192.168.10.12, поэтому для успешного соединения IP компьютера должен находиться в той же подсети.

Решение:

- 1) Сбросить настройки устройства на настройки по умолчанию (см. инструкцию по установке).
- 2) Настроить адрес ПК на любой адрес из сети 192.168.10.xx вручную или с помощью утилиты set_ip.exe из архива с ПО.
- 3) Ethernet PLCM пингуется, но не доступен из окна конфигурации плагина.

Возможные причины: Брандмауэр или иная программа блокирует трафик между PLCM и компьютером.

Пояснения: Для обнаружения всех устройств PLCM в локальной сети плагин использует широковещательные запросы по протоколу UDP. Некоторые программы в ОС Windows, например, брандмауэр или антивирус, могут блокировать подобные сетевые запросы. [30]

3.4 Общие затраты на конструирование порталной машины плазменной резки с ЧПУ

Таблица 3.1 - Общие затраты

№	Наименование	Количество	Цена
1	Профиль 20x40	20 м	6 400,00
2	Профиль 60x60	41 м	20 000,00
3	Профиль 60x80	9 м	9 000,00
4	Швеллер 100	12 м	8 000,00
5	Лист 2 мм	25 м ²	6 000,00
6	Лист 6 мм	18 м ²	31 000,00
7	Лист 8 мм	2 м ²	3 000,00
8	Уголок 100x100	20 м ²	5 000,00
9	Уголок 75x75	10 м ²	2 300,00
10	Модуль линейного перемещения PLLM-11-300	1 шт.	16 720,00
11	Двигатель шаговый биполярный PL57H76-D8	4 шт.	8 614,40
12	Муфта соединительная BF-20-8-8	1 шт.	606,40
13	Шестерня прямозубая GS1-T25D8	3 шт.	2 095,20
14	Рельсовые направляющие HIWIN HGR25RC (57)	4 м	24 000,00
15	Рельсовые направляющие HIWIN HGR25RC (138)	4 м	24 000,00
16	Рельсовые направляющие HIWIN	4 м	18 240,00
17	Модуль опорный Hiwin HGW15CC C	3 шт.	7 440,00
18	Модуль опорный Hiwin HGW25CCZAC	5 шт.	18 800,00
19	Блок пылезащиты Hiwin HG15KK	2 шт.	2 366,40
20	Блок пылезащиты Hiwin HG25KK	4 шт.	4 848,00
21	Рельсовая направляющая LHA GHR15	0,28 м	918,85

Продолжение таблицы 3.1

№	Наименование	Количество	Цена
22	Модуль опорный LHA GHW15CA	2 шт.	3 174,40
23	Рейка прямозубая RS1-1520 (13)	2 м	3 132,80
24	Рейка прямозубая RS1-1520 (403)	2 м	3 132,80
25	Рейка прямозубая RS1-1520 (404)	2 м	3 132,80
26	Рейка прямозубая RS1-1520 (405)	2 м	3 132,80
27	Рейка прямозубая RS1-1520 (406)	2 м	3 132,80
28	Кронштейн стальной MH-57S	3 м	1 075,20
29	Источник питания TRITON CUT 130 PN	1 шт.	165 000,00
30	Автоматический плазменный резак СВ-150М (СА)	1 шт.	25 673,00
31	Автоматический газовый резак РСТ-М	1 шт.	3 500,00
32	Персональный компьютер	1 шт.	20 000,00
33	Дополнительные расходы	---	100 000,00
34	Модули управления	4 шт.	80 000,00
Итого:			630 000,00
35	Вентиляционная система	1 шт.	1 250 000,00
Итого:			1 880 000,00

В итоге, на базе организации ООО «ССДЦ «Дельта» была собрана машина по плазменной реке с числовым программным управлением.



Рисунок 3.25 – Установка плазменной резки с ЧПУ

Для возможной работы в помещении цеха, был спроектирован проект вентиляции (вытяжной системы с фильтром грубой и тонкой очистки), а в последующем закуплено оборудование и произведен монтаж в цеху.

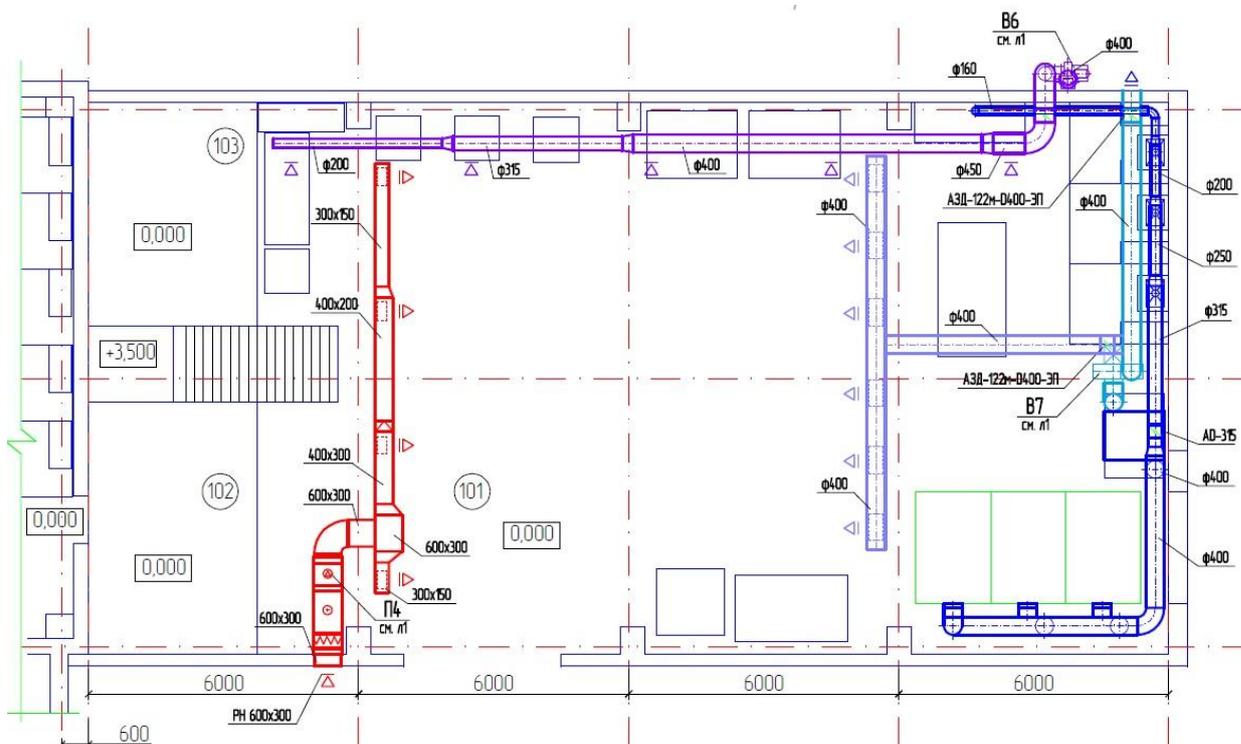


Рисунок 3.26 – План вентиляционной системы



Рисунок 3.27 – Вытяжная системы плазменного стола



Рисунок 3.28 – Вытяжная системы плазменного стола



Рисунок 3.29 – Система фильтрации воздуха (грубая и тонкая очистка)

После того, как всё было подключено и установлено, производилась отработка режимов термической плазменной и газовой резки.

Толщина мм	Сопло			Параметры прожига				Параметры резки					
	Размер и тип (мм)	Номер детали	Насадка (мм)	Высота (мм)	Рабочий цикл (%)	Время (с)	Давление (бар)	Вр-я зам. пер. (с)	Давление (бар)	Высота (мм)	Разрез (мм)	Мощность (Вт)	Скорость подачи (мм/мин)
Указаны все значения толщины								0,0	1	3	0	150	3810
0,5	1,0	021096	20	1,5	100	0,2	2,00	0,1	5	1	0,2	1000	11000
1,0	1,0	021096	20	1,5	100	0,2	2,00	0,1	5	1	0,2	1000	8800
1,5	1,0	021096	20	1,5	100	0,2	2,00	0,1	5	1	0,2	1000	7000
2,0	1,0	021096	20	1,5	100	0,2	2,00	0,1	5	1	0,2	1000	4445
2,5	1,0	021096	24	3,0	100	0,5	0,55	0,1	0,55	1	0,35	1000	2900
3,0	1,0	021096	23	3,0	100	0,5	0,55	0,2	0,55	1	0,35	1000	2400
3,5	1,0	021096	23	3,0	100	0,5	0,55	0,2	0,55	1	0,35	1000	2000
4,0	D1,2	021102	23	3,0	100	0,5	0,55	0,2	0,55	1	0,35	1000	1800
5,0	D1,2	021102	23	3,0	100	0,5	0,55	0,2	0,55	1	0,35	1000	1500
6,0	D1,5	021103	23	4,5	90	2,0	0,50	0,2	0,55	1	0,35	1000	1150
8,0	D1,5	021103	23	4,5	90	3,0	0,50	0,3	0,55	1	0,35	1000	925
9,0	D2,0	021104	23	5,0	90	4,0	0,50	0,3	0,55	1	0,35	1000	825
10,0	D2,0	021104	23	5,0	90	4,0	0,50	0,5	0,55	1	0,35	1000	750

Рисунок 3.30 – Режимы плазменной резки низкоуглеродистой стали

Показатели	Толщина стали, мм				
	5	10	20	30	40
Номер: наружного мундштука	0	1	1	1	1
внутреннего мундштука	1	2	2	2	3
Давление: кислорода, МПа	0,18	0,2	0,65	0,55	0,7
ацетилена, кПа	От 10 до 30				
Скорость резки, мм/мин	550	470	370	330	300
Расход, м ³ /ч: кислорода	1,2	1,8	4	5,5	6,6
ацетилена	0,35	0,35	0,4	0,4	0,4
Ширина реза, мм	2,5	2,5	3	4	4

Рисунок 3.31 – Режимы кислородной резки низкоуглеродистой стали

После отработки режимов плазменной резки, были вырезаны экспериментальные образцы, которые показали высокое качество реза, точность вырезаемых заготовок варьируется в пределах 1 мм. Шероховатость варьируется в пределах $Rz = 60-80$, что является хорошим показателем.



Рисунок 3.32 – Фотографии пробных заготовок



Рисунок 3.33 – Фотографии пробных заготовок

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведя анализ комплектующих для автоматической машины плазменной резки с ЧПУ, таких как: источники питания, плазмотроны, газовые резаки автоматического типа, были выбраны и приобретены наиболее подходящие под нужды организации ООО «ССДЦ «Дельта».

Источник питания TRITON CUT 130 PN, диапазон тока которого находится от 20 до 130А, максимальная эффективность достигается при раскрое металла толщиной 36 мм.

Автоматический плазменный резак СВ-150М (СА) с диапазоном тока 140А и воздушным охлаждением.

Автоматический газовый резак РСТ-М с диапазоном разрезаемого металла толщиной до 300 мм.

2. Исходя из нужд организации, была спроектирована и собрана автоматическая машина плазменной резки с ЧПУ, с применением всех доступным материалов. Размеры стола 2000 мм в ширину и 6000 мм в длину, что позволяет укладывать длинномерный и габаритный металлопрокат. В том числе, был собрана и настроена система управления, софтом которой, послужила программа, находящаяся в свободном доступе.

3. Для возможности работы на установке плазменной резки в закрытом помещении понадобилось разработать план системы вентиляции и вытяжки, с хорошими фильтрами для очистки воздуха.

4. Решение, сконструировать и собрать машину плазменной резки с ЧПУ на базе малого предприятия ООО «ССДЦ «Дельта», оказалось экономически выгодным, по сравнению с рыночной стоимостью готовой продукции. Изготовление машины собственноручно оказалась дешевле в 3 раза, а возможности машины ничем не уступают рыночным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Research on cutting the plasma of aluminium alloys. *Mindaugas Jašinskas, Irmantas Gedzevičius, Giedrius Garbinčius, Justinas Gargasas* Mokslas: Lietuvos Ateitis. 2010; 2(4) DOI 10.3846/mla.2010.077
2. Акулов А.И., Алехин В.П., Ермаков С.И. и др. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки [Текст] - М., Машиностроение, 2003.
3. Босинзон М. А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация / М.А. Босинзон. — Москва: Академия, 2013. — 192 с.
4. Ловыгин А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система / А.А. Ловыгин. — Москва: ДМК Пресс, 2017. — 280 с.
5. Банов М.Д., Масаков В.В. Специальные способы сварки и резки. Раздел: Специальные способы сварки и резки М.: Издательский центр Академия, 2009. - 208 с.
6. Лычагин А.Д., Соколов А.П. Плазменная резка Раздел: Специальные способы сварки и резки. Методические указания к лабораторной работе. Томск. Изд-во ТГАСУ. 2012. 24 стр.
7. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка Л.: Машиностроение, 1987. — 192 с.: ил.
8. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова Тольятти, 2012, - 135с.
9. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
10. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – М. : Машиностроение, 1973. - 408 с.
11. S. S. Samotygin, O. A. Khrystenko, V. I. Ivanov Structure and properties of the modified processing zone of plazma treatment of threaded cutters

with solid alloys plates/ Visnik Priazovs' kogo Deržavnogo Tehničnogo Unīversitetu. Seriâ: Tehnični Nauki. 2018;0(36):128-134 DOI

12. Jan Pite, Darina Matiskova, Daniela Marasová A new approach to estimating cutting material using artificial neural networks Tem Journal. 2019; 8 (2): 325-332 DOI 10.18421 / TEM82-02

13. Kechagias John, Petousis Markos, Vidakis Nectarios, Mastorakis Nikos Optimizing plasma cutting accuracy using the parameter calculation method ITM Web of Conferences. 2017; 9: 03004 DOI 10.1051 / itmconf / 20170903004

14. Фадюшин И.Л., Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС, Машиностроение ,1990

15. Кузнецов Ю.И., Оснастка для станков с ЧПУ, Справочник, Машиностроение, 1990

16. Комиссаров В.И., Фильченко Ю.А., Юшкевич В.В. Размерная наладка станков с ЧПУ на роботизированных участках, Владивосток, ДВПИ, 1985.

17. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ, Машиностроение ,1987

18. Yu.V. Petrakov Visnik / Mechanical process control methods Žitomirs' kogo Deržavnogo Tehnologičnogo Unīversitetu: Tehnični Nauki. 2017; 2 (80 t. 2): 124-134 DOI

19. Кошкин В.Л., Аппаратные системы числового программного управления, Машиностроение, 1989

20. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть2, М, Экономика, 1990

21. Головенков С.Н., Основы автоматизации и автоматического регулирования станков с программным управлением, Машиностроение 1980

22. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. В 2-х ч., Экономика, 1990

23. Жигало Н.И., Яцура Е.С. Обработка материалов, станки и инструменты. 1984
24. Фельдштейн Е.Э., Обработка деталей на станках с ЧПУ, Новое знание, 2008
25. Байков В.Д., Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ, Машиностроение, 1986
26. Монахов Г.А., Станки с программным управлением. Справочник, Машиностроение, 1975
27. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления, 1987
28. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления; 1989
29. Лещенко В.А., Станки с числовым программным управлением (специализированные), Машиностроение, 1988
30. Должиков В.П., Основы программирования и наладки станков с ЧПУ, Томск, ТПУ, 2011