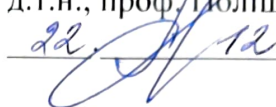




# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»  
Шифр і назва  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Шифр і назва  
Освітня програма «Машини та апарати легкої промисловості»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри МАЕЕС  
д.т.н., проф. Цюліщук О.С.  
 .2023р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Артемчук Руслан Васильович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка зварювального пристрою для легкої промисловості

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 202\_\_ р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технологічні та технічні рішення механізмів та швейних машин для виконання операцій пришивання фурнітури

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів 2 Технологічний процес та розробка пристрою для дослідження зварювання полімерних матеріалів 3 Розробка конструкції та розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів 4 Випробовування зразків полімерних матеріалів після зварювання Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Огляд та аналіз пристроїв для зварювання полімерних матеріалів (А1). Аркуш 2. Зварювальний пристрій для легкої промисловості. Кінематична схема пристрою (А1). Аркуш 3. Зварювальний пристрій для легкої промисловості. Електрична схема пристрою(А1). Аркуш 4. Зварювальний пристрій для легкої промисловості. Складальне креслення (2 креслення А1). (А1). Аркуш 6. Деталювання пристрою (А1). Аркуш 7. Загальний вид установки для випробовування. Документ ілюстраційний (А1). Аркуш 8. Дослідження зразків. Документ ілюстраційний (А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<u>1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів</u>	до 15.10.22р.	
<u>2 Технологічний процес та розробка пристрою для дослідження зварювання полімерних матеріалів</u>	до 30.10.22р.	
<u>3 Розробка конструкції та розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів</u>	до 20.11.22р.	
<u>4 Випробовування зразків полімерних матеріалів після зварювання</u>	до 20.11.22р.	
<u>5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</u>	до 12.12.22р.	

Студент



Підпис

Р.В. Артемчук

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

М.Є.Скиба

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Артемчук Руслан Васильович
2. Тема магістерської роботи Розробка зварювального пристрою для легкої промисловості
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Долешовська О. М.  
к. т. н., доцент кафедри ЕМДМ
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 70

5. Зварювання полімерних матеріалів є важливим етапом в виробництві, оскільки воно дозволяє створювати міцні, надійні і ефективні з'єднання між частинами виробів. Це особливо важливо у випадку виробництва складних конструкцій, де необхідно забезпечити не тільки міцність, але і герметичність з'єднань.

Зварювання має велике значення в машинобудуванні, легкій промисловості та інших галузях. Це зварювання труб, плит, фольги та окремих частини з полімерів.

Машинобудування для легкої промисловості спрямоване на забезпечення виробництва машин, механізмів і автоматичних ліній, впровадження яких у виробництво значно підвищує продуктивність праці, покращує якість і вдосконалює технологічні процеси, знижуються витрати. Техніка повинна бути більш довговічною і надійною, естетично правильною, оснащеною засобами охорони праці та навколишнього середовища. Тому у магістерській роботі було розроблено пристрій для зварювання, який буде мати широке розповсюдження у виробництві.

В першому розділі здійснено огляд та аналіз пристроїв для зварювання полімерних матеріалів. Висвітлено їх переваги та недоліки, зроблено висновок про доцільність їх використання.

В другому розділі розроблено кінематичну схему установки для зварювання полімерних матеріалів. Розроблено схему електричну установки, описано принцип роботи електричної схеми регулятора потужності, що використовується в даній установці.

В третьому розроблено конструкцію та зроблено розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів. Описано принцип роботи механізму подачі гарячого повітря. Здійснено розрахунок нагрівального елемента. Зроблено підбір електричного двигуна вентилятора. Здійснено розрахунок приводу для транспортування полімерних матеріалів та закритої черв'ячної передачі. Здійснено тепловий розрахунок елементів установки

В четвертому приведено загальні аспекти, випробовування зварних з'єднань. Приведено загальний вигляд машини для випробовування МР-200. Приведено графіки залежності видовження від кута згинання матеріалу.

Підпис студента AR  
«28» 12 2023 р.

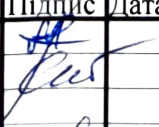
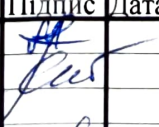

### РІШЕННЯ ЕК

Протокол 3 від «30» 12 2023 р.  
Оцінка проекту ЕК розра 4,5/В  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_  
Технічний секретар [підпис]  
«30» 12 2023 р.

## Зміст

	с
Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів .....	8
1.1 Технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів.....	8
1.2 Пристрої для зварювання полімерних матеріалів.....	12
2 Технологічний процес та розробка пристрою для дослідження зварювання полімерних матеріалів.....	22
2.1 Технологічний процес зварювання полімерних матеріалів .....	22
2.2 Розробка пристрою для зварювання полімерних матеріалів для легкої промисловості .....	24
3 Розробка конструкції та розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів .....	28
3.1 Опис конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів....	28
3.2 Принцип роботи установки.....	28
3.3 Принцип дії механізму подачі гарячого повітря.....	30
3.4 Методика проведення роботи.....	31
3.5 Технічна характеристика установки зварювання полімерних матеріалів .....	31
3.6 Розрахунок нагрівального елемента.....	32
3.7 Розрахунок приводу для транспортування полімерних матеріалів.....	35

МРМА 23.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	
Виконав		Артемчук			Розробка установки для зварювання полімерних матеріалів
Перевір.		Скиба			
Н.контр.					Літера
Затвер.		Поліщук			Аркуш
					Аркушів
					2
					74
					ХНУ гр. МБм-22

4. Випробовування зразків полімерних матеріалів після зварювання	49
4.1 Види зварних швів, що піддаються зварюванню .....	49
4.2 Технологічне випробовування на вигин та розрив зварних з'єднань...	53
Висновки.....	61
Перелік джерел посилань.....	62
Додаток .....	63

## ВСТУП

Зварювання полімерних матеріалів має велике значення у багатьох галузях, таких як промисловість, медицина, автомобільна промисловість, електротехніка та інші. Важливість зварювання полімерів полягає в тому, що цей процес дозволяє об'єднувати окремі частини полімерних виробів в єдину конструкцію.

Зварювання полімерних матеріалів є важливим етапом в виробництві, оскільки воно дозволяє створювати міцні, надійні і ефективні з'єднання між частинами виробів. Це особливо важливо у випадку виробництва складних конструкцій, де необхідно забезпечити не тільки міцність, але і герметичність з'єднань.

Зварювання має велике значення в машинобудуванні, легкій промисловості та інших галузях. Це зварювання труб, плит, фольги та окремих частини з полімерів.

Під час зварювання утворюється нерозривний зв'язок однорідних частин полімеру шляхом взаємопроникнення (дифузії) частинок поверхні в розплавленому стані під постійним тиском преса.

Питомий тиск пресування деталей при зварюванні становить 0,5-1,0 МПа і залежить від сипучості матеріалу і температури зварювання.

Чим вище в'язкість матеріалу в розплаві, тим вище питомий тиск затиску.

Температура зварювання і витрата тепла на нагрівання матеріалу великим чином залежать від властивостей матеріалу, його теплофізичних (теплопровідність, теплоємність) та діелектричних властивостей (діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних втрат) та його товщини і ширини зварного шва та ін.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Тому зварювальні нагрівачі виготовляються таким чином, що потужність можна регулювати в широкому діапазоні.

Якщо температура зварювання занадто висока, це спричинить екструзію матеріалу, погіршення якості матеріалу, що зварюється, підвищення тиску, тобто деформацію матеріалу. Між температурою зварювання і тиском преса існує залежність. Оптимальне значення підбирається дослідним шляхом. Недостатній тиск можна компенсувати підвищенням температури і навпаки.

Існують різні процеси зварювання, їх методи та необхідне обладнання. Такі процеси зварювання, як гарячий газ, контактне нагрівання, теплові імпульси, радіочастота та ультразвук, набувають промислового значення. Вибір методу залежить від типу матеріалу, конструкції деталей, що зварюються, вимог до зварного з'єднання, умов експлуатації виробу та необхідної продуктивності.

Машинобудування для легкої промисловості спрямоване на забезпечення виробництва машин, механізмів і автоматичних ліній, впровадження яких у виробництво значно підвищує продуктивність праці, покращує якість і вдосконалює технологічні процеси, знижуються витрати. Техніка повинна бути більш довговічною і надійною, естетично правильною, оснащеною засобами охорони праці та навколишнього середовища.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів

## 1.1 Технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів

У машинобудуванні, легкій промисловості та побутовому секторі велике значення мають з'єднання за допомогою зварювання, таких як труби, пластини, фольга та окремі деталі з полімерів.

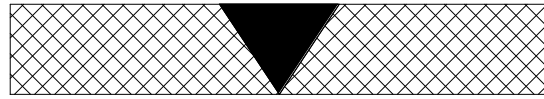
Існують різні способи зварювання. Гарячі гази, контактне нагрівання, теплові імпульси, радіочастоти та ультразвук набули промислового значення. Перед зварюванням на стиковій кромці створюється фаска під кутом від 30 до 60°. Залежно від товщини заготовки, з країв знімають фаски з одного або обох сторін.

На сьогодні відомі та найбільш розповсюджені такі форми швів для зварювання полімерних матеріалів:

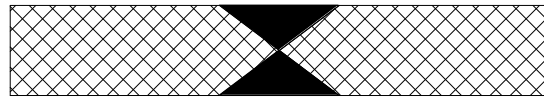
1. Встик виконується по V – утворюючому (а) та по X – утворюючому профілю (б).
2. Шов кутовий.
3. Однорядний шов (а) чи дворядний (б).
4. Шов внапуск з одностороннім (а) чи шов із двостороннім зварюванням (б).

Найбільшу міцність з'єднання має – стиковий шов (рис.1.1), по V – утворюючому (а) та X – утворюючому з'єднанню.

Такий шов застосовують для зварювання дуже тонких заготовок (товщина 10 мм і менше).



a



b

Рисунок 1.1 – Види з'єднання полімерних матеріалів: встик по V – утворюючому (а) та X – утворюючому профілю (б)

Кутове з'єднання полімерів це зварне з'єднання двох елементів, що розташовані під кутом один до одного (рис. 1.2).

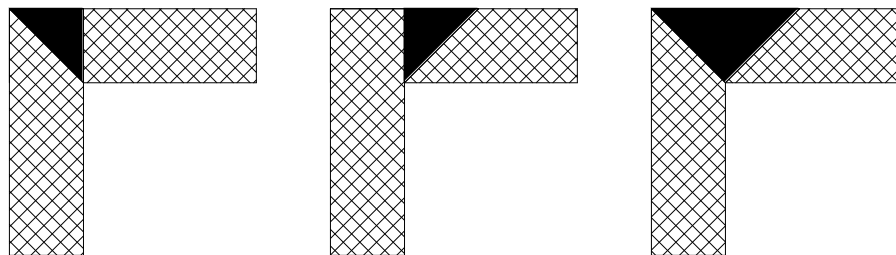


Рисунок 1.2 – Кутове з'єднання полімерних матеріалів

Шов однорядний або дворядний (таврове з'єднання) - це зварне з'єднання, у якому торець однієї деталі розміщений і приварений під кутом до бічної поверхні іншої деталі (рис. 1.3).

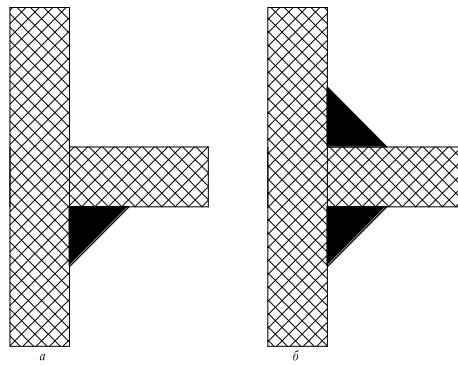


Рисунок 1.3 - Шов однорядний (а) або дворядний (б)

Внапуск з односторонніми або двосторонніми з'єднаннями – зварні з'єднання, в яких елементи зварювання розташовані паралельно і частково перекривають один одного (рис.1.4, а, б).

Потужні режими зварювання можна легко використовувати, оскільки немає ризику отримати опік під час зварювання.

Застосування швів з одностороннім або двостороннім з'єднанням полегшує збірку і зварювання швів (монтажних швів), яка здійснюється при складанні конструкцій.

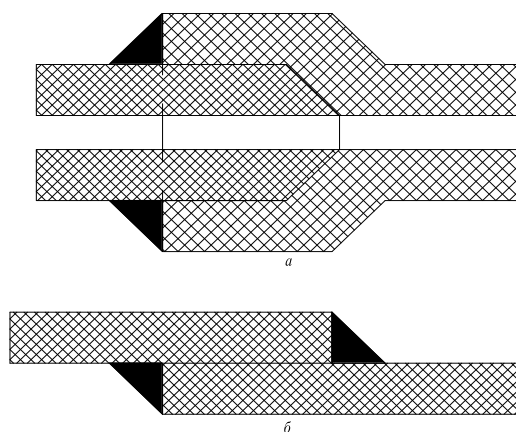


Рисунок 1.4 – Шов внапуск з одностороннім (а) чи двостороннім зварюванням (б)

- . Пластик часто замінює метал, бетон і дерево:
- вага продукту зменшена;
- транспортні витрати зменшені.

Полімери - це великий клас речовин, створених з молекул, які складаються з повторюваних структурних одиниць, відомих як мономері. Процес, за яким мономері об'єднуються, називається полімеризацією.

Молекули полімерів можуть мати величезну масу і складатися з тисяч або навіть мільйонів мономерів. Ця велика маса та повторювані структурні одиниці надають полімерам унікальні властивості, такі як пружність, прочність, термостійкість і ізоляційність.

Полімери можуть бути природними або синтетичними. Природні полімери включають такі речовини, як деревина, крок, шовк, білок та ДНК. Синтетичні полімери створюються людьми і включають в себе широкий спектр матеріалів, таких як поліетилен, поліпропілен, поліуретан та багато інших, які використовуються в різних сферах, включаючи хімічну промисловість, медицину, будівництво і побут.

Пластмаси – це широка група синтетичних полімерних матеріалів, які можуть бути легко формовані у різноманітні продукти. Полімери - це великі молекули, які складаються з повторюючихся структурних одиниць, названих мономерами.

Пластмаси можуть бути термопластичними або термореактивними. Термопласти можна нагрівати і формувати багато разів, тоді як термореактивні пластмаси твердіють під дією тепла і, як правило, не можуть бути змінені після того, як вони затверділи.

Пластмаси мають широке застосування в різних галузях, таких як упаковка, автомобільна промисловість, електроніка, будівництво та багато інших. Однак проблеми, пов'язані з надмірним використанням пластмас та

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

їхньою неконтрольованою утилізацією, призвели до серйозних проблем забруднення навколишнього середовища, що стимулює пошуки більш екологічно чистих альтернатив.

Види добавок та їх призначення:

1 Стабілізатори:

- термостати;
- антиоксиданти.

2 Пластифікатори:

- для покращення технологічних та експлуатаційних властивостей полімерів.

3 Наповнювачі:

- для збільшення міцності та кращих діелектричних властивостей;
- для менших витрат полімеру.

## 1.2 Пристрої для зварювання полімерів

Відомий пристрій [1] для зварювання полімерних матеріалів містить корпус 1 (рис.1.5) з камерою нагріву 2 і додаткову камеру 3, в якій встановлено робоче колесо 4.

Корпус 1 має канал 8 для подачі газу в камеру 2, а канал 9 з'єднаний з камерою 3 і призначений для приведення в обертання робочого колеса 4.

Корпус пристрою оснащений патрубком 10, через який протікає нагрітий газ і газ, що подається в зварювальний цех, закріплений на ізоляційній плиті 7 і встановлений з можливістю обертання турбіни 12.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Призначений для переміщення повітря в зосередженому стані. Таким чином: В результаті газовий струмінь, що виходить із сопла, має однакову температуру по всьому перерізу.

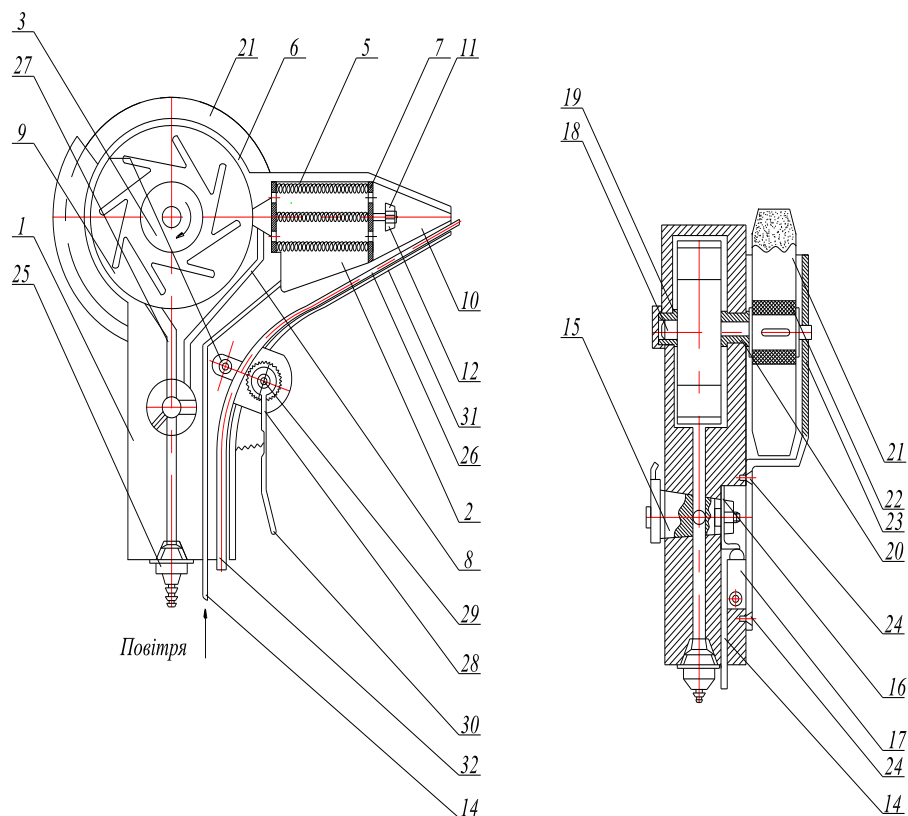


Рисунок 1.5 - Пристрій для зварювання полімерних матеріалів

У корпусі також є отвір 14 для кріплення електроприводу та отвір для триходового крана 15 з хвостиком 16, який контактує з вимикачем 17.

Під час зварювання розмістіть кран у положенні, показаному на схемі.

У цьому випадку хвіст 16 включає перемикач 17 і на нагрівач 5 подається напруга живлення (24 В або менше).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.  
13

На валу 18 робочого колеса 4, який може обертатися у втулках 19 і 20, на оправці 22 встановлений змінний обробний інструмент 21, наприклад шліфувальний круг або фреза.

Захисний кожух 23 для ніпеля 25, прикріпленого до болта 24, кріпиться до подачі повітря всередині корпусу.

Також в корпусі 1 встановлений канал 26 для додаткової штанги і механізм її подачі, що складається з притискного ролика 27 і рифленого ролика 28, оснащеного обгінною муфтою 29 і натягнутим подаючим важелем 30. Залишкове тепло можна видалити. Через отвір 31 здійснюється регулювання температури методом відведення тепла, що використовується персоналом.

Працює пристрій наступним чином. Стан очікування триходового крана 15 показано на малюнку 1.5 (кран закритий).

Під час зварювання кран встановлюють у проміжне положення (рис.2.5), а вал 16 натискає на перемикач 17. Через вимикач 17 струм передається на нагрівач 5, а по каналу 8 стиснене повітря надходить у камеру 2. Після нагрівання, змішування та обертання турбіни 12 струмінь спрямовується через сопло 10 на тріщину зварного шва. У центрі каналу 26 додатковий матеріал у формі стрижня 32 розміщений між двома роликами 27 і 28. Цей канал конструктивно відокремлений назовні від нагрівальної камери і нагрівається в меншій мірі.

В результаті присадковий стрижень 32 не плавиться на виході, а стає дуже м'яким, і шов, який також був розм'якшений струменем гарячого повітря, прилипає до шва металу в зоні зварювання.

Натисканням на важіль подачі 30 пруток подається в зону зварювання і включається обгінна муфта 29.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Рухома муфта обертає валик 28, який зачіпає поверхню стрижня з рифленою поверхнею, переміщуючи поверхню стрижня і вдавлюючи кінець у зону зварювання.

Зварювання отримуємо високої якості, шви рівномірні.

Після зварювання тріщини та охолодження шва триходовий клапан встановлюється у положення, показане на малюнку 2.5, і за допомогою вимикача 17 вимикається живлення нагрівача.

При цьому повітря надходить по каналу 9 в камеру 3, де обертає робоче колесо 4, на валу якого встановлено обробний інструмент 21, який природним чином захищає зварний шов.

Існують апарати для зварювання термопластів газоподібними теплоносіями. Призначення даного пристрою - підвищення продуктивності за рахунок збільшення нагріву теплоносія. З цієї причини вихровий генератор 43 встановлений всередині каналу 40 потоку, який подає газ у вхідну частину шляху і вісь потоку 40 зміщена від осі основного корпусу пристрою.

Пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм містить циліндричний корпус 33 з рукояткою, спіральний електронагрівач 34 і сопло 35. Виводи (контакти) 36 і 37 електронагрівача 34 які розміщені в окремій камері 39 та замкнені електропідвідним кабелем 38. який знаходиться в ручці, яка має канал 40 для подачі газу.

До рукоятки прикріплена пробка 41 з штуцером 42 для подачі газу.

Канал 40 газопостачання (рис.2.6) зміщений на величину 1 відносно осі корпусу 33.

На вході проточного тракту 40 співвісно з штуцером 42 встановлено завихрювач 43 (рис.1.6).

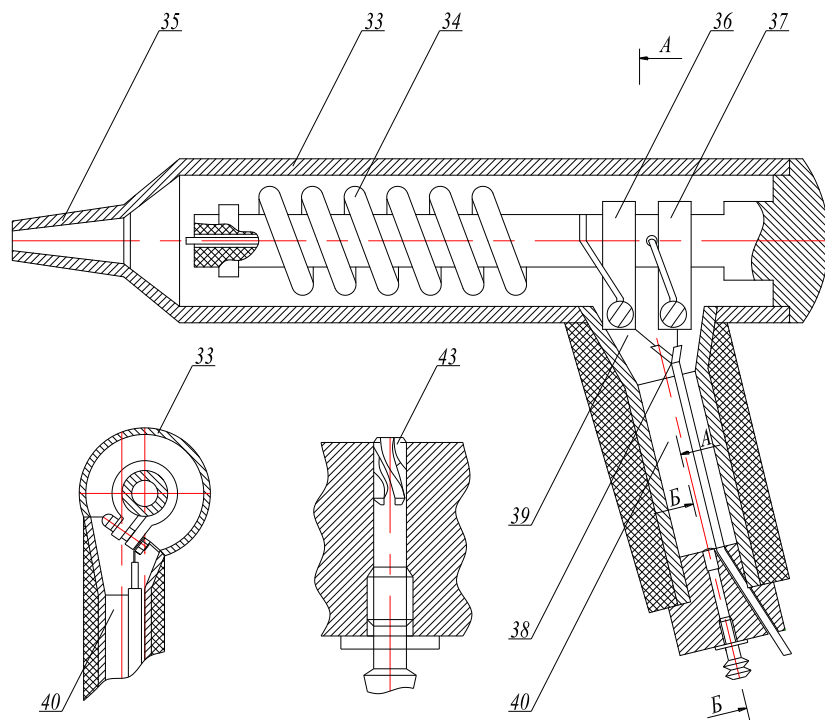


Рисунок 1.6 – Пристрій для зварювання термопластів із газоподібним теплоносієм

Працює пристрій наступним чином. Газ подається в живильний канал 40 і камеру 39 через штуцер 42 і завихрювач 43.

Газ продовжує обтікати контакти 36, 37, охолоджуючи їх, і тече по спіралі навколо електронагрівача 34.

Рівномірний нагрів газу (теплоносія) здійснюється потоком навколо нагрівального змійовика від попереднього вихору (на виході накопичувача 41). Нагрітий до заданої температури газ надходить з корпусу 33 через сопло 35 в робочу зону зварювання.

Наявність зсуву осі опосередковано забезпечує точність руху теплоносія по спіралі, що дозволяє ефективно відводити тепло від всієї поверхні електронагрівача, тим самим підвищуючи ефективність і продуктивність даного пристрою.

Апарат для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм, що має циліндричний корпус з електронагрівальним зміювиком усередині корпусу та каналом подачі газу, розташованим усередині корпусу, пристрій, що складається з рукоятки та роздавальної насадки.

Подача газоподібного теплоносія в зону зварювання здійснюється через завихрювач, який встановлений в центрі каналу для збільшення газу на вході в апарат, з метою підвищення продуктивності за рахунок посиленого нагріву теплоносія.

При цьому, для збільшення подачі газу, вісь газовідвідного каналу зміщена відносно осі тіла.

Пристрій для зварювання термопластів нагрітим газом [1]. містить порожнистий корпус 44 (рисунок 1.7) і прикріплену до нього рукоятку 45, виготовлену з термостійкого ізоляційного матеріалу 46, що проходить через центр ручки з газовим входом.

Трубка вставлена в корпус 44 одним кінцем 47 (до неї прикріплена ручка 45) і має зовнішню різьбу та фітинг 48 на другому кінці, що йде від ручки 45. Ручку на корпусі закріплено за допомогою штуцера 48.

Шланг подачі газу( не показаний ) приєднаний до вільного кінця фітинга. У отворі великої ступені 49 корпусу 44 коаксіальна спіральна шайба 50 та ізолятор 51, які закріплені всередині корпусу через термостійку ізоляційну кришку 52. Внутрішня поверхня стінки 54 між ступенями корпусу, внутрішній кінець фланця 53 ізолятора 51 і внутрішня вигнута поверхня вирізаної шайби 50 разом утворюють гвинтову порожнину 56 камери. Все це створює вихровий Рух повітря що поступає.

У цьому випадку спіральна шайба 50 розміщується з відкритою зовнішньою поверхнею в положенні різання, протилежному каналу 47 подачі газу. Вісь 57 каналу зміщена відносно центральної осі корпусу 44 у перпендикулярній площині.

В ізоляторі 51 є два паралельних отвори 58, кожен з яких з'єднаний з відповідним радіальним отвором 59 на ізоляторі 51 з одним із пазів 60 на фланці 55. Пази 60 ізолятора 51 розташовані навпроти радіального вікна ступені 49, в якому є вставка 61 з двома діагональними отворами, що ведуть в отвори рукоятки 45, в яку можна вставити електричний кабель 63, який направляється і фіксується розрізним штуцером 62.

Нагрівач живиться через провідник струму 64, який виконаний у формі електричної нагрівальної спіралі 65 і встановлений всередині, через отвір 61 канавки 60 ізолятора 51, його паралельні отвори 58 і радіальні отвори 59 підключений до електричного проводу 63.

На кінці кінці 66 корпусу 44 вгвинчено змінне сопло 67 для подачі нагрітого газу в зону зварки.

Змінна насадка 67 вкручується в кінцевий кінець 66 корпусу 44 і подає нагрітий газ в зону зварювання. Повітря із залишковим тиском від 0,4 до 0,6 кгс/см<sup>2</sup> із шланга подачі газу надходить в канал 47 через штуцер і потрапляє в гвинтову порожнину 56. Коли повітря протікає через порожнину 56, воно зазнає вихрового руху та утримується в корпусі 44. Спіраль 65 підключають до напруги електричним дротом 63 і 64.

Стиснене повітря, що обертається навколо спіралі 65 та ізолятора 51, ефективно нагрівається, забезпечуючи температуру приблизно 250-300°C на виході із сопла 67 попередньо. Залежно від властивостей термопласта, що зварюється, вкручують відповідну регульовану насадку 67 і підбирають відповідну температуру її струменя шляхом встановлення конкретного значення надлишкового тиску повітря.

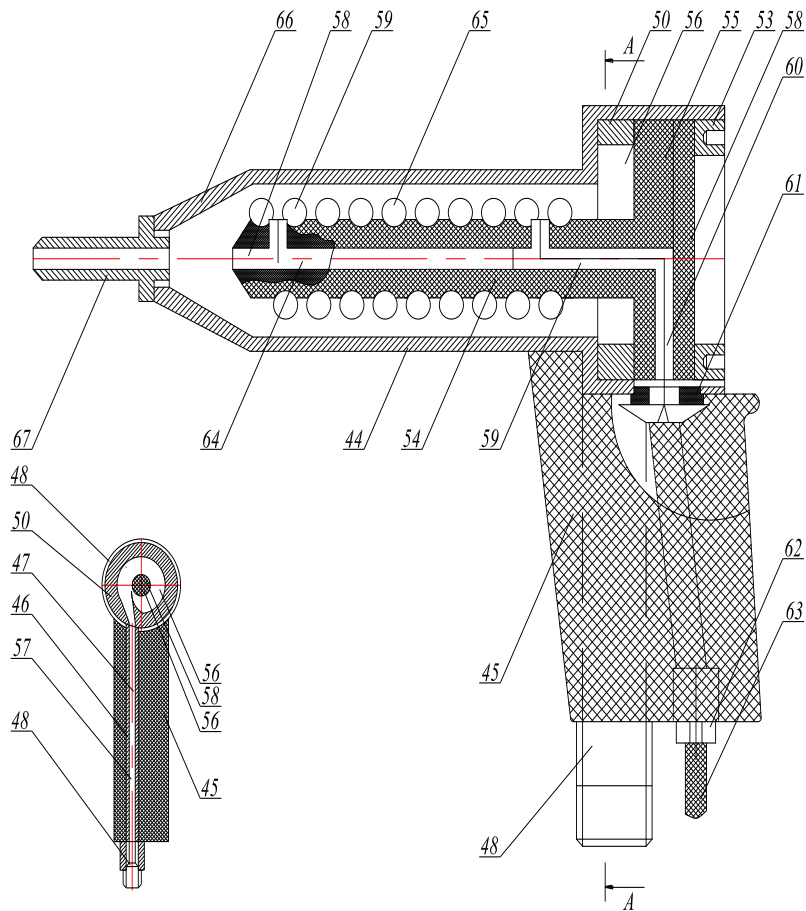


Рисунок 1.7 - Пристрій для зварювання термопластів із нагрітим газом

Під час зварювання пристрій піднімають і вирівнюють за рукоятку 45, а нагріте повітря направляють соплом 67 в зону зварювання термопласту, куди також переміщується розплавлений присадковий стрижень.

Відомий інший пристрій для зварювання пакетів із термопластичних матеріалів з використанням газу як теплоносія [1].

Дане обладнання придатне для зварювання термопластичних матеріалів і може використовуватися в пакувальному обладнанні, яке використовується в різних галузях народного господарства.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Апарат містить трубку 68 (рис.1.8) для введення газу в камеру 69, в якій він нагрівається до температури  $130 \pm 10$  °С, тобто від загальної кількості тепла, необхідного для високоякісного зварного шва, приблизно 90 °С тепла передається зварному шву.

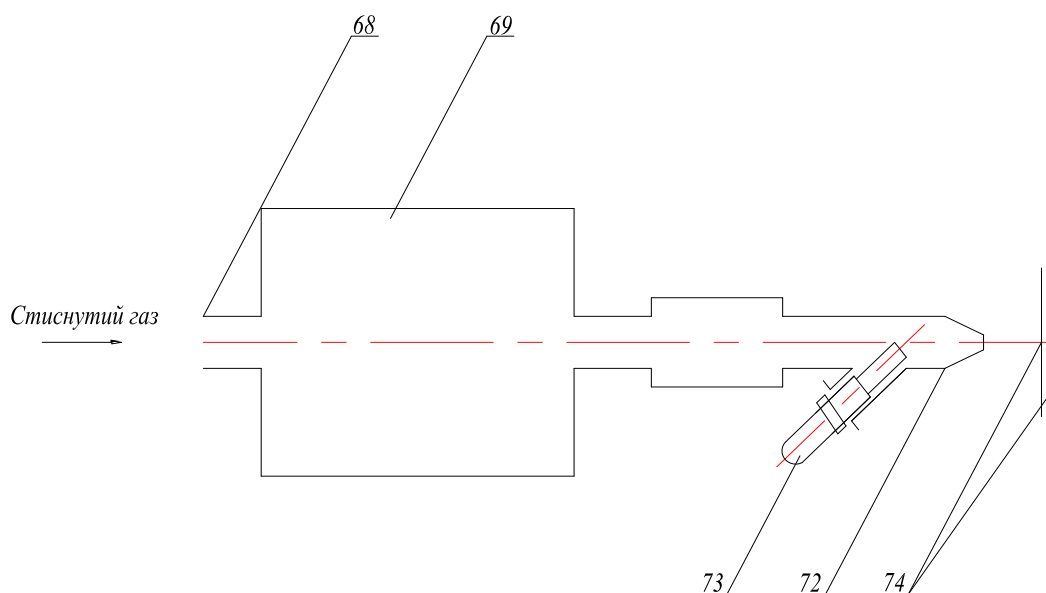


Рисунок 1.8 - Пристрій для зварювання пакетів із термопластичних матеріалів газом-теплоносієм

Вимірювання температури в межах  $130 \pm 10$  °С у камері 69 є важливим, оскільки на стабільність температури в камері 69 сильно впливають такі фактори, як її велика інерційність та пов'язана з нею швидкість і складність точного регулювання температури живильного газу на вході в камеру 69, змінного тиску і температури, зміни зовнішнього середовища, втрат тепла в трубопроводі та ін.

Нагрітий таким чином газ проходить по трубопроводу 70 в камеру 69.

У допоміжній камері 71, завдяки малій інерційності самої камери 71 і наявності сопла, відбувається додатковий нагрів газу (теплоносія) і точний контроль температури в діапазоні допуску  $\pm 1$  °С.

Датчик 72 контролю температури, з'єднаний з нагрівальним елементом камери 71, прикріплений до вихідного отвору датчика 73 контролю температури.

Потім нагрітий газ попадає через отвір сопла 72 на зварювальну поверхню, наприклад горловину пакету 74, виготовлену з термопластичного матеріалу.

Аналіз вищевказаного пристрою виявив наступні переваги:

1. Можна зварювати погано очищені краї, на яких є іржа або бруд.
2. Зварювання можна проводити будь-яким струмом будь-якої полярності.
3. Електрод має досить високу продуктивність, тому перед зварюванням його необхідно гартувати при низькій температурі (100-180°С протягом 1-2 годин).
4. Шлакова система забезпечує отримання газонасиченого і стійкого до старіння металу шва. Володіє рафінуючими властивостями, знижує кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору) і є нейтральним до легуючих елементів, забезпечуючи їх утримання в процесі зварювання.

В результаті аналізу вищевказаного пристрою виявлено наступні недоліки:

1. Зварні пластики характеризуються підвищеною газонасиченістю і схильністю до старіння, внаслідок чого пластик псується і, зокрема, з часом майже вдвічі втрачає його динамічні властивості.
2. Збільшилося розбризкування електродів.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.Кромки для зварювання повинні бути ретельно підготовлені та очищені до металевого блиску, щоб мінімізувати шви.

4.Зварювання можна проводити тільки постійним струмом і зворотної полярності і дуже короткою дугою (інакше відбувається випаровування і згоряння легуючих елементів).

5.Через низьку продуктивність електроди необхідно гартувати при високих температурах (200-400°C протягом 1-2 годин).

#### Висновки до розділу 1

Проведено огляд та аналіз обладнання для зварювання полімерних матеріалів. Висвітлюються їх переваги та недоліки та зроблено твердження про доцільність їх використання.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ТА РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Технологічний процес зварювання полімерних матеріалів

Зварювання полімерних матеріалів — це технологічний процес об'єднання двох або більше частин полімерів за допомогою тепла або тиску. Цей процес може використовувати різні методи, залежно від конкретних властивостей матеріалу і вимог до з'єднання.

Основні методи зварювання полімерів включають:

**Ультразвукове зварювання:** Використовує високочастотні ультразвукові хвилі для створення тертя між поверхнями полімерів, що веде до їх об'єднання.

**Термічне зварювання:** Використовує тепло для плавлення поверхневих шарів полімерів, після чого вони зливаються при охолодженні. Методи термічного зварювання включають гаряче повітря, високочастотне облучення і термічне стискання.

**Лазерне зварювання:** Використовує енергію лазерного променя для плавлення полімерів і їх об'єднання.

**Високочастотне зварювання:** Застосовує високочастотний електричний струм для генерації тепла в полімерах, що веде до їх плавлення та з'єднання.

**Термопресування:** Використовує тиск і тепло для формування з'єднання між поверхнями полімерів.

**Ротаційне зварювання:** Застосовує обертання одного компонента навколо іншого при високій температурі для отримання з'єднання.

Вибір конкретного методу зварювання залежить від властивостей матеріалу, конструкції виробу і вимог до міцності з'єднання. Зварювання

полімерів широко використовується в виробництві пластикових виробів, труб, контейнерів і інших продуктів.

Розробку конструкції неможливо розпочати без детального аналізу технологічного процесу.

Розробку конструкції можна починати тільки після детального аналізу технологічного процесу.

1. Технологічний процес зварювання полімерних матеріалів можна розділити на такі операції:

2. Покладіть зварювальні полімерні матеріали 1 і 2 на робочий стіл.

3. Між двома полімерними матеріалами 1 і 2 вставлено випадочний матеріал у вигляді стрижня.

4. Насадка для подачі гарячого повітря переміщується в зону зварювання.

5. Повітря має нагріватися до температури 600 °С на виході з сопла.

6. Форсунка направляє нагріте повітря в зону зварювання полімерних матеріалів 1 і 2.

7. Під час зварювання присадний метал не плавиться, а стає дуже м'яким, а потік гарячого повітря також розм'якшує шов, який адгезується з наплавленим металом у шві.

8. Увімкнувши важіль подачі, шток 3 просувається в зону зварювання і вмикає обгінну муфту. Рухома муфта обертає ролик, який зачіплює поверхню стрижня з рифленою поверхнею, переміщуючи ролик і вставляючи кінець у зону зварювання.

Зварювання отримуємо високої якості з однорідними швами.

Після виконання всіх операцій у вас є готовий виріб.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Розробка пристрою для зварювання полімерних матеріалів для легкої промисловості

### 2.2.1 Розробка кінематичної схеми пристрою для зварювання матеріалів легкої промисловості

Робота механізму (рис.2.1) здійснюється електродвигуном 1, з'єднаним із черв'ячною передачею 3, за допомогою якого зменшується швидкість обертання і досягається необхідна швидкість руху подачі полімерного матеріалу.

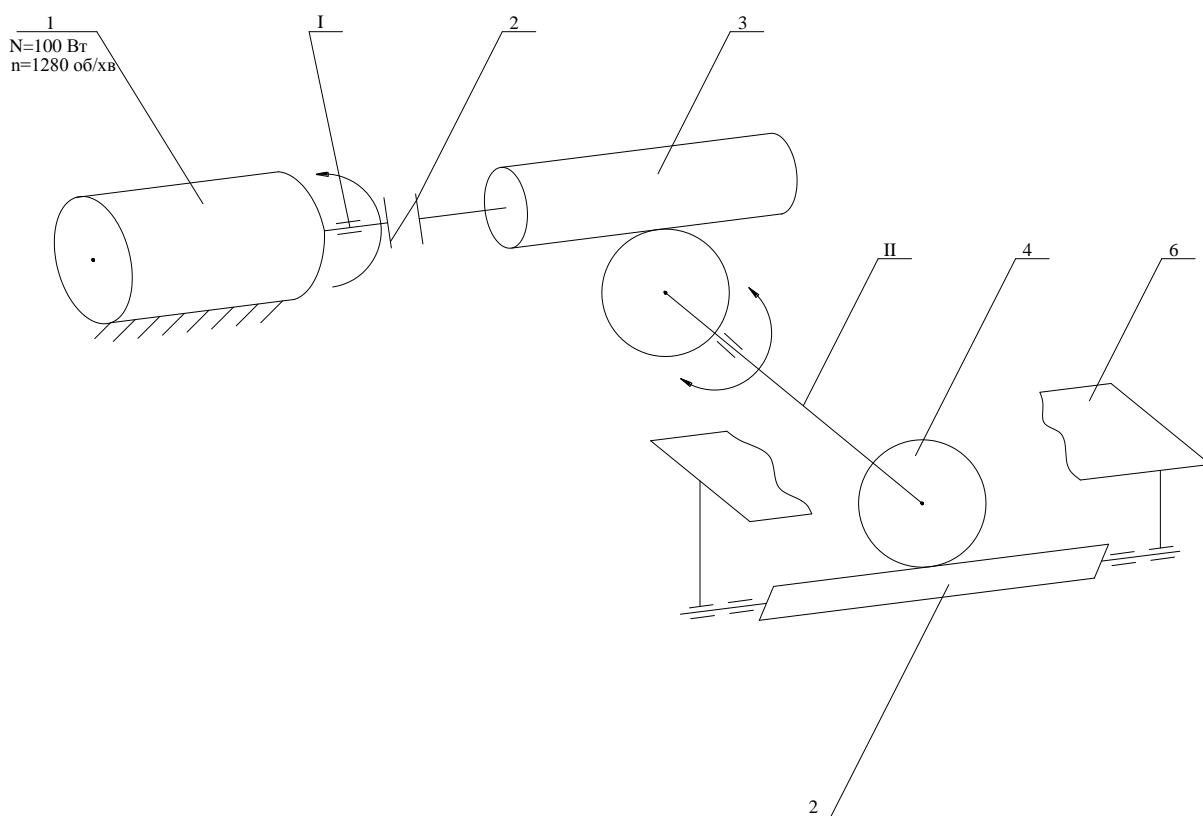


Рисунок 2.1 – Кінематична схема пристрою для зварювання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.  
25

Швидкість руху полімерного матеріалу регулюється зміною напруги лабораторного автотрансформатора, від якого задана напруга подається на електродвигун, який задає необхідну швидкість. Вихідний вал черв'ячного редуктора 3 з'єднаний із шестернею 4, а шестерня 4 входить в зачеплення з рейкою 5 для переміщення зубчастої рейки 5 вперед і назад. При зворотньо-поступальному русі пластина, що рухається по напрямній, переміщує полімерний матеріал відносно нерухомого сопла, закріпленого в певному положенні.

### 2.2.2 Принцип роботи електричної схеми регулятора потужності

Регулятори потужності дозволяють регулювати температуру ТЕНів електричних приладів. Регулятор використовує два триністори та два диністори.

Напруга навантаження (потужність не повинна перевищувати 200 Вт із зазначеним триністором) можна плавно змінювати від 15 В до 215 В.

Контролер працює наступним чином (рисунок 2.2).

Згідно зі схемою, якщо на верхньому штирку роз'єму X1 є півперіод позитивної напруги, конденсатори C1, C2 заряджаються (через резистор R5). Якщо один з них має таку полярність напруги, що диністор відкривається. Мова йде про конденсатор C2 і диністор V4.

Імпульс струму розряду конденсатора надходить в ланцюг керуючого електрода триністор V2. Триністор відкриває та живить навантаження, одночасно розряджаючи інший конденсатор .

Пристрій без керуючого електрода називається діодним тиристором (або диністором).

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Пристрій з керуючим електродом називається триполюсним тиристором або триністром (або просто тиристором).

При від'ємному напівперіоді напруги на тому ж штирку мережевого роз'єму включається другий диністор і відкриває триністор V1.

Це призводить до того, що триністри відкриваються один за одним.

Зсув фази напруги холостого ходу керуючого електрода здійснюється змінним резистором, причому максимальний зсув відбувається при повному введенні опору резистора, тобто при нижньому за схемою положенні двигуна

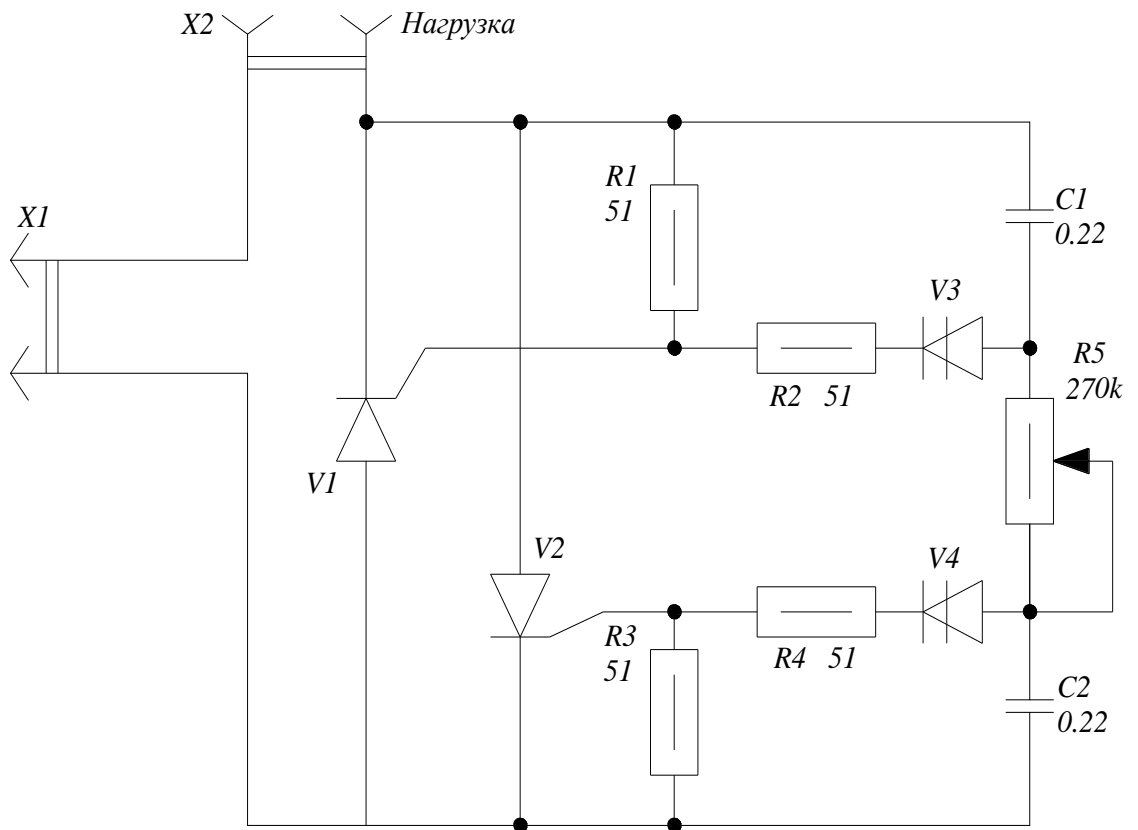


Рисунок 2.2 – Електрична схема регулятора потужності пристрою для зварювання

Диністор діє як електронний перемикач, який працює за певної напруги на конденсаторі. За допомогою диністора ви можете досягти чіткого спрацьовування триністора з однаковим фазовим зсувом, незалежно від параметрів.

Резистори R2 і R4 обмежують струм через керуючий електрод, а R1 і R3 забезпечують стабільну роботу регулятора навіть при зміні температури навколишнього середовища.

Замість диністора КН102А також можна встановити КН102Б або КН102У, але при цьому потрібно трохи зменшити ємність конденсаторів ( до 0,2 або 0,15 мкФ). Найкраще використовувати конденсатори БМТ з номінальною напругою не менше 300 В. Постійний резистор – МЛТ – 0,5, змінний – СП – 1.

Максимальна потужність навантаження залежить від використовуваного триністора.

Триністор КУ202К-КУ202Н дозволяє підключати до регулятора навантаження до 1000 Вт, але в цьому випадку триністор повинен бути посилений тепловідводом - дюралюмінієвої пластиною площа якої має бути 150-200 мм<sup>2</sup> і товщиною не менше 1,5 мм.

Для цих цілей особливо зручно використовувати ребристі радіатори, які використовуються для охолодження потужних транзисторів.

Висновки до другого розділу.

Створено кінематичну схему установки для зварювання полімерних матеріалів.

Розроблено схему електроустановки та пояснено принцип дії схеми регулятора потужності, що використовується в цій установці.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ І РОЗРАХУНКИ, ЩО  
ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИСТРОЮ ДЛЯ  
ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ легкої  
промисловості

3.1 Опис конструкції пристрою зварювання полімерних матеріалів  
легкої промисловості

Установка містить наступні механізми:

- механізм переміщення полімерного матеріалу, що використовується  
для зварювання;

- механізму подачі гарячого повітря у зону зварювання.

Даний пристрій показаний на рисунку 3.1 та у графічній частині  
магістерської роботи [МРМА 21.00.00.000 СК].

Механізм транспортування полімерного матеріалу складається з  
електродвигуна 26, черв'ячного редуктора, шестерні 16, рейки 3,  
направляючої, Г-подібних пластин 8, пластини 9.

Механізм подачі гарячого повітря складається з електродвигуна 25 і  
корпусу черв'ячного прес-форми 2, шланги 13, камери 5, кришки 15, штуцера  
14, ТЕНа 12, насадки ( сопла ) 6.

3.2 Принцип роботи зварювального пристрою для легкої  
промисловості

1. Принцип роботи механізму переміщення полімерних матеріалів

Робота механізму здійснюється електродвигуном, з'єднаним з  
черв'ячною передачею 27, за допомогою якої зменшується швидкість

обертання до досягнення необхідної швидкості переміщення полімерного матеріалу.

Швидкість руху полімерного матеріалу регулюється зміною напруги лабораторного автотрансформатора, з якого визначена напруга передається на електродвигун 25, який задає необхідну швидкість.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

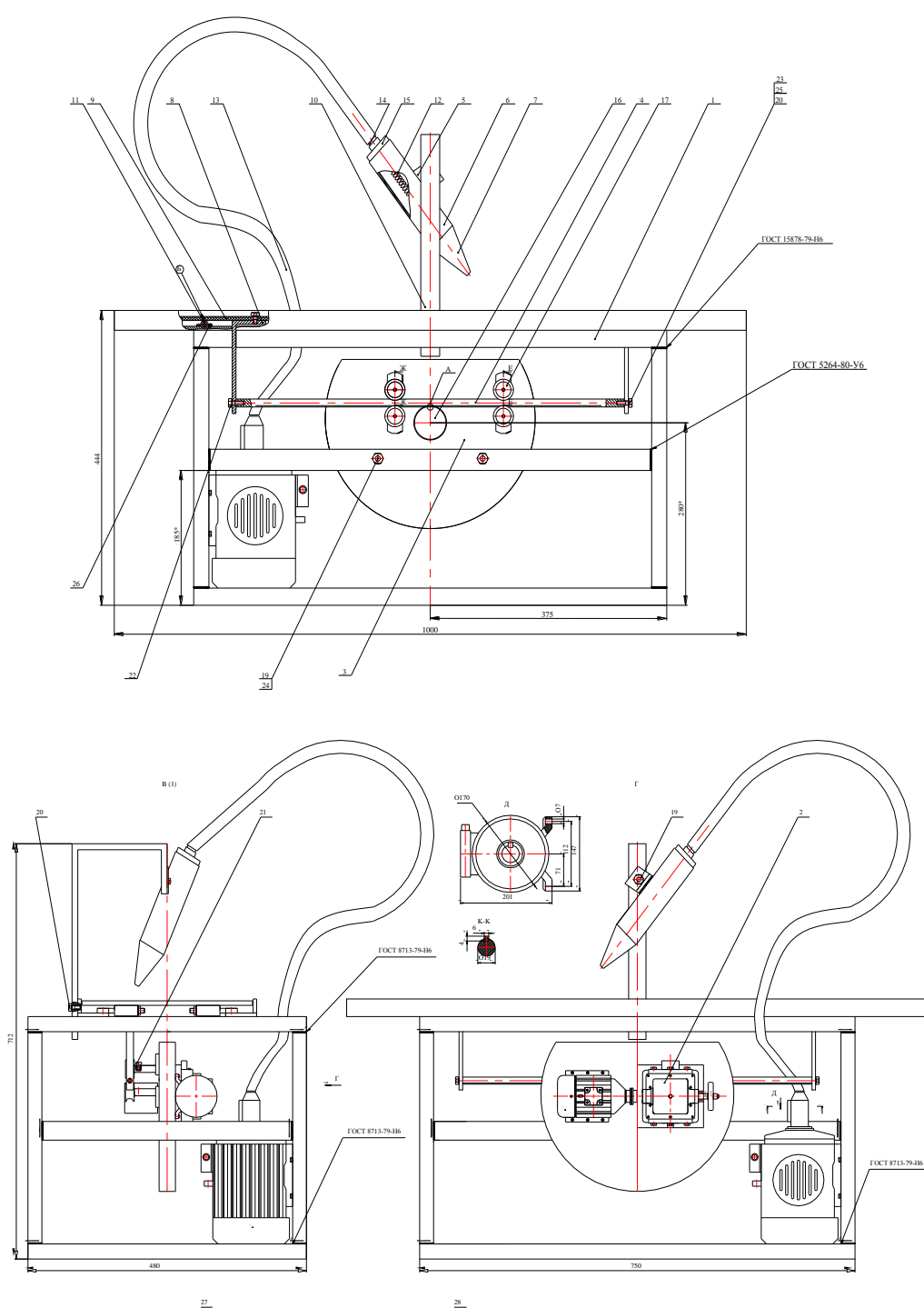


Рисунок 3.1 – Зварювальний пристрій полімерних матеріалів для легкої промисловості

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.  
31

Вихідний вал черв'ячної передачі з'єднаний із шестернею 16 і входить в зачеплення з рейкою 3 для переміщення зубчастої рейки 3 вперед і назад.

Рейка, розташована в напрямних 7, кріпиться до нижніх частин Г-подібних пластинок 8 за допомогою гвинтів, які вкручуються в поздовжні отвори на кінцях рейки.

Верхні частина пластин 8 кріпляться болтами до пластини 14, на якій міститься полімерний матеріал.

Пластина 14 здійснює зворотно-поступальний рух і рухаючись по напрямних 7, переміщує полімерний матеріал щодо нерухомого сопла, закріпленого на місці.

### 3.3 Принцип дії механізму подачі гарячого повітря.

Механізм приводиться в рух електродвигуном 26, швидкість обертання якого регулюється. Електродвигун 26 з'єднаний з вентилятором, розташованим в корпусі 2 у формі равлика. Корпус електродвигуна кріпиться болтами до гвинтового корпусу 2 вентилятора, який отримуючи рух від електродвигуна подає повітря через гофрований шланг 13.

Один кінець гофрованого шланга 13 прикріплений до гвинтового корпусу, а інший кінець прикріплений до кришки 15 камери 5. Повітря, що виходить зі шланга, потрапляє в камеру, в якій розташований ТЕН 12, потужність якого регулюється зміною напруги джерела живлення.

Повітря нагрівається ТЕНОм до необхідної температури і надходить в форсунку 6.

Коли струмінь гарячого повітря виходить із сопла, він потрапляє на полімер, що зварюється.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Методика проведення роботи

Задаємо необхідний режим роботи зварювальної системи (тиск повітря-теплоносія, температура нагрівального елемента, швидкість руху полімерного матеріалу).

Після нагрівання матеріалу починається зварювання шляхом переміщення матеріалу із заданою нами швидкістю.

Зваривши 50-100 мм матеріалу потрібно оцінити якість шва.

Якщо отриманий шов поганої якості (розплавлення зварюваного полімерного матеріалу, виступ присадочного матеріалу від зварюваного матеріалу) потрібно виставити інші параметри установки (тиск повітря-теплоносія, температуру нагрівальних елементів, швидкість переміщення матеріалу і т.д.) або ж змінюємо кут нахилу пальника, відстань матеріалу від сопла і зусилля, що використовується для продавлювання наповнювача в полімер до отримання якісного шва.

### 3.5 Технічна характеристика установки для дослідження процесу зварювання полімерних матеріалів

Технічна характеристика зварювального пристрою для зварювання полімерних матеріалів приведена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика пристрою

№ п/п	Показник	Величина
1	Потужність нагрівача пристрою, Вт	1000

2	Напруга живлення , Вт	36
3	Тиск повітря-теплоносія пристрою, МПа	0,1 – 0,4
4	Витрати повітря-теплоносія пристрою, м <sup>3</sup> /год	2 – 6
5	Продуктивність однорідного зварювання, при діаметрі присадкового матеріалу 3-5 мм, м/год	12 - 20

### 3.6 Розрахунок нагрівального елемента зварювального пристрою

#### 3.6.1 Визначення необхідної кількості теплоти для нагрівання матеріалів

Необхідну кількість теплоти, необхідної для нагрівання та розплаву полімера визначимо за формулою:

$$Q = cm(t_2 - t_1), \quad (3.1)$$

де  $c$  – питома теплоємність матеріалу сопла пристрою;

$m$  – маса елемента сопла,  $m = 2,4$  кг;

$t_2$  - температура нагрівання;

$t_1$  - температура навколишнього середовища.

Беремо температуру навколишнього середовища  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , максимальна температура нагріву складає  $t_2 = 600^\circ\text{C}$ .

Притаманна теплоємність матеріалу сопла складає  $c = 0,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Тоді:

$$Q = 0,7 \cdot 2,4(600 - 20) = 0,98 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Кількість теплоти із врахуванням витрат визначаємо по формулі:

$$Q_n = Q_2 \cdot k_1 \quad (3.2)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт втрат на розсіювання ( $k_1 = 1,3$ );

$$Q_n = 0,98 \cdot 10^6 \cdot 1,3 = 1274000 \text{ Дж}.$$

Обираємо коефіцієнт активної потужності для даного пристрою буде рівним  $\cos \varphi = 1$ .

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}; \quad (3.3)$$

$$I = \frac{1000}{36 \cdot 1} = 27 \text{ А}.$$

Визначаємо опір нагрівального елемента:

$$R_H = \frac{U^2}{P}; \quad (3.4)$$

$$R_H = \frac{36^2}{1000} = 1,29 \text{ Ом}.$$

Площа поперечного перерізу дроту для зварювання :

$$S = \frac{27}{20} = 1,35 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо діаметр дроту для зварювання:

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\Pi}}; \quad (3.5)$$

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,35}{3,14}} = 1,7 \text{ мм}.$$

Визначаємо довжину дроту для зварювання:

$$l = \frac{R_H}{0,33}; \quad (3.6)$$

$$l = \frac{1,29}{0,33} = 3,9 \text{ м}.$$

3.6.2 Підбір електричного двигуна вентилятора зварювального пристрою

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Потужність, що споживається вентилятором зварювального пристрою:

$$N = K_{з.п} \cdot \frac{V_6 \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta_6}; \quad (3.7)$$

де  $K_{з.п}$  - коефіцієнт запасу;  $K_{з.п} = 1,2$ ;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії (ККД) вентилятора,  $\eta = 0,6 \dots 0,7$ ;

$\Delta p$  - різниця тисків при роботі вентилятора,  $\Delta p = 1000 - 1200$  Па;

$$N = \frac{3 \cdot 1000}{1000 \cdot 0,7} \cdot 1,2 = 0,15 \text{ кВт}.$$

Вибираємо електричний двигун вентилятора [3. табл.7 с.8] типу 4А71А4У3 із потужністю 0,15 кВт; кількість обертів  $n = 1390$  об/хв.

3.7 Розрахунок приводу пристрою для транспортування полімерних матеріалів

3.7.1 Розрахунок параметрів приводу для транспортування полімерних матеріалів

Вихідні дані:

$R_H, H = 1000$  - тягове зусилля механізму переміщення;

$V, м/с = 0,015$  - швидкість руху конвеєра пристрою переміщення;

$t, мм = 3$  - крок зачеплення;

$z = 65$  - число зубців зубчатого колеса механізму переміщення ;

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$g = 9,8$  - прискорення вільного падіння

Потужність на валу пристрою переміщення:

$$P_e = \frac{P \cdot g \cdot V}{1000}; \quad (3.8)$$

$$P_e = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,015}{1000} = 0,14 \text{кВт}.$$

Кількість обертів валу пристрою переміщення:

$$n_e = \frac{60000 \cdot V}{t \cdot z}; \quad (3.9)$$

$$n_e = \frac{60000 \cdot 0,052}{3 \cdot 65} = 16 \text{хв}^{-1}.$$

Загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу переміщення :

$$\eta_3 = \eta_1 \cdot \eta_2^2; \quad (3.10)$$

де  $\eta_1 = 0,7$  – ККД закритої черв'ячної передачі;

$\eta_2 = 0,995$  – ККД пари підшипників кочення вала [1. табл..6.3, с.122].

$$\eta_3 = 0,7 \cdot 0,995^2 = 0,693.$$

Розрахункова потужність двигуна пристрою переміщення :

$$P_{ел} = \frac{P_6}{\eta_3}; \quad (3.11)$$

$$P_{ел} = \frac{0,14}{0,638} = 0,10 \text{кВт}.$$

Вибір електродвигуна приводу пристрою переміщення матеріалів :

Електродвигун вибираємо такого типу УАД – 24 із частотою обертання 1280 об/хв., та потужністю  $P_{дв} = 0,10 \text{кВт}$ ,  $T_n / T_{ном} = 1,5$ ;  $d_6 = 5,5 \text{мм}$ .

Знаходження передаточних чисел приводу:

$$U_3 = \frac{n_{дв}}{n_6}; \quad (3.12)$$

Частот обертання валів приводу:

$$n_1 = n_{дв} = 1280 \text{об/хв};$$

$$U_3 = \frac{1280}{16} = 80;$$

$$n_2 = n_1 / U_3 = 1280 / 80 = 16 \text{об/хв}. \quad (3.13)$$

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Потужності на валах двигуна:

$$P_1 = P_{об.} = 0,21 \text{кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,21 \cdot 0,7 \cdot 0,995 = 0,146 \text{кВт}. \quad (3.14)$$

Крутні моменти: на валах двигуна

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P_1}{n_1} = \frac{0,21}{1280} \cdot 9550 = 1,56 \text{Н} / \text{м}; \quad (3.15)$$

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_2} = \frac{0,146}{16} \cdot 9550 = 87,14 \text{Н} / \text{м}.$$

### 3.7.2 Вибір матеріалів та розрахунок граничних напружень.

Приблизне значення швидкості ковзання:

$$V_s = 0,00045 \cdot n_2 \cdot \sqrt[3]{T_2}; \quad (3.16)$$

$$V_s = 0,00045 \cdot 16 \cdot \sqrt[3]{87,14} = 0,05 \text{с}^{-1}.$$

Узгоджено потужності двигуна  $p = 1,2$ , вибираємо четверту групу термообробки, для якої термообробка черв'яка поліпшення та загартування СВЧ.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Відповідно [2. табл.2.1, с.8] обрано для виробництва черв'яка сталь 40ХН твердість всередині НВ 262...302, поверхнева твердість НРС 48...53  $\sigma_T = 750\text{МПа}$ ,  $\sigma_\sigma = 790\text{МПа}$ .

Вершину черв'ячного колеса, при швидкості ковзання  $V_s \leq 2\text{м/с}$  очікуватиметься виготовити з латуні ЛАЖМц 66-6-3-2 [3, Табл.Т39, с.38] з границею текучості, границею міцності  $[\sigma_\sigma] = 638\text{МПа}$ ,

Визначення граничних контактних напружень:

$$[\sigma_H] = (300...275) - 25 \cdot V_s; \quad (3.17)$$

$$[\sigma_H] = 275 - 25 \cdot 0,05 = 273,75.$$

Граничні напруження на згин:

$$[\sigma_F] = 0,25 \cdot \sigma_T + 0,08 \cdot \sigma_\sigma; \quad (3.18)$$

$$[\sigma_F] = 0,25 \cdot 236 + 0,08 \cdot 638 = 110\text{МПа}.$$

Гранично допустимі напруження:

$$[\sigma]_{H\max} = 4 \cdot \sigma_T; \quad (3.19)$$

$$[\sigma]_{H\max} = 4 \cdot 236 = 944\text{МПа}.$$

Гранично допустимі напруження на згин:

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_{F_{\max}} = 0,8 \cdot \sigma_T; \quad (3.20)$$

$$[\sigma]_{F_{\max}} = 0,8 \cdot 236 = 188,8 \text{ МПа}.$$

### 3.7.3 Розрахунок закритої черв'ячної передачі

Вихідні дані:

$V_s$  - швидкість ковзання  $V_s = 0,05 \text{ с}^{-1}$ ;

$U$  - передаточне число приводу  $U = 80$ ;

$q$  - коефіцієнт динамічності приводу  $q = 20$  [3, Табл. Т.40, с.38];

$z$  - число зубців черв'яка  $z = 1$  [3, Табл. Т.41, с.38].

Розрахунок кількості зубців черв'ячного колеса:

$$z_2 = z_1 \cdot U; \quad (3.21)$$

$$z_2 = 1 \cdot 80 = 80.$$

Визначення міжосьової відстані передачі:

$$a = \left( \frac{z_2}{q} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{ \left( \frac{5400}{[\sigma_H] \cdot \frac{z_2}{q}} \right)^2 \cdot K_H \cdot T_2 }; \quad (3.22)$$

де  $K_H$  - коефіцієнт навантаження за контактними напруженнями;

$$K_H = 1 + 0,5 \cdot \left( \frac{z_2}{\theta} \right)^3; \quad (3.23)$$

де  $\theta$  - коефіцієнт деформації черв'яка, прийнято  $\theta = 248$  [2, Табл. 2.14, с.22];

$$K_H = 1 + 0,5 \cdot \left( \frac{80}{248} \right)^3 = 1,016;$$

$$a = \left( \frac{80}{20} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{5400}{273,75 \cdot \frac{80}{20}} \right)^2} \cdot 1,016 \cdot 332,46 = 100,866 \text{ мм}.$$

Вибираємо стандартну передачу відповідно до заданого передавального числа коробки передач  $U = 80$ , коефіцієнта діаметра  $q = 20$  і кількості зубів черв'яка  $z = 1$ .

Згідно таблиці маємо стандартну черв'ячну передачу з модулем зачеплення  $m = 2,5$  зі значенням міжосьової відстані  $a = 125$  мм [3, табл.Т.43, с.40].

Визначення основних розмірів черв'яка та черв'ячного колеса.

Ділильний діаметр черв'яка:

$$d_1 = q \cdot m; \quad (3.24)$$

$$d_1 = 20 \cdot 2,5 = 50 \text{ мм}.$$

Середній ділительний діаметр передачі:

$$d_{m2} = m \cdot z_2; \quad (3.25)$$

$$d_{m2} = 2,5 \cdot 80 = 200 \text{ мм}.$$

Діаметри вершин вала черв'яка:

$$d_{a1} = d_1 \cdot 2m; \quad (3.26)$$

$$d_{a1} = 50 \cdot 2 \cdot 2,5 = 55 \text{ мм}.$$

Діаметри вершини для колеса:

$$d_{a2} = d_{m2} + 2m; \quad (3.27)$$

$$d_{a2} = 200 + 2 \cdot 2,5 = 205 \text{ мм}.$$

Діаметри впадин для колеса:

$$d_{f1} = m \cdot (q - 2,4); \quad (3.28)$$

$$d_{f1} = 2,5 \cdot (20 - 2,4) = 44 \text{ мм};$$

$$d_{f2} = m \cdot (z - 2,4); \quad (3.29)$$

$$d_{f2} = 2,5 \cdot (80 - 2,4) = 194 \text{ мм}.$$

Найбільший діаметр черв'ячного колеса:

$$d_{ma2} = d_{a2} + \frac{6 \cdot m}{z_1 + 2}; \quad (3.30)$$

$$d_{ma2} = 205 + \frac{6 \cdot 2,5}{1 + 2} = 210 \text{ мм}.$$

Довжина нарізної (робочої) частини черв'яка:

$$b_1 = (16 \dots 20) \cdot m; \quad (3.31)$$

$$b_1 = (16 \dots 20) \cdot 2,5 = 40 \dots 50 \text{ мм}.$$

Приймаємо:  $b_1 = 50 \text{ мм}$ .

Ширина і черв'ячного колеса:

$$b_2 = (0,67 \dots 0,75) \cdot d_{a1}; \quad (3.32)$$

$$b_2 = 0,75 \cdot 55 = 41,25 (\text{мм}).$$

Кут підйому гвинтової лінії червяка:

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

$$\varphi = \arctg q \cdot \frac{z_1}{q}; \quad (3.33)$$

$$\varphi = \arctg q \cdot \frac{1}{20} = 2,86^{\circ}.$$

Уточнення коефіцієнта для навантаження:

$$K_H = K_{\beta} \cdot K_V; \quad (3.34)$$

де  $K_{\beta}$  - коефіцієнт концентрації для навантаження;

$$K_{\beta} = 1 + \left( \frac{z_2}{\theta} \right)^3 \cdot (1 - X); \quad (3.35)$$

де  $X$  – коефіцієнт, що враховує характер навантажування. При помірному (малозмінному) навантажуванні  $X = 1$ . Прийнято  $X = 1$ .

$$K_{\beta} = 1 + \left( \frac{80}{248} \right)^3 \cdot (1 - 1) = 1.$$

де  $K_V$  - коефіцієнт динамічності навантаження для 9-го ступеня точності

$$K_V = 1,25;$$

$$K_H = 1 \cdot 1,25 = 1,25.$$

Узгоджене значення швидкості ковзання:

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000 \cdot \cos \varphi}; \quad (3.36)$$

$$V_s = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 16}{60000 \cdot 0,9987} = 0,0419 \text{ м/с}.$$

Повірка контактних напружень:

$$\sigma_H = \frac{5400}{\frac{z_2}{q}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{q} + 1}{a}\right)^3} \cdot K_H \cdot T_2; \quad (3.37)$$

$$\sigma_H = \frac{5400}{\frac{80}{20}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{80}{20} + 1}{125}\right)^3} \cdot 1,016 \cdot 332,46 = 198,49 \leq [\sigma_H] = 273,75$$

Повірка напружень згину:

$$\sigma_F = \frac{1500 \cdot K_F \cdot Y_{F2} \cdot T_2 \cdot \cos \varphi}{m^3 \cdot q \cdot z_2} \leq [\sigma_F] \text{ МПа}; \quad (3.38)$$

де  $K_F$  - коефіцієнт навантажування,  $K_F = K_H = 1,25$ ;

$Y_{F2}$  - коефіцієнт форми зубів черв'ячного колеса;

$$Y_{F2} = 1,25 + \frac{6}{\frac{z_2}{\cos^3 \varphi} - 20}; \quad (3.39)$$

$$Y_{F2} = 1,25 + \frac{6}{\frac{80}{0,9987^3} - 20} = 1,35;$$

$$\sigma_F = \frac{1500 \cdot 1,25 \cdot 1,35 \cdot 332,42 \cdot 0,9987}{2,5^3 \cdot 20 \cdot 80} = 34,69 \leq [\sigma_F] = 110 \text{ МПа}$$

### 3.7.4 Тепловий розрахунок зварювального пристрою

Температура нагрівання масла без штучного охолодження:

$$t_{\text{роб}} = \frac{(1-\eta) \cdot P}{K_T \cdot A \cdot (1+\psi)} + 20^0 \leq [t] \text{ роб}; \quad (3.40)$$

де  $K_T = 17 \text{ Вт} (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  [2, с.24] – коефіцієнт теплопередачі при теплообміні;

$A$  – поверхня корпусу пристрою;

$$A = 12 \cdot a^{1,71}; \quad (3.41)$$

$$A = 12 \cdot 0,125^{1,71} = 0,343 \text{ мм}.$$

де  $\psi = 0,3$  [2, с.24] – коефіцієнт, який враховує відведення теплоти від редуктора корпусу в металічну плиту чи у раму;

$[t]_{роб} = 95^{\circ}$  [2, с.24] – максимально гранична температура мастила;

$$t_{роб} = \frac{(1-0,693) \cdot 557}{17 \cdot 0,343 \cdot (1+0,3)} + 20^{\circ} = 42,56^{\circ} \leq [t]_{роб} = 95^{\circ}.$$

Розрахункова в'язкість мастила:

$$\nu = 30 + 2 \cdot K_q - 0,005 \cdot K_q^2; \quad (3.42)$$

де  $K_q$  - проміжний коефіцієнт для знаходження в'язкості мастила;

$$K_q = \frac{\sigma_H^2}{1000 \cdot V_s}; \quad (3.43)$$

де  $\sigma_H$  - діючі контактні напруження в передачі  $\sigma_H = 273,75$  МПа;

$V_s$  - точне значення швидкості ковзання,  $V_s = 0,0149$  – якщо швидкість менша 1 м/с, то в розрахунках в'язкості мастила братиметься  $V = 1$  м/с.

$$K_q = \frac{273,75^2}{1000 \cdot 1} = 74,939.$$

В'язкість рідкого мастила для черв'ячної передачі:

$$\nu = 5 + 0,75 \cdot 74,939 - 0,0025 \cdot 74,939^2 = 47,16 \text{ мм}^2 / \text{с}.$$

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вибрано [3, Т.54, с.66] для змащування зачеплення мастило індустріальне И-50А.

Для змащування підшипників кочення вибрано мастило універсальне середнє плавке (солідол жировий) УС-2 [3, Т.55, с.66].

Глибина занурення в мастило черв'ячного колеса:

$$h_m = (0,2 \dots 0,5) \cdot d_1; \quad (3.44)$$

$$h_m = (0,2 \dots 0,5) \cdot 50 = 10 \dots 25 \text{ мм.}$$

Висновки до розділу 3.

Розроблено конструкцію, проведено розрахунки та перевірено працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів.

Описано та пояснено принцип роботи механізму подачі гарячого повітря. Розраховано нагрівальний елемент. Підібрано електромотор вентилятора.

Зроблено розрахунки приводу замкнутого черв'ячного редуктора для подачі полімерних матеріалів.

Ми провели теплотехнічний розрахунок для вбудованих елементів.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 4. ВИПРОБОВУВАННЯ ЗРАЗКІВ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІСЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

### 4.1 Види зварних швів, що піддавались зварюванню

Внутрішні та зовнішні канавки та несприятливі коливання товщини стінок визначають ефективну несучу здатність зварного з'єднання, яка за деяких обставин може бути значно нижчою, ніж міцність матеріалу.

У будь-якому випадку зварні з'єднання мають певний ступінь нерівномірності.

У більшості випадків зварні шви не обробляються, що додає нерівності поверхні та знижує ефективну несучу здатність.

На наступному малюнку показано чотири різні кутові з'єднання з різними конструкціями.

Коли ці з'єднання зігнути, стає зрозуміло, що прямокутні кутові з'єднання, як правило, значно менш вигідні, ніж округлені кути некруглих з'єднань. Криві завжди витримують дуже високі механічні навантаження та мають ефективну навантажувальну здатність до 10 разів вищу, ніж традиційні прямокутні кутові з'єднання (рисунок 4.1).

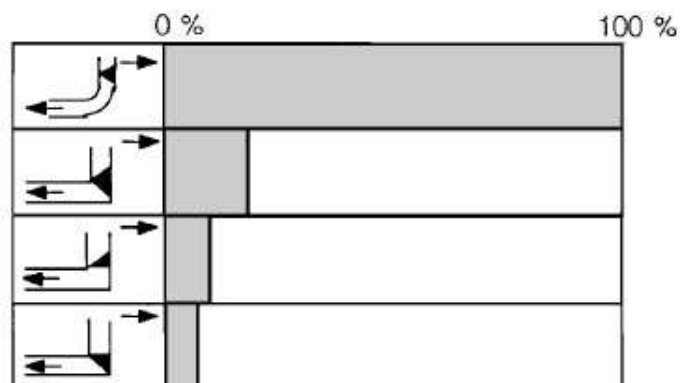


Рисунок 4.1 – Види кутових зварних з'єднань та напрямки руху навантажень на них

Односторонні зварні Т-подібні з'єднання працюють значно краще, ніж двосторонні зварні. Тут також важливо, щоб з боків затискної частини не було вигинів (рисунок 4.2). На ефективну навантажувальну здатність також позитивно впливає те, що відбувається певне закруглення кутових швів, що позитивно впливає на розподіл силового потоку.

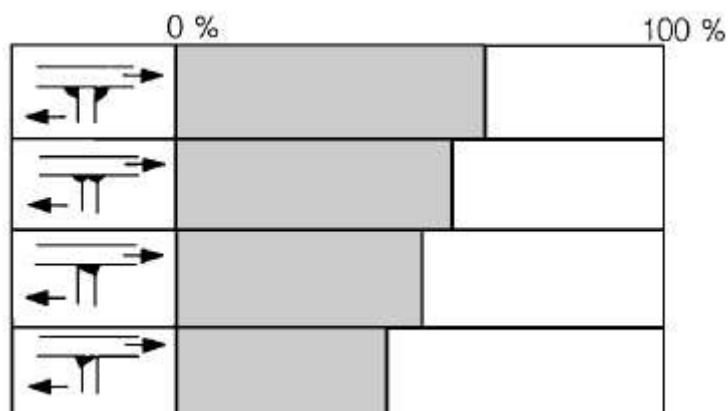


Рисунок 4.2 – Види Т-подібних зварних з'єднань та напрямки руху навантажень на них

На наступному зображенні показано з'єднання під навантаженням на розтяг. У зоні шва виникають напруги розтягування або зсуву. Механічно оброблені V-подібні шви мають вищу ефективну несучу здатність, оскільки потік сил необмежений, а вплив сил прогину мінімізований.

У простих з'єднаннях нахлест зварних швів створює не тільки згинальні моменти, а й сили розтягування або зрізу.

Ефективна навантажувальна здатність тут дуже низька, оскільки потік сили сильно обмежений.

Навпаки, з'єднання з подвійним перекриттям сприяють сприятливому відхиленню потоку сил.

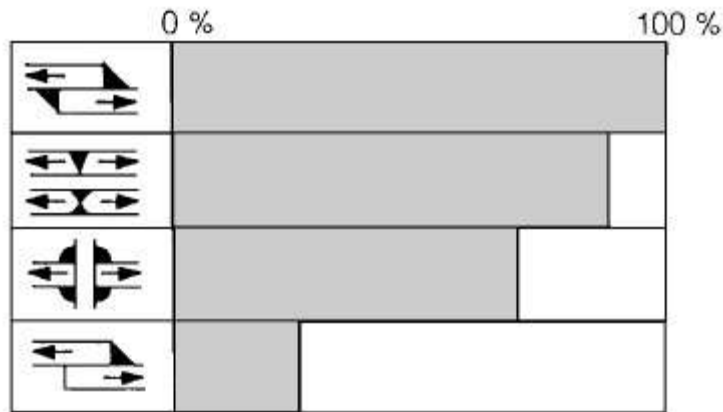


Рисунок 4.3 – Види пласких зварних з'єднань та напрямки руху навантажень на них

Даний вид з'єднання має високу ефективну навантажувальну здатність. Те саме стосується взаємозв'язків.

Розташування зварного шва. У разі несучих і кутових швів розміри такі, щоб забезпечити необхідний переріз для передачі зусилля. Рекомендується варіант з'єднання встик. V-образні шви повинні бути зварені з протилежного боку від основи шва.

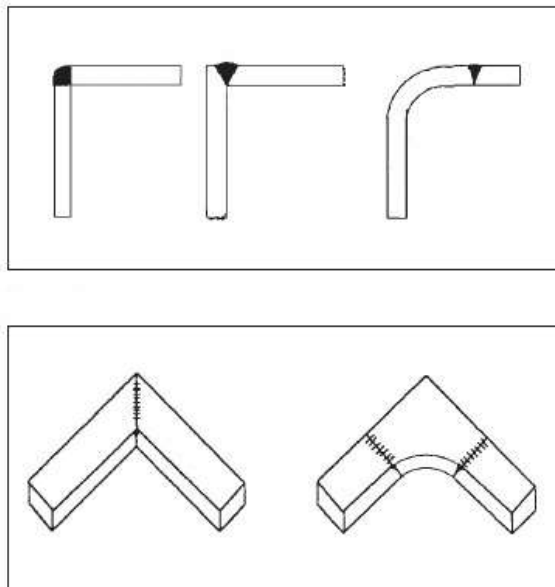


Рисунок 4.3 - Розташування зварних швів

При стикуванні заготовок різної товщини виникають перехідні області проходження силового потоку (рис. 4.4).

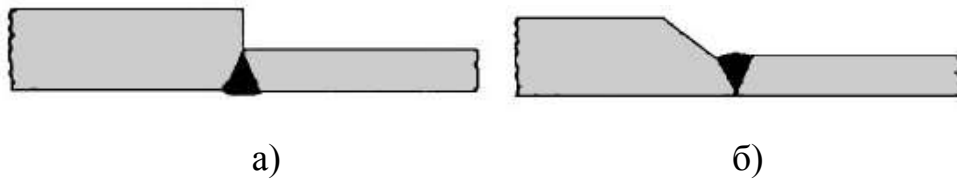


Рисунок 4.4 - Розташування зварних швів та зміни поперечного перерізу:  
а) не благоприємне розміщення швів; б) благоприємне розміщення швів

Слід уникати скупчення зварних швів в одному місці. Взаємне перетинання швів не допускається (рис. 4.5).

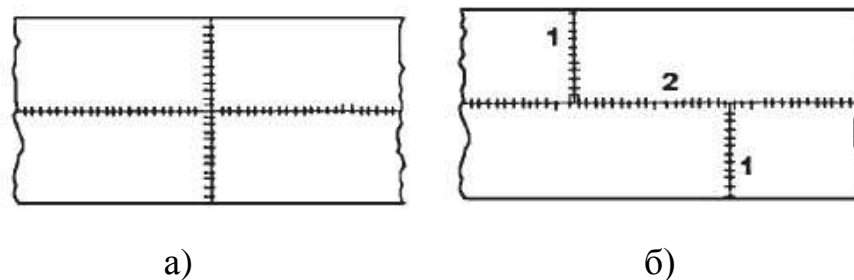


Рисунок 4.5 – Приклади скупчення швів та розміщення: а) недозволене зварювання; б) правильна послідовність зварювання

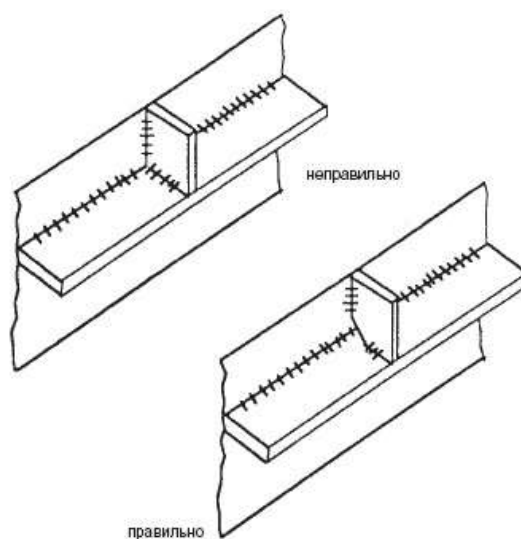


Рисунок 4.5 – Створення жорсткості конструкції полімерної конструкції

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

При зварюванні термопластичних матеріалів залежно від методу зварювання виникають різні стани механічної напруги, які в зварному шві можуть діяти в поперечній, поздовжній, а для заготовок більшої товщини також і у вертикальній площинах. Ці напруги викликані відмінностями в місцевому нагріві, пов'язаними з нерівномірним охолодженням.

При нагріванні матеріалу в зоні зварного шва через теплове лінійне розширення виникають напруги тиску, причому завдяки пластичній поведінці термопластичних полімерів у процесі зварювання відбувається ослаблення цих напруг. При подальшому охолодженні потім утворюються теплові механічні напруги. У той час як поздовжні напруження, що виникають в поперечнику зварного шва, не залежать від методу зварювання, для поперечних напруг, що виникають, це не так. При цьому вирішальним є стан панелі, що зварюється, а саме: або панель затиснута, або вона може стискатися. При зварюванні нагрітим газом поперечні напруги своїм виникненням зобов'язані змінюють один одного з часом фаз процесу зварювання: через вже згадані послаблення напруги в початковій області виникають теплові напруги. При продовженні зварювання ці області матеріалу повинні сприймати також напруги розтягування, що розвиваються. З цього впливає той факт, що, виникнувши в початкових областях, напруги розтягування зберігаються в останній з зон, що зварюються.

#### 4.2. Технологічне випробування на вигин та розрив зварних з'єднань

Технологічне випробування на вигин служить (у поєднанні з іншими випробуваннями) для отримання висновків про якість зварювання. Кут вигину і картина руйнування дозволяють робити висновки про здатність з'єднання до деформацій і, таким чином, якість виконання зварного шва.

Довгострокові властивості зварної сполуки можуть бути визначені на основі випробування на вигин лише умовно.

Зразок з обробленим зварним швом згинається навколо заокругленого стрижня товщиною 6 мм з зусиллям, що швидко наростає до руйнування зразка, відповідно до стану, при якому вільні кінці зразка досягають стрижня (рис. 4.6).

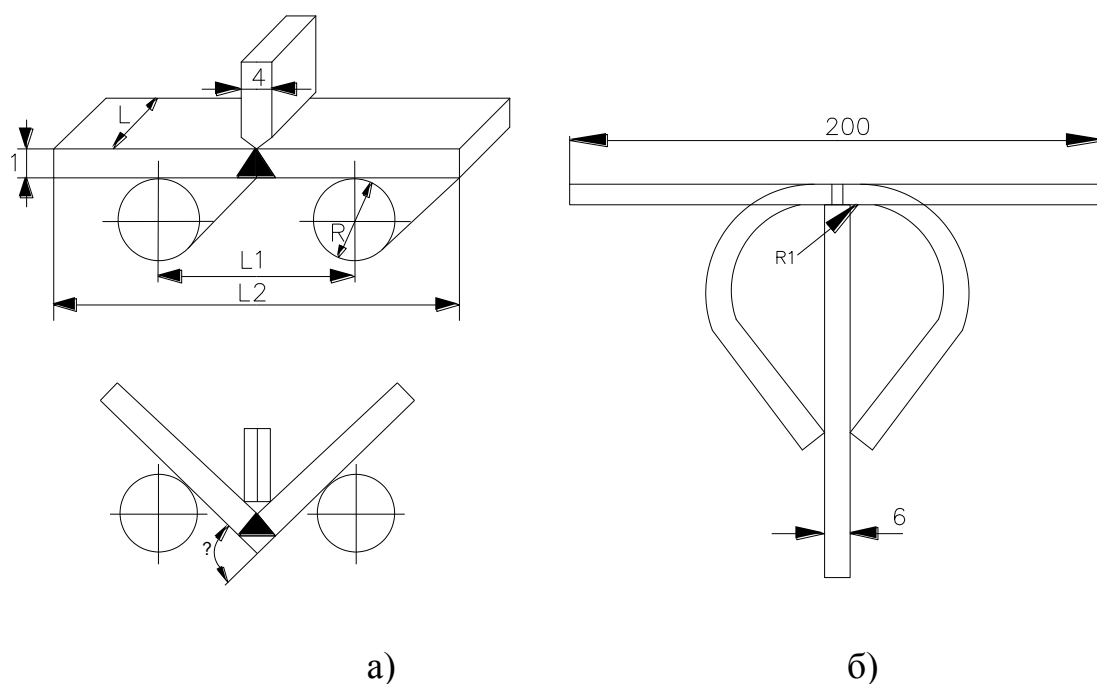


Рисунок 4.6 – Схематичне зображення випробування зразків зварних з'єднань: а) ручним способом; б) машинним способом

Короткочасні показники надаються для часу навантаження до однієї години. Таким чином, довгострокові показники слід використовувати лише у конструкційних розрахунках(таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 Коефіцієнти короткочасної та довготривалої міцності зварювання

	Сварка нагретым газом		Конт. стык. сварка с нагреват. элементом		Экструзионная сварка	
	Крактовр. коэффиц.	Долговрем. коэффиц.	Крактовр. коэффиц.	Долговрем. коэффиц.	Крактовр. коэффиц.	Долговрем. коэффиц.
ПЭ-НВU ПЭ-НВST	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6
ПП-ДВU ПП-ДВST	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6
ПВХ-САW ПВХ-МZ	0,8	0,4	0,9	0,6	-	-
ПВДФ	0,8	0,4	0,9	0,6	-	-

Коефіцієнт міцності зварювання (випробування на розрив): коефіцієнт зварювання визначається як відношення міцності на розрив зварного шва до міцності на розрив основного робочого матеріалу.

В якості об'єкта для машинного випробування зразків взято розривну машину МР. Універсальна випробувальна машина (рис.4.7) призначена для визначення механічних властивостей металів, пластмас, волокон, композиційних матеріалів тощо.

За допомогою універсальної випробувальної машини ТІRAtest-2151 визначаються характеристики міцності і деформації матеріалів з максимальним зусиллям до 5 кН. Особливості випробування полімерних зразків показані у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Особливості випробовування полімерних зразків

Режими навантаження та деформування		
1). Розтяг, стиск або згин із заданою постійною швидкістю деформування	2). Випробування на повзучість при постійному або циклічному навантаженні	3). Вимірювання релаксації напружень при постійній або циклічній деформації

Особливості випробувальної машини TIRAtest-2151		
1). Реєстрація та обробка результатів вимірювань за допомогою мікропроцесора	2). Можливість здійснювати повні цикли випробувань, що керуються процесором	3). Автоматичне визначення та друкуванням протоколу та статистики
4). Встановлена система виявлення помилок, що можуть бути допущені при вводі даних	5). Простий ввід даних, що керується оператором, за допомогою клавіатури та застосуванням світлодіодів	6). Автоматичне повернення затискувачів після руйнування зразків або при досягненні заданої деформації

Технічні дані випробувальної машини TIRAtest-2151			
За навантаженням		За деформацією	
Максимальне випробувальне навантаження, кН	5.0	Максимальне переміщення траверси, мм	800
Межі зміни навантаження, кН	від 0.01 до 5.0	Діапазон зміни швидкостей траверси, мм/хв	від 0.5 до 1000
Похибка вимірювання навантаження, %	не більше 1,0	Точність вимірювання переміщень мм	0.01
Пружність (питома деформація) випробувальної системи $8.0 \cdot 10^{-5}$ мм/Н			

Випробування проводжу на розривних машинах МР-200 (рисунок 4.7) з використанням стандартних зразків (тип ІІІ за ГОСТ 1497-84) з площею поперечного перерізу  $F_0$  і робочої (розрахункової) довжиною  $l_0$ .

Щоб визначити міцність, що працює на розтяг, зразок встановлюють в затискачі розривної машини. Сила, що розтягує, створює напругу в випробувальному зразку і викликає його подовження. Коли напруга перевищить міцність зразка, він розірветься.

Розтягують зразок без збільшення навантаження. Горизонтальна область називається областю потоку. Напруження, при якому деформація зростає без збільшення навантаження, називається межею текучості. Як показали дослідження, текучість супроводжується великими взаємними зміщеннями кристалів, що призводить до утворення на поверхні зразка ліній, нахилених під кутом  $45^\circ$  до осі зразка.

Перебуваючи в стані текучості, матеріал знову знаходить свою здатність чинити опір подовженню (зміцненню), і графік піднімається вгору, хоча і набагато більш порожнистий, ніж раніше.

У деяких місцях натяг зразка досягає максимального значення, що призводить до сильного локального звуження зразка, так званої шийки.

Площа поперечного перерізу шийки швидко зменшується, що призводить до руйнування зразка.

Графіки зміни напруг зварювання по довжині зварного шва при зварюванні методами з нагрівальним елементом та при зварюванні нагрітим газом (відповідно до маси) (рис. 4.8)

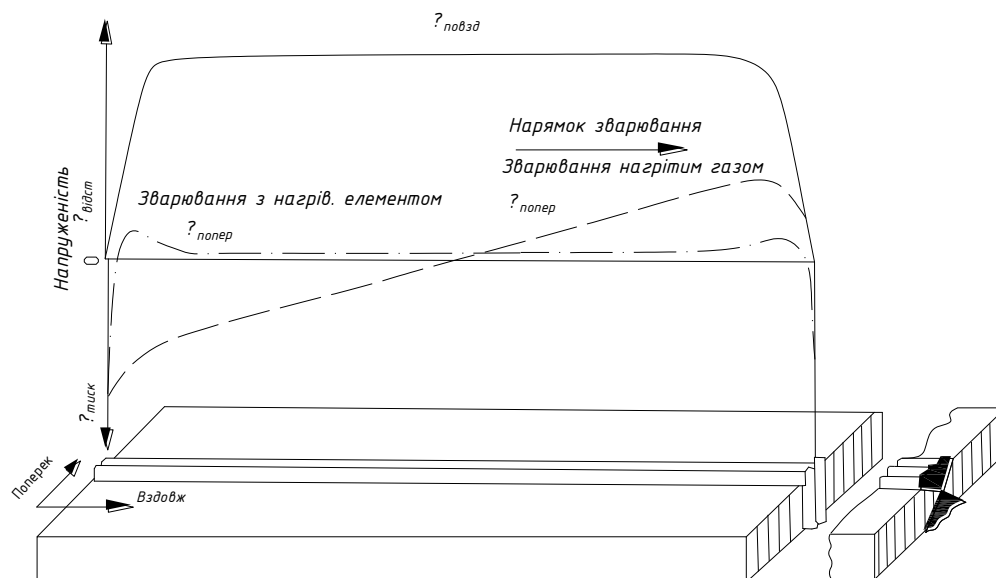


Рисунок 4.8 - Графік зміни напруг зварювання по довжині зварного шва

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Явище зміни напруги зварювання в перерізі, вертикальному по відношенню до зварного шва. Величина поперечних напруг при контактному стиковому зварюванні із нагрівальним елементом значною мірою залежить від величини та тривалості тиску зварювання (рис. 4.9)

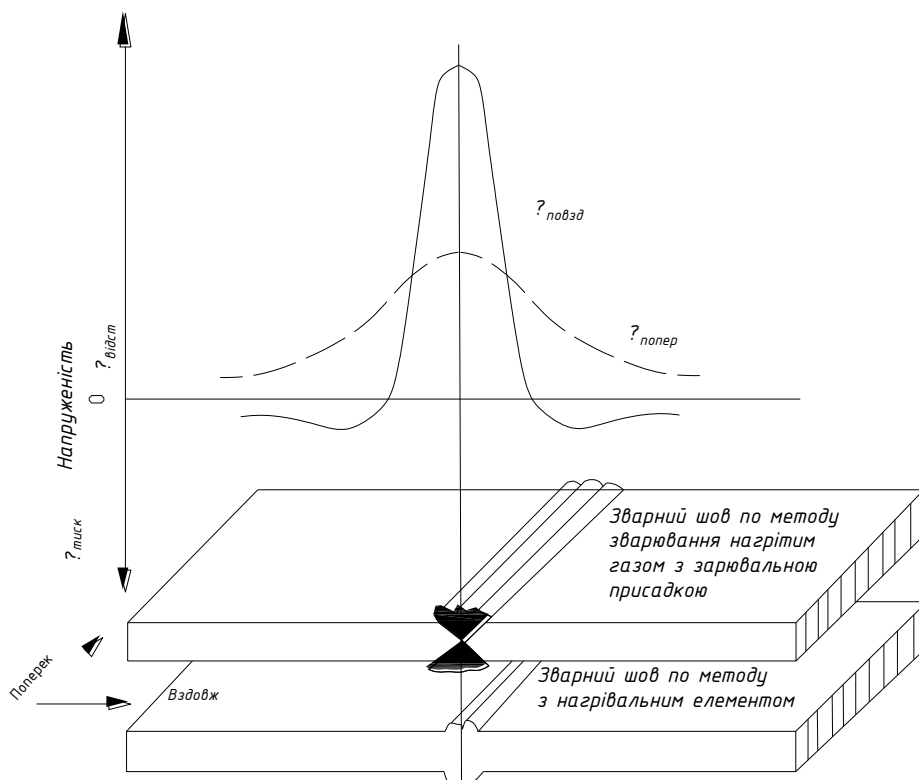


Рисунок 4.9 – Графік зміни напруг зварювання в перерізі, вертикальному по відношенню до зварного шва

Залежність мінімального кута вигину від товщини зразка показано на рисунку 4.10 та у графічній частині магістерської роботи.

Із приведених графіків для різних матеріалів можна зробити висновок, що чим більша товщина зразку, тим менше видовження. При максимальному куті згину спостерігається зростання видовження.

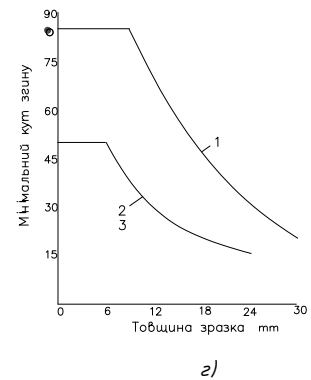
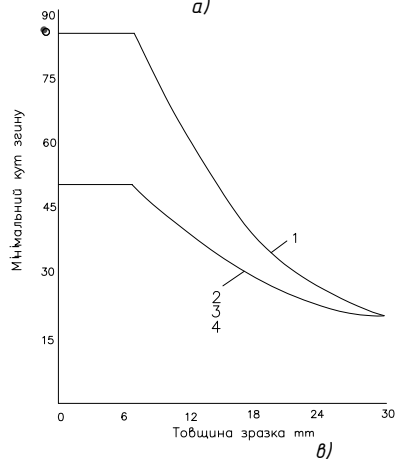
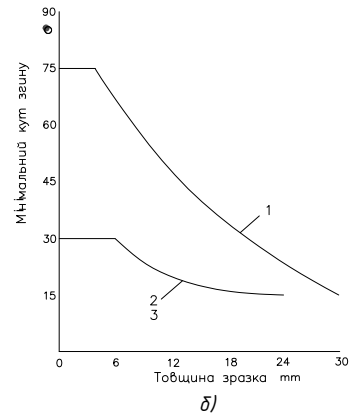
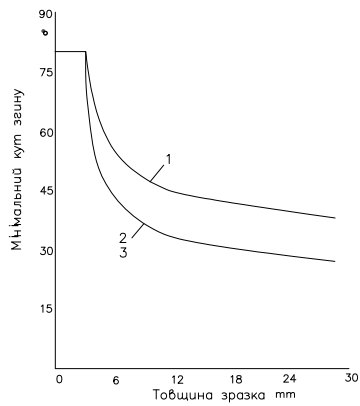


Рисунок 4.10 - Залежність мінімального кута вигину від товщини зразка: а) матеріал ПВДФ "Simona"; б) матеріал ПВХ-CAWSimona"; в) матеріал ПІП-С, ПІП-DWU/DWST "Simona"; г) матеріал ПВХ-CAW "Simona"; 1 - контактне стикове зварювання з нагрітим елементом; 2 - нагрітий газ - зварювання з вентиляцією; 3 - нагрітий газ - зварювання з витягуванням; 4 - нагрітий газ - екструзійне зварювання

#### Висновки до розділу чотири

У цьому розділі було приведено загальні аспекти, випробовування зварних з'єднань. Приведено загальний вигляд машини для випробовування МР-200. Приведено графіки залежності видовження від кута згинання матеріалу.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

## Висновки

У першому розділі подано огляд патентної та технічної літератури щодо обладнання для зварювання полімерних матеріалів.

Розділ другий містить опис технологій зварювання полімерних матеріалів та обладнання для зварювання полімерних матеріалів. Розроблено кінематичну схему автоматичного регулятора потужності. Розроблена схема регулювання потужності.

Третій розділ роботи присвячений розробці системи. Містить опис системи, її технічні характеристики та принцип дії. Проведено розрахунки перевірки працездатності системи зварювання полімерних матеріалів.

Зокрема, проведено розрахунки нагрівального елемента та параметрів приводу для транспортування полімерного матеріалу.

Четвертому розділі приведено загальні аспекти, випробовування зварних з'єднань. Приведено загальний вигляд машини для випробовування МР-200. Приведено графіки залежності видовження від кута згинання матеріалу.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Деклараційний патент України. Автор Мельник Т.М. А.С. 1454721.МКВН01В3/04. Пристрій для зварювання полімерних матеріалів.

1. Деклараційний патент України. Автор Кшановський В.Й. А.С. 1459932.МКВН01В3/00. Пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм.

2. Деклараційний патент України. Автор Ключев А.П.А.С. 1242398.МКВ7Н01В3/18. Пристрій для зварювання термопластів нагрітим газом.

3. Деклараційний патент України. Автор Томін М.М.А.С. 1204397. МКВ Н01В3/10. Пристрій для зварювання пакетів з термопластичних матеріалів газом-теплоносієм.

4. Авраменко В. Л. Ш-91 Технологія виробництва та переробки полімерів медико-біологічного призначення : навч. посіб. / В. Л. Авраменко, Л. П. Підгорна, Г. М. Черкашина, О. В. Близнюк. – Харків: Видавництво та друкарня «Технологічний Центр», 2018. - 356 с.

5. Шидловський М.С. Нові матеріали: частина 1 - Структура і механічні властивості конструкційних полімерів та пластмас. [Текст]: Навчальний посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 192 с.

6. Юрженко М.В. Зварювання високотехнологічних пластмас. Монографія. 2023. – 319 с.

7. Структура і механічні властивості конструкційних полімерів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» / М. С.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Шидловський – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 193 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/123>

8. Експериментальні методи досліджень механічних властивостей конструкційних полімерів та пластмас [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Динаміка і міцність машин» / М. С. Шидловський, А. Є. Бабенко, О. О. Боронко, О. П. Заховайко, С. І. Трубачев – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 266 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/124>

9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Методи вимірювання характеристик міцності та пружності конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні» / Уклад. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. –36 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1541>

10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Обладнання для випробувань конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні» / Уклад. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю., Тимошенко О.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. –48 с. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1542>

11. В.В. Ковтун, В.С. Павлов, О.А. Дорофєєв. Опір матеріалів. Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2002. -280 с.

12. Зенкин А.С. Допуски и посадки в машиностроении: Справочник. – 2-е изд. /А.С. Зенкин, И.В. Петко. – К.: Техніка, 1984.

13. Кваліфікаційна робота магістра: методичні вказівки для студентів спеціальностей «Галузеве машинобудування», «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /М.Є.Скиба, О.С.Поліщук, С.Л.Горященко, П.С.Майдан, В.І.Онофрійчук. – Хмельницький: ХНУ, 2018. -33 с.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# Додаток

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		