

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка установки для зварювання полімерних матеріалів

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування


Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу групи МБс-20-2


Підпис

Наволівський Р.А.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

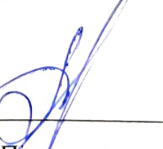
к.т.н., проф. Драпак Г.М.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тимошук О.Т.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

24 06 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Механічна інженерія
Спеціальність 141 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма Машини і апарати легкої промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

24. 06. 2023

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ **Наволоський Роман Андрійович** Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка установки для зварювання полімерних матеріалів**

керівник роботи **Драпак Г.М., к.т.н, професор**

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

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 202 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 22. 06. 23р.

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики полімерних матеріалів та установок-аналогів**

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

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

2 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Пристрої для зварювання полімерних матеріалів. Док. оглядовий (A1). Аркуш 2. Установка для зварювання полімерних матеріалів. Схема кінематична (A2) + Регулятор потужності. Схема електрична принципова (A2). Аркуш 3, 4. Установка для зварювання полімерних матеріалів. Складальне креслення (A1). Аркуш 5. Деталювання (A1).

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	Примітки
1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів	01.06.23р.	
2 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів	08.06.23р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів	14.06.23р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	21.06.23р.	

Студент


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Наволовський Р.А.**

2. Тема бакалаврської роботи

Розробка установки для зварювання полімерних матеріалів

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Добровеська О.М.
с. т. н., доцент

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 59

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

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

2 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента _____

" 22 " 06 20 23 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 29 " 06 20 23 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4,0/5

Рекомендації ЕК _____

Рекомендувати до виробництва
у виробництво


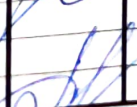
Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

" 29 " 06 20 23 р.

ЗМІСТ

	стор
Вступ	6
1 Огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів	8
1.1 Коротка характеристика пластмас	8
1.2 Будова полімерних матеріалів	11
1.3 Фізико-механічні властивості пластмас	13
1.4 Технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів	15
1.6 Пристрої для зварювання полімерних матеріалів	18
1.7 Висновки до першого розділу	27
2 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів	28
2.1 Сутність процесу зварювання пластмас	28
2.2 Технологічний процес виконання операції зварювання на установці, що розробляється	31
2.3 Розробка кінематичної схеми установки	32
2.4 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів	33
2.5 Принцип роботи установки	34
2.6 Методика проведення процесу зварювання	35
2.7 Технічна характеристика установки для зварювання полімерних матеріалів	36
2.8 Розробка електричної схеми регулятора потужності	37

БРМА23.00.00.000 ПЗ									
м. Арк.	№ док. ум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів			
іконав перевір.	Наволоський Драпак				4	59			
контр. Затвер.	Полішук			ХНУ гр МБс-20-2					
Розробка установки для зварювання полімерних матеріалів									

2.9	Висновки до другого розділу	39
3	Розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів	40
3.1	Розрахунок нагрівального елемента	40
3.2	Розрахунок приводу для транспортування полімерних матеріалів	43
3.3	Висновки до третього розділу	55
	Висновки	56
	Перелік джерел посилання	57
	Додаток А	

ВСТУП

В машинобудівній, легкій і інших галузях промисловості, важливе значення має значення зварювання: труб, листів, плівок і окремих деталей із полімерів.

Зварювання отримують нероз'ємні з'єднання деталей однорідного полімеру за рахунок взаємного проникнення (дифузії) часток поверхневих шарів в розплавленому стані при певному тиску притисканням.

Питомий тиск притискання деталей при зварюванні коливається в межах 0,5 – 1,0 МПа і визначається текучістю матеріалу і температурою зварювання. Чим більша в'язкість матеріалу в розплаві, тим більший питомий тиск притискання.

Температура зварювання і витрати тепла на розігрівання матеріалу тим або іншим способом залежить від природи матеріалу, його теплофізичних (теплопровідність, теплоємність) і діелектричних властивостей (діелектрична постійна, тангенс кута діелектричних втрат), товщини і ширини шва, що зварюється. Тому зварювальні нагрівальні установки виготовляються з потужністю, що регулюється в широких межах.

Занадто висока температура зварювання веде до витискання матеріалу, зниження якості матеріалів, що зварюються, а підвищений тиск – до деформації матеріалу. Температура зварювання і тиск притискання взаємопов'язані, їх оптимальне значення підбирається дослідним шляхом. Недостатній тиск можна компенсувати збільшенням температури і навпаки.

Існує декілька способів зварювання, їх технологія і необхідне обладнання. Промислове значення отримали наступні способи зварювання: гарячим газом, контактним нагрівом, термоімпульсне, високочастотне і ультразвукове. Вибір способу обумовлюється природою матеріалу,

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

конструкцією деталей, що зварюються, вимогами до зварних з'єднань, умовами роботи виробу, а також необхідною продуктивністю [1].

Машинобудування для легкої промисловості повинне забезпечувати випуск машин, автоматів й автоматичних ліній, впровадження яких у виробництво значно підвищувало б продуктивність праці, поліпшувало б якість і знижувало б вартість виконуваних технологічних процесів. Машини повинні бути довговічними й надійнішими, естетично правильно оформлені, мати засоби по охороні праці й навколишнього середовища.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Коротка характеристика пластмас

Пластмаси знайшли широке застосування у різних галузях промисловості. Їхнє застосування забезпечує великий економічний ефект завдяки їх властивостям.

Виготовлення пластмасових конструкцій (деталей), як правило, менш трудо- та енергоємно, ніж з інших матеріалів. Пластмаси легко переробляються на вироби різними способами, набуваючи при цьому будь-якої заданої форми, кольору, фактури, не вимагаючи майже ніякої додаткової обробки [2-5].

Пластмаси успішно замінюють конструкції з легованих сталей, дорогоцінних металів, дерева та інших матеріалів, дозволяючи економити промислово важливі матеріали. При цьому коефіцієнт їх використання становить 0,9-0,95 (при обробці металів він дорівнює 0,6-0,7).

Застосування пластмас у ряді випадків дозволяє унеможливити проблему захисту від корозії, в 10-15 разів продовжити термін служби виробів у порівнянні зі сталевими.

Використання пластмас дозволяє у 8-10 разів зменшити масу виробів і не менш ніж на 15-20% знизити витрати на транспорт.

З пластмас виготовляють оригінальні конструкції, які неможливо зробити з інших матеріалів (м'які, герметичні оболонкові споруди, антифільтраційні екрани, консерваційну тару з вибірковою газопроникністю для зберігання харчових продуктів та ін.) [2-5].

Одночасно з цим пластмаси мають такі властивості, як:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- еластичність,
- низьку теплопровідність,
- оптичну прозорість,
- стійкість в агресивних середовищах,
- високі діелектричні характеристики,
- простоту формування виробів і т.д.

Термопласти переробляються у вироби методами екструзії, вакуум- та пневмодеформування, лиття під тиском та відцентрового лиття, штампування тощо.

Однак не завжди можна цими методами одразу отримати готовий виріб. Це відноситься до великогабаритних виробів, виробів складної форми, трубопровідних систем і т.п. У таких випадках завдання вирішується шляхом розділення складного виробу на деякі технологічно прості деталі.

Після виготовлення їх поєднують відомими методами. Застосовують зварні, різьбові, заклепувальні, клейові та інші види сполук. Найбільш перспективним способом з'єднання є зварювання, оскільки цей процес найбільше піддається механізації, забезпечує високу якість з'єднань, дозволяє знизити трудомісткість операцій і т.п. Саме цим пояснюється різноманіття технологічних варіантів зварювання пластмас, типів обладнання та оснащення для їх реалізації [2-5].

Зварювання застосовують для отримання виробів не тільки з напівфабрикатів (профілів, плівок, труб, тканин), але і все більшою мірою з фасонних деталей. Розглянемо приклад по різних галузях.

У машинобудуванні:

- підшипники ковзання (мастило-вода);
- зубчасті та черв'якові колеса (безшумність, плавність ходу);
- деталі гальмівних пристроїв;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- кузови транспортних пристроїв;
- робочі органи насосів та ін.

У хімічній промисловості:

- трубопроводи;
- травильні та електролізні ванни;
- робочі органи насосів та ін.

В електротехніці:

- корпуси приладів;
- ізоляційні прокладки, трубки, стрічки;
- напівпровідники.
- в будівництві:
- покриття, захисні оболонки;
- настили підлог;
- покрівлі теплиць та оранжерей;
- плівкова тара;
- панелі, вікна, двері, підвіконня;
- трубопроводи.

В медицині:

- медична апаратура;
- штучні органи;
- системи, шприци та ін.

В автомобілебудуванні:

- внутрішня оббивка;
- бампера, панелі;
- корпуси акумуляторів;
- пробки, заглушки, кришки та ін.

В побуті:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

- іграшки;
- канцтовари;
- упакування, тара;
- пакети;
- тканини та ін.

В даний час зварювання пластмас все ширше використовується у різних галузях промисловості. Збільшується номенклатура зварних виробів із пластмас, у тому числі й високо відповідальних, що працюють в екстремальних умовах (у космосі, під водою, у вакуумі, у корозійно-активних середовищах) [2-5].

1.2 Будова полімерних матеріалів

Пластичні маси - це велика група різноманітних багатокомпонентних матеріалів, отриманих на основі синтетичних або природних полімерів шляхом введення різних добавок.

Полімери - це високомолекулярні речовини, макромолекули яких складаються з великої кількості повторюваних елементів - ланок, що є мономерами. Число таких елементарних одиниць характеризує ступінь полімеризації полімеру. Полімери можуть мати походження природне (целюлоза, натуральний каучук та ін.) та штучне (поліетилен, полістирол, полівінілхлорид тощо) [6-12].

Добавки, які вводять у суміші при виготовленні пластмас, служать для надання останнім властивостей, які повинні мати готові вироби, або для полегшення їх переробки. Вони можуть виконувати роль наповнювачів, агентів, що спінюють, пластифікаторів, стабілізаторів, барвників, мастил і т.п.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Добавки можуть мати полімерну або мономерну природу і перебувати у твердому, рідкому або газоподібному стані.

Стабілізатори (термостабілізатори та антиоксиданти) служать для підвищення стійкості пластмас до впливу світла, сонячної радіації, тепла, кисню повітря та ін факторів, що сприяють розвитку ланцюгової реакції деструкції (розкладання) полімерів.

Пластифікатори покращують технологічні та експлуатаційні властивості полімерів (плинність, здатність перероблятися різними методами, пластичність, еластичність тощо).

Наповнювачі, як правило, сприяють збільшенню міцності, покращення діелектричних властивостей, хімічної стійкості полімерів. Їх вводять і з метою зменшення витрати полімерної смоли.

Органічні наповнювачі: бавовняне очеса, обрізки тканини, паперу, дерев'яний шпон [6-12].

Неорганічні наповнювачі: азбестові та скляні волокна та ін.

Утворення макромолекул пов'язане зі здатністю деяких мономерів за певних умов з'єднуватись один з одним за допомогою ковалентних хімічних зв'язків. Під впливом енергетичних чинників (світла, тепла, елементарних частинок тощо.) відбувається активація мономеру, що супроводжується розкриттям подвійних зв'язків. Процес може йти у газовій фазі, у твердій фазі, у розчинниках та у водних емульсіях.

Цей хімічний процес здійснюється внаслідок реакцій полімеризації або поліконденсації.

Полімеризація – це процес утворення високомолекулярних сполук без виділення побічних продуктів (поліетилен, поліпропілен, поліізобутилен, полістирол, полівінілхлорид та ін.).

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Якщо реакції полімеризації бере участь не один, а кілька видів мономерів, то отримані продукти називаються сополімерами. Сополімеризація дозволяє значно розширити номенклатуру полімерних матеріалів, надавши їм найрізноманітніші властивості (наприклад, ударостійкий полістирол є сополімером стиролу з бутадієном, що володіє високою ударною в'язкістю).

Поліконденсація – процес утворення високомолекулярних сполук із мономерів однакової чи різної будови, що супроводжується виділенням побічних низькомолекулярних речовин. До цього типу належать поліефіри, поліаміди, поліуретани, полікарбонати та ін.

Полімери різняться:

- за будовою молекул;
- за способом отримання;
- щодо поведінки при тепловій обробці;
- по надмолекулярній організації.

Зварювання полімерів вимагає особливо ретельного дотримання режимів подальшого охолодження для того, щоб структура рекристалізованого матеріалу в зоні прогріву наближалася до кристалічної структури, наданої всьому полімеру в процесі його формування у виріб [6-12].

1.3 Фізико-механічні властивості пластмас

Пластичні маси мають ряд цінних фізико-механічних і хімічних властивостей, що визначають їх використання як конструкційний матеріал.

Насамперед це мала щільність ($1,0-1,8 \text{ г/см}^3$), що в середньому в 5 разів менше густини чорних і кольорових металів і майже вдвічі менше густини сплавів на основі алюмінію [2, 4].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Багато пластмас, будучи діелектриками, зовсім не схильні до електрохімічної корозії і дуже стійкі при впливі різних агресивних хімічних середовищ. Деякі з них (політетрафторетилен) за хімічною стійкістю перевершують золото та платину. Тому пластмаси - незамінний корозійно-стійкий матеріал.

Пластмаси – чудові діелектрики в умовах використання постійного та змінного струму. Вони широко застосовуються як високочастотні діелектрики і в цьому відношенні є єдиними досконалими матеріалами, що використовуються радіозв'язку, телебаченні, електронної промисловості, локації і т.д.

Останнім часом проведено успішні роботи зі створення полімерів, що мають напівпровідникові та магнітні властивості.

Пластики мають різноманітні механічні властивості. Залежно від природи полімерів і наповнювачів можуть бути отримані тверді та міцні матеріали або гнучкі високоеластичні плівки та волокна.

Деякі пластики мають питому міцність значно вищу, ніж метали. Наприклад, термопласти (вініпласт і поліетилен) мають питому міцність, порівнянну з питомою міцністю чавуну або бронзи.

Крім перерахованих властивостей пластмаси мають високі антифрикційні властивості. Вони є заміниками антифрикційних сплавів (олов'янистої бронзи, бабіту та ін.). При цьому як мастило використовується вода. У ряді випадків пластики можуть працювати без мастила.

Усі пластики, як правило, погано проводять тепло. Піно- і поропласти мають ще нижчу теплопровідність. Гарні утеплювачі.

Пластики добре забарвлюються у будь-який колір. Вони можуть фарбуватись як у всій масі, так і по поверхні. Можуть бути виготовлені прозорі пластики, що промені світла пропускають у широкому діапазоні

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

хвиль. Цим вони перевершують звичайні силікатні стекла. Пластикове скло є безосколочним.

Полімери мають гарну технологічність, легко обробляються точенням, струганням, пресуються, формуються, зварюються.

Більшість пластмас випускається у тонкоподрібненому стані, у вигляді преспорошків або гранул. Пластики переробляються у виробі найбільш досконалими способами – без зняття стружки з отриманням гладкої блискучої поверхні. Основні методи переробки: лиття у форму, пресування, лиття під тиском, відцентрове та автоклавне лиття та ін.

Недоліки:

- 1) низька межа міцності більшості пластмас;
- 2) повзучість;
- 3) низька термостійкість;
- 4) старіння, тобто. зниження механічних властивостей у процесі експлуатації [2, 4].

1.4 Технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів

В машинобудівній, легкій промисловості, сфері побуту важливе значення має з'єднання зварюванням: листів, труб, плівок та окремих деталей із полімерів.

На сьогодні існує декілька способів зварювання [6-12]. Промислове значення отримали наступні:

- гарячим газом,
- термоімпульсне,
- контактним нагрівом,
- високочастотне;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- ультразвукове.

Перед виконання процесу зварювання на кромках з'єднання створюють фаски під кутом 30 - 60°. В залежності від товщини заготовок фаски з кромки знімають з одного або двох боків.

Бувають наступні форми зварювання швів:

- 1) встик по V – утворюючому (а) і Х – утворюючому профілю (б);
- 2) кутовий;
- 3) шов однорядний (а) або дворядний (б);
- 4) внапуск з одностороннім (а) або двостороннім зварюванням (б).

Найбільш міцним є шов – стиковий (рис.1.1), по V – утворюючому (а) і Х – утворюючого з'єднання. Він застосовується для зварювання тонких заготовок (товщиною 10 мм і менше).

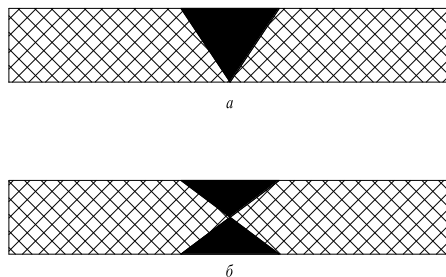


Рисунок 1.1 - Встик по V – утворюючому (а) і Х – утворюючому профілю (б)

Кутове з'єднання - зварне з'єднання двох елементів, що розташовані під кутом і зварених у місці примикання їхніх країв (рис.1.2).

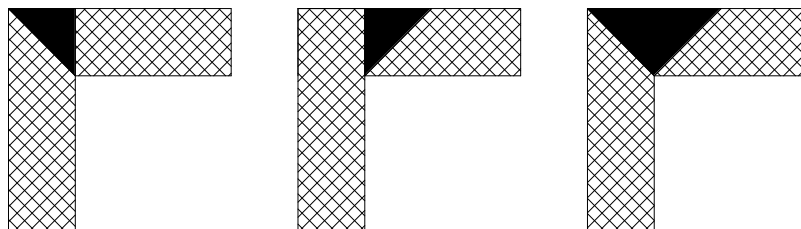


Рисунок 2.2 - Кутове з'єднання

Шов однорядний або дворядний (таврове) з'єднання - зварне з'єднання, у якому торець одного елемента примикає під кутом і приварений до бічної поверхні іншого елемента (рис.1.3).

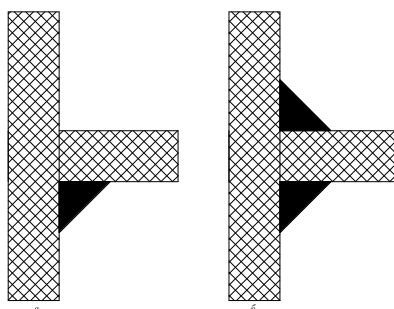


Рисунок 1.3 - Шов однорядний (а) або дворядний (б).

Внапуск з одностороннім або двостороннім з'єднанням - зварне з'єднання, у якому зварні елементи розташовані паралельно й частково перекривають одне одного (рис.1.4, а, б).

Відсутність небезпеки опіків при зварюванні полегшує використання високопродуктивних режимів зварювання. Застосування внапуск з одностороннім або двостороннім з'єднанням полегшує збирання й зварювання швів, що виконуються при монтажі конструкцій (монтажних швів).

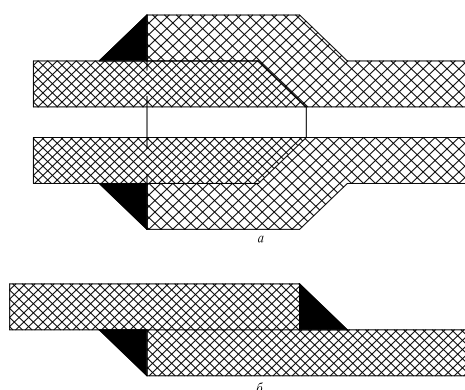


Рисунок 1.4 - Внапуск з одностороннім (а) або двостороннім зварюванням (б).

Пластмаси замінюють в багатьох випадках метал, бетон, дерево
Внаслідок цього:

- зменшується маса виробу;
- знижуються транспортні витрати.

Як вже зазначалося, полімери є високомолекулярними речовинами, макромолекули яких складаються з великого числа малих структурних елементів - ланок, що є мономерами та повторюються.

Пластмасами є матеріали, що складаються з полімерів і певних добавок.

Добавки можуть мати полімерну й мономерну природу, і можуть знаходитися в газоподібному, рідкому й твердому станах.

Види добавок й їхнє призначення [6-12].

1. Стабілізатори. До них відносяться термостати та антиоксиданти.
2. Пластифікатори. Вони покращують технологічні й експлуатаційні властивості полімерів.
3. Наповнювачі. Вони сприяють збільшенню міцності, поліпшенню діелектричних властивостей, зменшенню витрат полімеру.

1.5 Пристрої для зварювання полімерних матеріалів

Відомий пристрій для зварювання полімерних матеріалів, який вміщує корпус 1 з камерою 2, що нагрівається і додатковою камерою 3, в якій встановлена крильчатка 4 (рис.1.5, аркуш [БРМА23.00.00.000ДО]). В камері 2 розміщені нагрівачі 5, що закріплені на ізоляційних плитах 6 і 7. В корпусі 1 виконаний канал 8 для подачі газу, в камеру 2. Канал 9, в свою чергу, маючи відгалуження, зв'язаний з камерою 3 і призначений для приводу в обертовий рух крильчатки 4. На корпусі пристрою закріплено сопло 10 через яке нагрітий газ подається в робочу зону зварювання. Воно закріплене на

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ізоляційній плиті 7, яка встановлена з можливістю обертання турбіни 12, що призначена для інтенсивного переміщення повітря в результаті чого на виході з насадки струмів газу має однакову температуру по всьому перерізі [13].

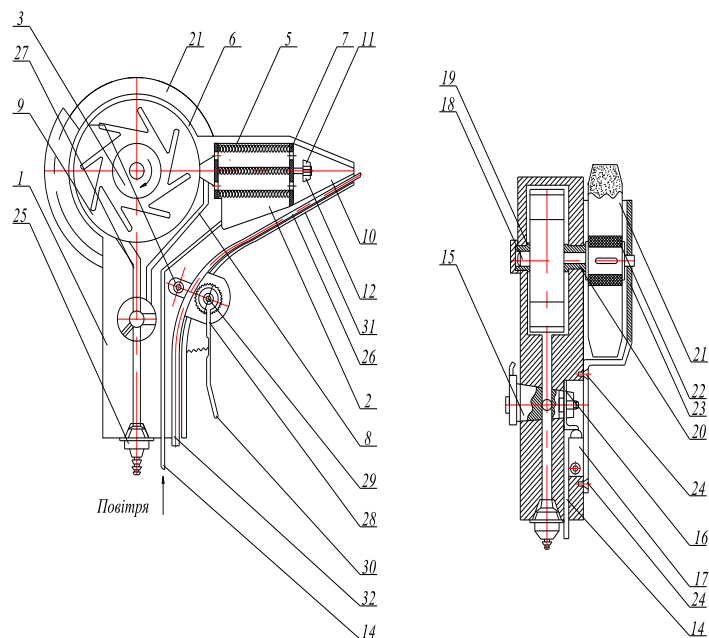


Рисунок 1.5 - Пристрій для зварювання полімерних матеріалів

В корпусі є також отвір 14 для монтажу електричного приводу і отвору для трьох ходового крану 15 з хвостиком 16, що контактує з вимикачем 17. Під час зварювання кран встановлюють в положення, що показане на рис.1.5 при якому хвостик 16 вмикає вимикач 17, і на нагрівачі 5 подається напруга, яка повинна бути не більше 24 В.

На валу 18 крильчатки 4, яка може обертатись в втулках 19 і 20, закріплений з можливістю заміни інструмент 21, що обробляє на оправці 22, наприклад абразивний круг, фреза і т.п. Пристрій захищено захисним кожухом 23, закріплено на болтах 24, а для підводу повітря в корпусі встановлений ніпель 25. В корпусі 1 виконаний також канал 26 для присадкового прутка і встановлений механізм його подачі, який складається з

притискного ролика 27 і рифленого ролика 28, оснащеного обгінною муфтою 29 і підпруженим важелем 30 подачі. Залишки теплоти можуть видалятися через отвори 31, які призначені для регулювання температури прутка.

Пристрій працює таким чином. Не робоче положення трьох ходового крана 15, що демонструє рис.1.5 (кран закритий). При зварюванні кран встановлюють в середнє положення, хвостовик 16 натискає при цьому на вимикач 17, через який передається струм на нагрівачі 5, а стиснуте повітря по каналу 8 потрапляє в камеру 2. Повітря нагрівається, переміщується і обертаючи турбіну 12, через сопло 10 направляється струменем на зварювальну тріщину. Присадковий матеріал в виді прутка 32 встановлений всередині каналу 26 між двома роликами 27 і 28. Цей канал конструктивно винесений з камери, що нагріває на ззовні і прогрівається менш інтенсивно.

Таким чином, на виході присадковий пруток 32 не розплавляється, а розм'якшується настільки, що в зоні зварювання шва, також розм'якшеного струменем гарячого повітря, адгезується із матеріалом, що зварюється. Подачу прутка в зону зварювання здійснюють натискаючи на важіль 30 подачі, який повертає обгінну муфту 29. Рухома муфта обертає ролик 28, який зачіплює рифленою поверхнею поверхню прутка та переміщує його, висуваючи кінець в зону зварювання. Виконується якісне зварювання, шви отримуються однорідними.

Після зварювання тріщини і охолодження шва трьох ходовий кран встановлюють в положення, яке показано на рис.1.5, вимикаючи струм нагрівачів вимикачем 17. Повітря при цьому подається по каналу 9 в камеру 3, де воно приводить в обертання крильчатку 4 і, звичайно насаджений на її валу інструмент 21 для обробки, який захищає зварювальні шви.

Існує пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм, а саме до пристроїв для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Мета установки – поліпшення продуктивності за рахунок інтенсифікації нагрівання теплоносія. Для цього всередині каналу 40 для підведення газу на його вхідній частині встановлений завихрювач 43, а вісь каналу 40 зміщена відносно вісі корпуса установки [14, 15].

Пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм вміщує циліндричний корпус 33 з рукояткою, електричний нагрівач 34 в вигляді спіралі, сопло 35. Виводи (контакти) 36 і 37 електричного нагрівача 34 поєднані з струмопідводним кабелем 38 і розміщені в окремій камері 39, виконаної в рукоятці, в якій виконаний канал 40 для підведення газу. В рукоятці встановлена пробка 41 зі штуцером 42 подачі газу. Канал 40 для підведення газу (рис.1.6) зміщений відносно вісі корпуса 33 на величину l . На вхідній частині каналу 40 встановлено завихрювач 43 (рис.1.6), що розміщений на одній вісі зі штуцером 42.

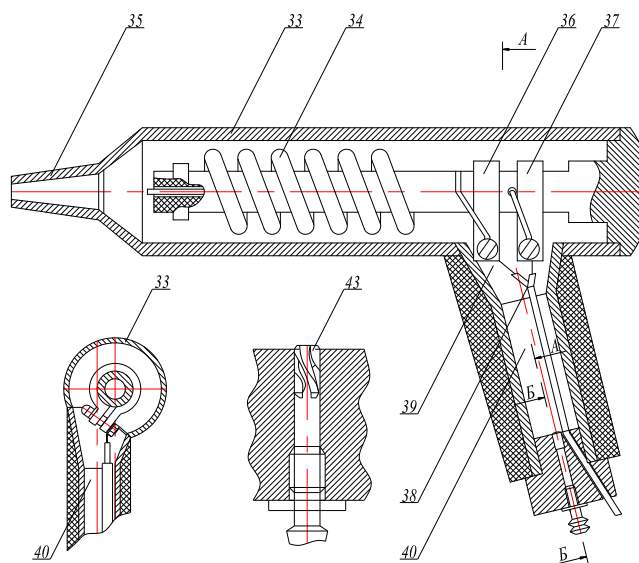


Рисунок 1.6 - Пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм

Пристрій працює наступним чином. Газ через штуцер 42 і завихрювач 43 подається в канал 40 підведення і камеру 39. Далі, обтікаючи контакти 36,

37 і охолоджуючи їх, газ по спіралеподібній кривій обтікає електричний нагрівач 34. Відбувається рівномірне нагрівання газу (теплоносія) за рахунок протікання навколо нагріваючої спіралі попереднього (на виході з пробки 41) завихрення. Нагрітий до заданої температури газ із корпусу 33 поступає через сопло 35 в робочу зону зварювання.

Наявність зміщення вісі забезпечує непрямо точність переміщення теплоносія вздовж спіралі і дозволяє ефективно відібрати тепло із всієї поверхні електричного нагрівача, що підвищує ККД і продуктивність пристрою.

Пристрій для зварювання термопластів газоподібним теплоносієм, що вміщує циліндричний корпус з розташованою в ньому електронагрівальною спіраллю, а також змонтовано на корпусі рукоятку з розміщеним в ній каналом для підведення газу, і сопло для подачі газоподібного теплоносія в зону зварювання, відрізняється тим, що, з метою підвищення продуктивності за рахунок інтенсифікації нагрівання теплоносія, пристрій оснащений завихрювачем, який встановлений всередині каналу для збільшення кількості газу на його вхідній частині, при цьому вісь каналу для збільшення газу зміщена відносно вісі корпусу.

Пристрій для зварювання термопластів нагрітим газом [16], що містить полий корпус 44 (рис.1.7), закріплену на ньому рукоятку 45 з теплостійкого ізоляційного матеріалу і проходячий всередині рукоятки 46 з газопідводним каналом 47. Одним своїм кінцем трубка 47 введена в корпус 44, (закріплену на ньому рукоятку 45), а на другому кінці, що виходить з рукоятки 45 в кінці має зовнішню різьбу, на яку закручено штуцер 48, закріплюючий рукоятку на корпусі.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

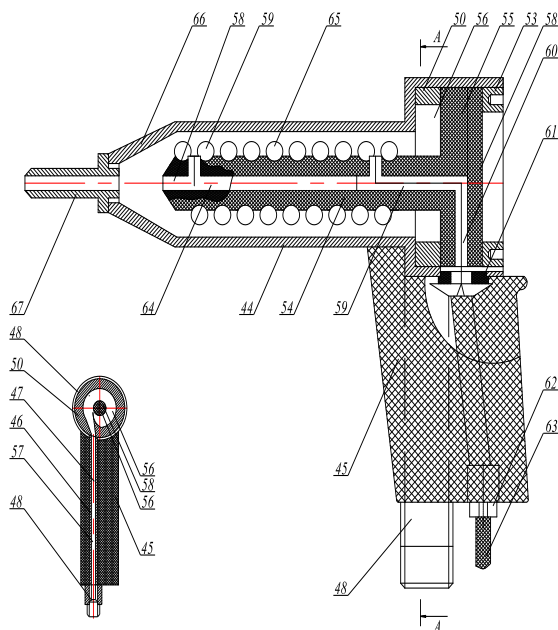


Рисунок 1.7 - Пристрій для зварювання термопластів нагрітим газом

На вільному кінці штуцера закріплено газопідвідний шланг (на рис. він не показаний).

В отворі 49 корпусу 44 встановлені співвісна йому равликоподібна розрізана шайба 50 і ізолятор 51, через термостійку ізолюючу кришку 52, закріплені в корпусі.

Внутрішня поверхня стінки 54 між ступенями корпусу, внутрішній торець фланця 53 ізолятора 51 і внутрішня криволінійна поверхня розрізаної шайби 50 разом створюють равликоподібну порожнину 56 камери для надання поступаючому в пристрій повітрю вихрового руху. Равликоподібна шайба 50 при цьому розміщена відкритим до її зовнішньої поверхні місцем розрізу навпроти газопідвідного каналу 47. Вісь 57 каналу зміщена від центральної вісі корпусу 44 у перпендикулярній площині.

В ізоляторі 51 виконані два паралельні отвори 58 кожний з яких з'єднаний з відповідним радіальним отвором 59 на ізоляторі 51 і відповідно з

одною з канавок 60 на фланці 55. Канавки 60 ізолятора 51 розміщені навпроти радіального вікна ступені 49, що має вставку 61 з двома навскісними отворами, виходячи до отвору в рукоятці 45, в якому проведений і розрізним штуцером 62 закріплений електропривід 63. З електроприводом 63 через отвір в виставці 61 канавки 60 ізолятора 51, його паралельні 58 і радіальні 59 отвори струмопроводами 64 з'єднаний нагрівач, виконаний в вигляді електронагрівальної спіралі 65, що встановлена в гвинтову канавку на ізоляторі 51.

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

З газопідвідного патрубку повітря під залишковим тиском 0,4 – 0,6 кгс/см² подають через штуцер в канал 47 та равликopodobну порожнину 56. Проходячи через порожнину 56, повітря отримує вихровий рух, зберігаючи його в корпусі 44. Через електропривід 63 і струмопроводи 64 спіраль 65 підключається до напруги. Стиснуте повітря, обтікаючи спіраль 65 і ізолятор 51 вихровим рухом ефективно прогривається, забезпечуючи при цьому на виході із сопла 67 температуру близько 250 – 300 °С. Попередньо в залежності від властивостей термопластів, що зварюються, вгвинчують відповідне змінне сопло 67 і встановленням конкретного значення надлишкового тиску повітря, підбирають відповідну температуру його струменя.

При зварюванні отримують і орієнтують пристрій за рукоятку 45, направляючи соплом 67 нагріте повітря в зону зварювання термопластів, куди при цьому переміщують і розплавлений присадковий пруток.

Відомий ще один пристрій для зварювання пакетів із термопластичних матеріалів газом – теплоносієм [16]. Ця установка відноситься до зварювання

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

термопластичних матеріалів і може бути застосована в упаковальній техніці, що використовується в різних галузях народного господарства.

Пристрій вміщує трубку 68 (рис.1.8) для введення газу в камеру 69 і газ нагрівається в ній до температури 130 ± 10 °С, тобто йому передається близько 90 °С теплоти від загальної кількості теплоти, необхідної для забезпечення якісного зварювання. Вимірювання температури в межах 130 ± 10 °С в камері 69 здійснюється внаслідок того, що на стабільність температури в ній значно впливають такі фактори, як велика її інерційність і пов'язана з нею складність швидкості і точного регулювання температури, а також змінний тиск і температура газу, що подається при вході в камеру 69, зміни умов зовнішнього середовища, втрати тепла в трубопроводах і т.п. Нагрітий таким чином газ через трубопровід 70 потрапляє в допоміжну камеру 71, в якій здійснюється допоміжне нагрівання газу – теплоносія, а також точне регулювання його температури в допустимих межах ± 1 °С за рахунок меншої інерційності самої камери 71 і наявності на встановленому на її виході патрубку 72 датчика 73 контролю температури пов'язаного з нагрівальними елементами камери 71.

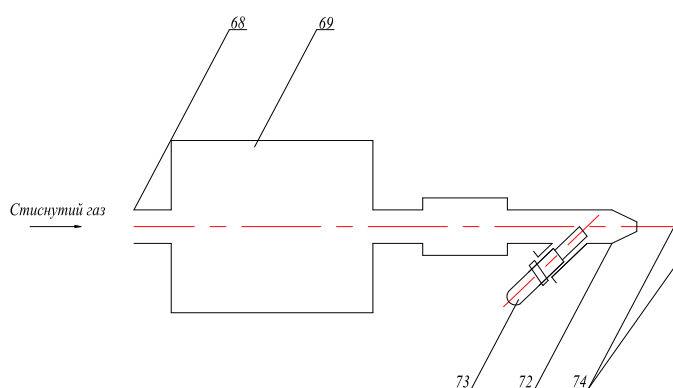


Рисунок 1.8 - Установа для зварювання пакетів з термопластичних матеріалів газом-теплоносієм

Далі нагрітий газ-теплоносієм через отвір в патрубку 72 потрапляє на зварювальну поверхню, наприклад на горловину пакета 74, виготовленого з термопластичного матеріалу.

В результаті аналізу вище наведеного устаткування встановлено наступні його переваги [17, 18]:

- можливе зварювання погано пригнаних і зачищених від іржі та бруду кромок;

- операцію зварювання можна виконувати на будь-якому струмі будь-якої полярності;

- електроди мають достатньо високу продуктивність і потребують низькотемпературного прогартовування перед початком виконання операції зварювання (100-180 °С протягом 1-2 годин);

- шлакова система забезпечує отримання ненасиченого газами металу шва, який не схильний до старіння; вона має рафінуючі властивості, зменшуючи кількість шкідливих домішок – сірки та фосфору та нейтральна відносно легуючих елементів, забезпечуючи їх збереження у процесі зварювання.

В результаті аналізу вище наведеного обладнання встановлено наступні його недоліки:

- наплавлена пластмаса відрізняється підвищеною газонасиченістю та схильністю до старіння, так що його пластичні і, особливо, динамічні характеристики з часом зменшуються майже вдвічі;

- електроди мають підвищене розбризкування;

- потреба у ретельній підготовці кромок до зварювання; зачищення до металевого блиску, мінімальні зазори;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- зварювання необхідно проводити дуже короткою дугою (в протилежному разі важко уникнути пароутворення та вигорання легуючих елементів) тільки при постійному струмі та зворотній полярності;

- електроди мають невисоку продуктивність і потребують високотемпературного прогартовування (200-400 °С на протязі 1-2 год.).

1.6 Висновки до першого розділу

В даному розділі проведено огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів. Приводиться коротка характеристика пластмас. Описуються будова полімерних матеріалів та фізико-механічні властивості пластмас. Розглядаються технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів. Описуються пристрої для зварювання пластмас.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Сутність процесу зварювання пластмас

Процес зварювання термопластів полягає в утворенні з'єднань за рахунок контакту активованих нагріванням поверхонь, що з'єднуються [12].

Послідовність операцій може бути різною:

- контакт, потім нагрівання;
- Нагрів, потім контакт;
- контакт та нагрівання здійснюються одночасно.

Введення енергії, необхідної для активації поверхонь, що з'єднуються, і додаток тиску, необхідного для досягнення контакту, можливе за допомогою одного інструменту або різних. Незалежно від цього при зварюванні термопластів у зварювальній зоні протікають такі процеси:

1. підведення та перетворення енергії, що забезпечує активацію зварюваних поверхонь;
2. взаємодія активованих поверхонь, що зварюються при контакті їх один з одним;
3. формування структури матеріалу у зоні контакту.

Активація поверхонь, що зварюються, може досягатися за рахунок:

- контакту їх із теплоносіями – нагрітими інструментами, газами чи присадочними матеріалами;
- поглинання та перетворення енергії високочастотних електричних коливань, механічної енергії тертя, променистої енергії чи енергії високочастотних механічних коливань.

В кінцевому рахунку активація незалежно від способу її здійснення полягає в нагріванні поверхонь, що зварюються і проявляється в підвищенні енергії теплового руху макромолекул (ММ).

Наступна стадія – взаємодія активованих поверхонь, що зварюються при їх контакті. Ця стадія найбільш відповідальна за властивості звареної сполуки, що утворилася, так як тільки при реалізації взаємодії між макромолекулами полімеру можливе отримання з'єднання, близького за властивостями до вихідного матеріалу. Механізм формування зварного з'єднання полімерних матеріалів визначається не стільки природою полімеру, скільки температурою нагріву поверхонь, що зварюються, що визначає їх стан - вискоеластичний або в'язкотекучий.

Якщо зварювання виконується при температурі нижче температури текучості (вискоеластичний стан), утворення з'єднання зумовлено головним чином дифузією сегментів ММ через межу розділу. Утворення міцного з'єднання в даному інтервалі температур можливе лише при тривалому контакті поверхонь, що зварюються. Процесу дифузії неминуче перешкоджають повітряні прошарки та різноманітні специфічні особливості поверхневих шарів матеріалів, зумовлені технологією їх виробництва та умовами зберігання. Та й коефіцієнт дифузії не залишається постійним, а безперервно знижується, тому що в міру проникнення ділянок ММ через межу розділу безперервно зростає їхнє гальмування. Тому зварні шви зберігають межу розділу і за певних режимів навантаження можуть розшаровуватися по цій межі. Матеріал у зоні з'єднання не відрізняється від вихідної надмолекулярної структури незалежно від швидкості охолодження.

Коли температура матеріалу вище температури текучості і поверхні, що зварюються, знаходяться у в'язкотекучому стані, зварювання термопластів

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відбувається швидко, тривалість процесу в ряді випадків обчислюється секундами (особливо при ультразвуковому і високочастотному зварюванні).

Така висока швидкість зварювання неможлива завдяки дифузії. І тут прояву сил міжмолекулярного взаємодії передують явища.

Насамперед при контакті напруження, що створюється зусиллям притискання, викликає переміщення шарів розплаву. Це переміщення розплаву призводить до видалення із зони з'єднання повітряного прошарку та інших сторонніх включень і виявляється у видавлюванні розплаву із зони з'єднання. Швидкість течії в різних ділянках контакту може відрізнитися через деяку нерівномірність їх нагрівання та нерівномірного розподілу тиску. Все це призводить до перемішування розплаву, що особливо можливо у разі застосування методів зварювання, сутність яких полягає у впливі на матеріал високочастотних механічних або електричних коливань [9-12].

Отже, утворення зварних з'єднань при контактуванні розплавлених поверхонь, що з'єднуються, обумовлено значною мірою перемішуванням макрооб'ємів розплаву на етапі утворення фізичного контакту. Дифузійні процеси є супутніми і протікають між цих макрооб'ємів. Межа розділу відсутня. Міцність шва наближається до міцності матеріалу, що зварюється. При зварюванні деяких термопластів на етапі взаємодії активованих поверхонь можливий перебіг хімічних реакцій на межі розділу. Зварювання термопластів у в'язкотекучому стані має значні переваги в порівнянні з дифузійною.

Нарешті, остання стадія утворення зварної сполуки – формування надмолекулярної структури у зоні контакту – значною мірою визначає фізико-механічні та інші властивості матеріалу.

Для максимального наближення властивостей шва до властивостей вихідного матеріалу необхідно забезпечити у шві надмолекулярні структури,

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

характерні для вихідного матеріалу. Істотний вплив характер надмолекулярних структур надають умови охолодження розплаву. Варіюючи їх, можна отримати бажану чи близьку до неї надмолекулярну структуру [9].

2.2 Технологічний процес виконання операції зварювання на установці, що розробляється

Розробку конструкції неможливо розпочати без детального аналізу технологічного процесу.

Технологічний процес зварювання полімерних матеріалів можна поділити на такі операції:

- на робочому столі розміщується полімерний матеріал 1, 2 для зварювання;
- присадковий матеріал в виді прутка 3 заправлений між двома полімерними матеріалами 1, 2;
- підведення сопла 4 для подачі гарячого повітря в зону зварювання;
- повітря прогрівається, забезпечуючи тим самим на виході із сопла 4 температуру 600 °С. Направляючи сопло 4 нагріте повітря в зону зварки полімерного матеріалу 1, 2;
- під час зварювання присадковий пруток 3 не розплавляється, а розм'якшується настільки, що в зоні зварювання шва, також розм'якшеного струменем гарячого повітря, адгезується із матеріалом, що зварюється. Подачу прутка 3 в зону зварювання здійснюють натискаючи на важіль подачі, який повертає обгінну муфту. Рухома муфта обертає ролик 5, який зачіплює рифленою поверхнею поверхню прутка 3 переміщує його, подаючи кінець в зону зварювання. Виконується якісне зварювання, шви однорідні;
- після виконання операцій отримуємо готовий виріб.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розробка кінематичної схеми установки

Приведення в дію механізму (рис.2.1, аркуш [БРМА23.00.00.000К2]) здійснюється електричним двигуном 1, що з'єднаний з черв'ячним редуктором 3 за допомогою якого здійснюється зменшення кількості обертів, для досягнення потрібної швидкості переміщення полімерних матеріалів. Швидкість переміщення полімерного матеріалу регулюється зміною напруги на лабораторному автотрансформаторі, від якого визначена напруга подається до електричного двигуна задаючи таким чином потрібну кількість обертів. Вихідний вал черв'ячного редуктора 3 з'єднаний з зубчатим колесом 4, яке входить в зачеплення з зубчатою рейкою 5 надаючи їй зворотно-поступального руху.

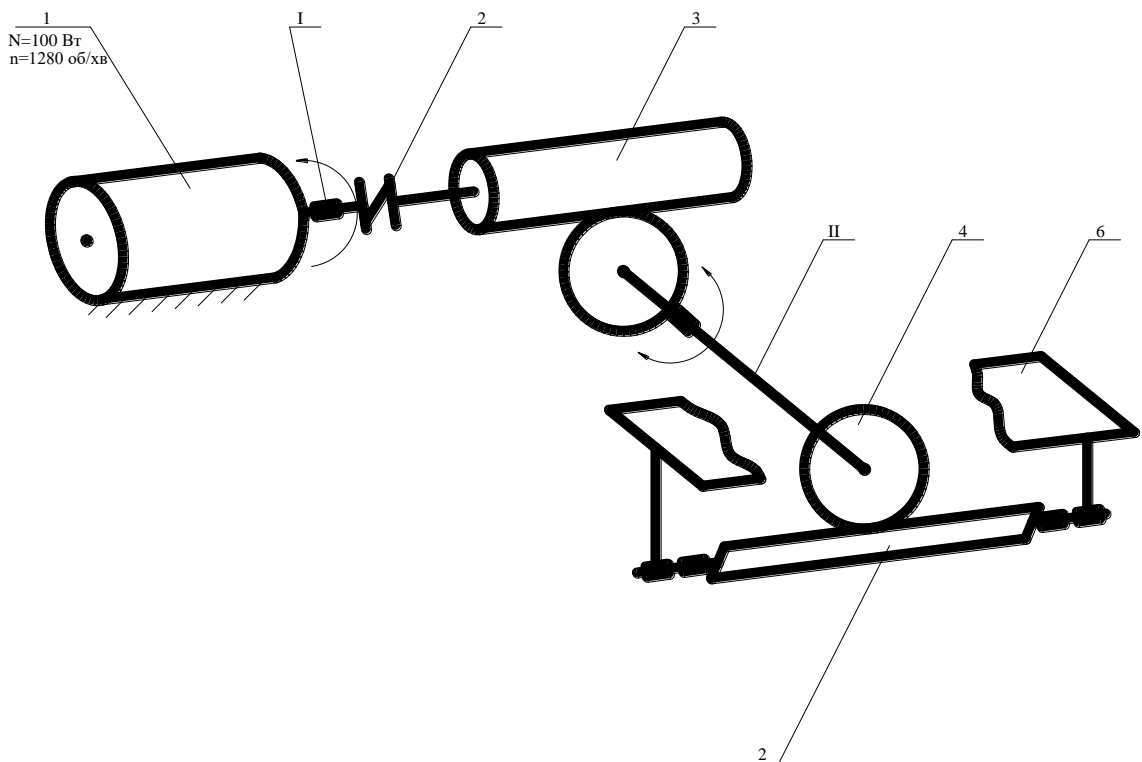


Рисунок 2.1 – Кінематична схема установки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.
32

Отримуючи зворотно-поступальний рух пластина, рухаючись по напрямних, переміщує полімерний матеріал відносно нерухомого зафіксованого у визначеному положенні сопла.

2.4 Розробка конструкції установки для зварювання полімерних матеріалів

Загальний вигляд установки для зварювання полімерних матеріалів приведено на рис.2.2 (аркуш [БРМА23.00.00.000СК]). Детальювання основних деталей представлено на аркуші [БРМА23.00.00.0015].

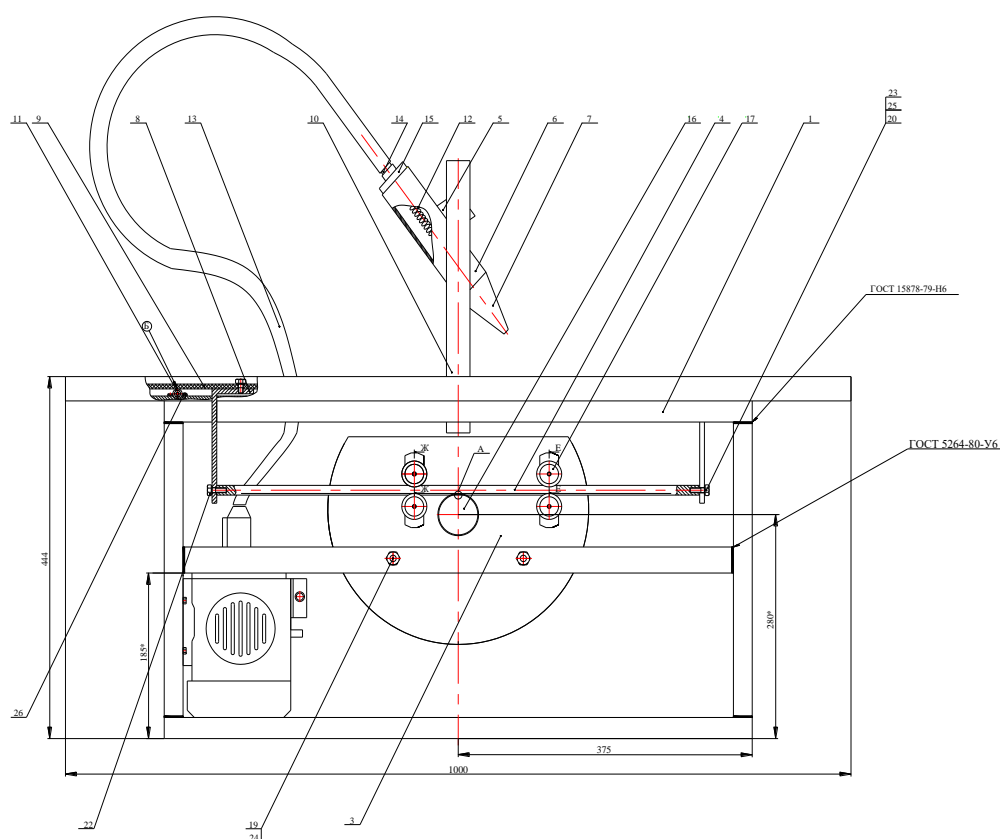


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд установки для зварювання полімерних матеріалів

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Установка складається з:

- механізму переміщення полімерного матеріалу;
- механізму подачі гарячого повітря.

Механізм переміщення полімерних матеріалів складається з: електричного двигуна 26, черв'ячного редуктора, зубчатого колеса 16, рейки 3, направляючих, Г-подібних пластинок 8, пластини 9.

Механізм подачі гарячого повітря складається з: електричного двигуна 25, равликopodobного корпусу 2, патрубку 13, камери 5, кришки 15, штуцера 14, нагрівального елемента 12, сопла 6.

2.5 Принцип роботи установки

2.5.1 Принцип роботи механізму переміщення полімерних матеріалів

Приведення в дію механізму здійснюється електричним двигуном, що з'єднаний з черв'ячним редуктором 27 за допомогою якого здійснюється зменшення кількості обертів задля досягнення потрібної швидкості переміщення полімерних матеріалів (рис.2.2). Швидкість переміщення полімерних матеріалів регулюється зміною напруги на лабораторному автотрансформаторі (ЛАТР) від якого визначена напруга подається до електричного двигуна 25 задаючи таким чином потрібну кількість обертів. Вихідний вал черв'ячного редуктора поєднаний з зубчатим колесом 16, яке входить в зачеплення з зубчатою рейкою 3, надаючи їй зворотно-поступального руху. Рейка, в свою чергу, знаходячись в направляючих 7, кріпиться до нижніх частин Г-подібних пластин 8 за допомогою болтів, які вкручуються в поздовжні отвори, що знаходяться на краях рейки. Верхні частини пластинок 8 за допомогою болтів кріпляться до пластини 14 на якій

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

знаходиться полімерний матеріал. Отримуючи зворотно-поступальний рух пластина 14 рухаючись по направляючим 7 переміщує полімерний матеріал відносно нерухомого зафіксованого у визначеному положенні сопла.

2.5.2 Принцип дії механізму подачі гарячого повітря.

Механізм приводиться в дію електричним двигуном 26 швидкість якого регулюється. Електричний двигун 26 з'єднаний з вентилятором, який знаходиться в равликopodobному корпусі 2. Корпус електричного двигуна болтами з'єднаний з равликopodobним корпусом 2 вентилятора, вентилятор отримуючи рух від електричного двигуна нагнітає повітря по гофрованому патрубку 13, один кінець якого прикріплений до равликopodobного корпусу, а інший до кришки 15 камери 5. Виходячи із патрубка повітря потрапляє в камеру де знаходиться нагрівальний елемент 12 потужність якого регулюється шляхом зміни напруги в блоці живлення. Проходячи через нагрівальний елемент повітря нагрівається до потрібної температури і потрапляє в сопло 6. Виходячи із сопла гарячий струмінь повітря потрапляє на полімер, що зварюється.

2.6 Методика проведення процесу зварювання

Попередньо встановлюємо потрібний режим роботи зварювальної установки (тиск повітря-теплоносія, температуру нагрівального елемента, швидкість переміщення полімерного матеріалу). Нагрівши матеріали, починаємо їх зварювати, переміщуючи їх із заданою швидкістю (матеріали). Зваривши 50 – 100 мм пластмаси, оцінюємо якість зварного шва.

2.8 Розробка електричної схеми регулятора потужності

Для того щоб регулювати температуру нагрівання матеріалів при зварюванні було розроблено блок регулятора потужності [19-21]. В першу чергу було розроблено електричну схему та виготовлено монтажну плату, підібрано радіоелементи та здійснено їх монтаж.

Принцип роботи електричної схеми регулятора потужності (рис.2.3, аркуш [БРМА23.00.00.000Е3]).

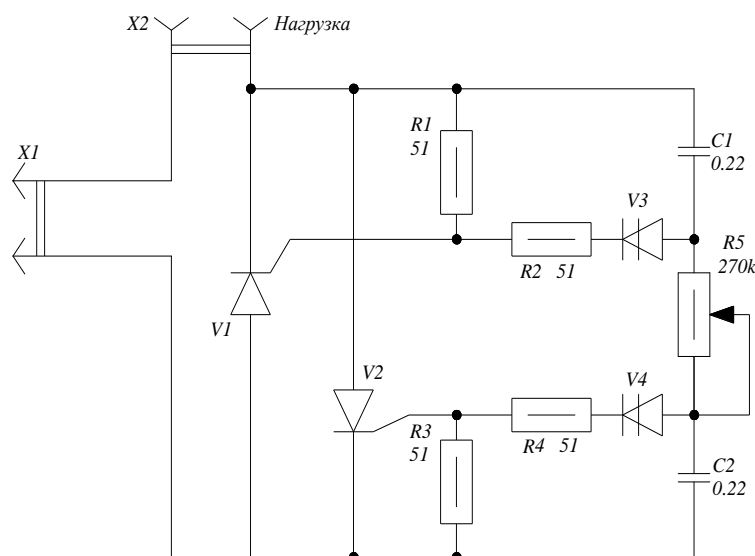


Рисунок 2.3 – Електрична схема регулятора потужності

За допомогою регулятора потужності можна регулювати температуру нагрівального елемента та калорифера, праски. У регуляторі використано по два тринистора й динистора. Напругу на навантаженні (потужність навантаження із зазначеними тринисторами не повинна перевищувати 200 Вт) можна плавно змінювати від 15 до 215 В.

Регулятор працює наступним чином. Коли на верхньому за схемою штирку раз'єму X1 позитивний напівперіод напруги, тоді заряджаються конденсатори C1, C2 (через резистор R5). Якщо на одному з них буде

необхідна полярність напруги, то відкриється динистор. Мова йде про конденсатор С2 і динистор V4. У колі керуючого електрода тринистора V2 потече імпульс струму розряду конденсатора. Тринистор відкриється, подасть, в свою чергу, напругу на навантаження й одночасно розрядить інший конденсатор.

Прилад без керуючих електродів називається діодним тиристором (або динистором).

Прилад з одним керуючим електродом називають тріодним тиристором або тринистором (або просто тиристором).

При негативному напівперіоді напруги на тому ж штирку мережевого раз'єму включиться інший динистор, а в подальшому за ним відкриється тринистор V1. Таким чином, тринистори будуть відкриватися по черзі. Зрушення фази відкриваючої напруги на керуючих електродах здійснюється змінним резистором, причому найбільше зрушення буде при повністю введеному опорі резистора, тобто при нижньому за схемою положенні движка.

Динистор виконує роль електронного ключа, що спрацьовує при певній напрузі на конденсаторах. Використання динистора дозволяє домогтися чіткого спрацьовування тринистора при однаковому зрушенні фази незалежно від їх параметрів.

Резистори R2 й R4 обмежують струм через управляючий електрод, а R1 й R3 дозволяють домогтися стабільної роботи регулятора при зміні температури навколишнього середовища.

Замість динистора КН102А можна встановити КН102Б або КН102У, але при цьому доведеться трохи зменшити ємність конденсаторів (до 0,2 або 0,15 мкФ). Найкраще використати конденсатори БМТ на номінальну напругу не нижче 300 В. Постійні резистори - МЛТ - 0,5, змінний - СП - 1. Максимальна

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

потужність навантаження залежить від тринистора, що використовується. Із тринисторами КУ202К-КУ202Н до регулятора можна під'єднати навантаження до 1000 Вт, але тринистор в цьому випадку необхідно обов'язково зміцнити на теплоотводах - пластинах дюралюмінію товщиною не менш 1,5 мм і площею 150-200. Особливо зручно для цих цілей застосовувати ребристі радіатори, що використовуються для охолодження потужних транзисторів.

2.9 Висновки до другого розділу

В даному розділі проводиться розробка конструкції установки установки для зварювання полімерних матеріалів. Розкривається сутність процесу зварювання пластмас. Описується технологічний процес виконання операції зварювання на установці, що розробляється. Розробляється кінематична схема установки. Описується принцип її роботи. Наводиться технічна характеристика установки для зварювання полімерів. Здійснюється розробка схеми регулятора потужності.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Розрахунок нагрівального елемента

3.1.1 Визначення потрібної кількості теплоти [22, 23]

Потрібну кількість теплоти визначимо за формулою:

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

де c – питома теплоємність матеріалу з якого виготовлене сопло;

m – маса, $m = 2,4$ кг;

t_2 - температура нагрівання;

t_1 - температура навколишнього середовища.

Приймаємо температуру навколишнього середовища рівною $t_1 = 20$ С,
максимальна температура нагрівання складає $t_2 = 600$ °С.

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

Підставивши значення отримаємо:

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

Кількість теплоти з врахуванням втрат визначається за формулою:

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

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

Тоді:

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

Вибираємо коефіцієнт активної потужності для даної установки рівним $\cos \varphi = 1$.

Визначимо струм:

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

Підставивши значення отримаємо:

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

Визначаємо опір нагрівача:

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

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

Площа поперечного перерізу проволочки:

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо діаметр проволочки за формулою:

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

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

Визначаємо довжину проволочки за наступною формулою:

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

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

3.1.2 Підбір електродвигуна вентилятора

Потужність, що споживається вентилятором визначається за формулою:

$$N = K_{з.н} \cdot \frac{V_e \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta_e}; \quad (3.7)$$

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

η - коефіцієнт корисної дії вентилятора, $\eta = 0,6 \dots 0,7$;

Δp - різниця тисків, $\Delta p = 1000 - 1200$ Па.

Тоді:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

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

Вибираємо електричний двигун [25, 26] типу 4А71А4У3 з потужністю 0,15 кВт, кількість обертів $n = 1390$ об/хв.

3.2 Розрахунок приводу для транспортування полімерних матеріалів

3.2.1 Розрахунок параметрів приводу

Вихідні дані:

$P_H, H = 1000$ - тягове зусилля;

$t, \text{мм} = 3$ - крок зачеплення;

$V, \text{м/с} = 0,015$ - швидкість руху конвеєра;

$z = 65$ - число зубців зубчатого колеса;

$g = 9,8$ - прискорення вільного падіння.

3.2.1.1 Потужність на виході:

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

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

3.2.1.2 Кількість обертів на виході:

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення отримаємо:

$$n_6 = \frac{60000 \cdot 0,052}{3 \cdot 65} = 16x6^{-1}.$$

3.2.1.3 Загальний коефіцієнт корисної дії приводу:

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

де $\eta_1=0,7$ – к.к.д закритої черв'ячної передачі;

$\eta_2=0,995$ – к.к.д пари підшипників кочення [27].

Підставивши значення отримаємо:

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

3.2.1.4 Розрахункова потужність електричного двигуна:

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

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

3.2.1.5 Вибір електричного двигуна приводу

Вибираємо електричний двигун типу УАД – 24 із частотою обертання 1280 об/хв., потужністю $P_{об} = 0,10кВт$, $T_n / T_{ном} = 1,5$; $d_6 = 5,5мм$.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2.1.6 Визначення передаточних чисел приводу:

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

3.2.1.7 Частоти обертання валів:

$$n_1 = n_{\text{дв.}} = 1280 \text{ об / хв};$$

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

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

3.6.1.8 Потужності на валах:

$$P_1 = P_{\text{дв.}} = 0,21 \text{ кВт};$$

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

3.6.1.9 Крутні моменти:

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

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2.2 Вибір матеріалів і розрахунок допустимих напружень.

3.2.2.1 Орієнтовне значення швидкості ковзання:

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

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

3.2.2.2 Згідно потужності електродвигуна $p = 1,2$ вибираємо четверту групу термообробки, для якої термообробка черв'яка поліпшення плюс загартування струмами високої частоти. Згідно [27] вибрано для виготовлення черв'яка сталь 40ХН твердість серцевини НВ 262...302, твердість поверхні HRC 48...53 $\sigma_T = 750 \text{ МПа}$, $\sigma_\sigma = 790 \text{ МПа}$.

Вінець черв'ячного колеса при швидкості ковзання $V_s \leq 2 \text{ м/с}$ передбачається виготовити з латуні ЛАЖМц 66-6-3-2 [27] з межею міцності $[\sigma_\sigma] = 638 \text{ МПа}$, межею текучості $[\sigma_T] = 236 \text{ МПа}$.

3.2.2.3 Визначення допустимих контактних напружень:

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

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

3.2.2.4 Допустимі напруження на згин:

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

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

3.2.2.5 Максимально допустимі напруження:

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

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

3.2.2.6 Максимально допустимі напруження на згин:

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

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

3.2.3 Розрахунок закритої черв'ячної передачі

3.2.3.1 Вихідні дані:

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

U - передаточне число $U = 80$;

q - коефіцієнт динамічності $q = 20$ [27];

z - число зубців черв'яка $z = 1$ [27].

3.2.3.2 Розрахунок кількості зубів черв'ячного колеса:

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

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

3.2.3.3 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 по контактних напруженнях;

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

де θ - коефіцієнт деформації черв'яка, прийнято $\theta = 248$ [2];

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

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

3.2.3.4 Вибираємо по стандарту передачу відповідно до заданого передаточного числа редуктора $U=80$, коефіцієнта діаметра $q=20$, числа зубців черв'яка $z=1$. Вибрано стандартну черв'ячну передачу з значенням міжосьової відстані $a=125$ мм, та модулем зачеплення $m=2,5$ [27].

3.2.3.5 Визначення основних розмірів черв'яка і 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 ділильний діаметр:

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

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

Діаметри вершин для черв'яка:

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

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

Діаметри вершин для колеса визначаються за формулою:

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

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

Діаметри впадин визначаються за формулою:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

Максимальний діаметр черв'ячного колеса визначається за формулою:

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

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

Довжина нарізної 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 черв'ячного колеса визначається за формулою:

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

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Кут підйому гвинтової лінії:

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

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

3.2.3.6 Уточнення коефіцієнта навантаження:

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

де K_β - коефіцієнт концентрації навантаження;

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

де X – коефіцієнт, що враховує характер навантаження. При спокійному малозмінному навантаженні $X=1$. Прийнято $X=1$.

Підставивши дані отримаємо:

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

де K_V - коефіцієнт динамічності навантаження для 9-го ступеня точності $K_V=1,25$;

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

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2.3.7 Уточнене значення швидкості ковзання:

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

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

3.2.3.8 Перевірка контактних напружень:

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

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

3.2.3.9 Перевірка 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 навантаження, $K_F = K_H = 1,25$;

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

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

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

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

3.2.4 Тепловий розрахунок

3.2.4.1 Температура нагрівання масла без штучного охолодження :

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

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

A – поверхня корпусу;

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

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

де $\psi = 0,3$ [2, с.24] – коефіцієнт, що враховує відведення теплоти від корпусу редуктора в металеву плиту або раму;

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

Підставивши значення отримаємо:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

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

3.2.4.2 Розрахункова в'язкість масла:

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

де K_q - проміжний коефіцієнт для визначення в'язкості масла;

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

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

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

Підставивши значення отримаємо:

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

В'язкість рідкого масла для черв'ячної передачі:

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

Вибрано [27] для змащення зачеплення масло індустріальне І-50А.

Для змащення підшипників кочення вибрано масло універсальне середнє плавке (солідол жировий) УС-2 [27].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2.4.3 Глибина занурення в масло черв'ячного колеса:

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

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

3.3 Висновки до третього розділу

В даному розділі здійснюються розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів. Проводиться розрахунок нагрівального елемента та приводу для транспортування полімерних матеріалів.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі проведено огляд та аналіз технологічних процесів та пристроїв для зварювання полімерних матеріалів. Приводиться коротка характеристика пластмас. Описуються будова полімерних матеріалів та фізико-механічні властивості пластмас. Розглядаються технологічні процеси зварювання полімерних матеріалів. Описуються пристрої для зварювання пластмас.

В другому розділі проводиться розробка конструкції установки установки для зварювання полімерних матеріалів. Розкривається сутність процесу зварювання пластмас. Описується технологічний процес виконання операції зварювання на установці, що розробляється. Розробляється кінематична схема установки. Описується принцип її роботи. Наводиться технічна характеристика установки для зварювання полімерів. Здійснюється розробка схеми регулятора потужності.

В третьому розділі здійснюються розрахунки, що підтверджують працездатність установки для зварювання полімерних матеріалів. Проводиться розрахунок нагрівального елемента та приводу для транспортування полімерних матеріалів.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підручник / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2015. – 456 с.
2. Гетьманчук Ю.П., Братичак М.М. Хімія і технологія полімерів: Підручник. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 496 с.
3. І. О. Мікульонок. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 292 с.
4. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
5. Суберляк О.В., Скорохода В.Й., Семенюк Н.Б. Теоретичні основи хімії та технології полімерів. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2014. – 336 с.
6. Гетьманчук Ю.П., Братичак М.М. Хімія високомолекулярних сполук: підручник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 460 с.
7. Курта С.А., Курганський В.С. Хімія і технологія високомолекулярних сполук. – ІваноФранківськ, 2010 р. – 293 с.
8. Зворикін К.О. Зварювання пластмас: навчальний посібник / К.О. Зворикін, Л.О. Зворикін. – К.: Компанія Медіа майстер, 2013. – 184 с.
9. Зварювання пластмаси: технологія та обладнання [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://presa.com.ua/budivnytstvo/zvaryuvannya-plastmasi-tekhnologiya-ta-obladnannya.html>
10. Зворикін К. О., Зворикін Л. О. Зварювання пластмас: навч. посіб. К.: Вид-во «КММ», 2013. 184 с
11. Юрженко М.В. Зварювання високотехнологічних пластмас. – К.: Університетська книга, 2023. – 319с.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

12. Конспект лекцій з дисципліни «Зварювання пластмас». – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 70 с.

13. Словник-довідник зі зварювання та склеювання пластмас / М.В. Юрженко, А.М. Шестопал, В.Л. Гохфельд, М.Г. Кораб, Ю.С. Васильєв; НАН України, Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона ; за ред. Борис Євгенович Патон. – К.: Наукова думка, 2018. – 361 с.

14. Види зварювачів і принципи їх роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ten24.com.ua/ua/blog/vidy-zapayshchikov-i-printsipy-ikh-raboty/>

15. Устаткування для зварювання пластмас [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://emkosti.kiev.ua/oborudovanie-dlya-svarki-plastmass/>

16. Зварювальне обладнання Leister [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pvh-shtory.com.ua/uk/blog/185-svarochnoe-oborudovanie-leister.html>

17. Зварювальне обладнання для зварювання поліетиленових труб [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mega-tech.in.ua/zvaryvalne-obladnannya-dlya-zvaryuvannya-polietilenovih-trub/>

18. Методики зварювання термопластичних полімерів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://factorial.ua/uk/article/metodiki-zvaryuvannya-termoplastichnih-polimeriv/>

19. Симісторний регулятор потужності своїми руками [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/15512-simstorniy-regulyator-potuzhnost-svoyimi-rukami.html>

20. Тиристорний регулятор потужності: схема, принцип роботи та застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/3687-tiristorniy-regulyator-potuzhnost-shema-princip-roboti-ta-zastosuvannya.html>

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

21. Регулятор потужності на сімісторі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://poradumo.com.ua/93316-regyliator-potyjnosti-na-simistore-shemi-fazovii-regyliator-potyjnosti-na-simistore/>

22. Розрахунок параметрів електронагрівачів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ten24.com.ua/ua/blog/raschet-parametrov-elektronagrevateley-dlya-pechi-raschet-nikhromovoy-spirali/>

23. Розрахунок елементів нагрівача [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/rozrahunok-elementiv-nagrivacha-z-nihromovogo/>

24. Розрахунок потужності і вибір двигунів для механізмів зі сталим режимом роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7737385/page:3/>

25. Вибір електродвигунів за родом струму, величиною напруги [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://budtehnika.pp.ua/1634-vibr-elektrodvigunv-za-rodом-strumu-velichinoyu-napруги.html>

26. Довідник сільського електрика - Електричні двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://forca.com.ua/knigi/rizne/dovidnik-silskogo-elektrika/Page-9.html>

27. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

ДОДАТОК А

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		