

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Технологія ремонтного зварювання бампера автомобіля

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Відновлення і технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРБМТВА 26. 22112. 000 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу,
група МТВА-22-1



Антон ПИЛЯВЕЦЬ

Керівник, д.т.н., професор



Максим ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:
завідувач кафедри ТАМ



Олександр ДИХА

15 06 2026 р.

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти: перший бакалаврський
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

Олександр ДИХА



" 15" квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Пилявець Антон Олексійович

1. Тема роботи: **Технологія ремонтного зварювання бампера автомобіля**

Керівник роботи: Диха Максим Олександрович, к.т.н., доц.

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про систему ультразвукового зварювання пластмас
- 2) Технічні умови експлуатації деталей кузова автомобіля
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація по стандартизованим методам електричних випробувань
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Технологічні можливості ультразвукового зварювання
2. Проектування комплексу для ультразвукового зварювання
- 3 розробка технології ультразвукового складання бампера автомобіля audi
4. Методика та результати дослідження технології ультразвукового зварювання пластиків

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічні можливості ультразвукового зварювання	1.05.2026	
2	Проектування комплексу для ультразвукового зварювання	15.05.2026	
3	Розробка технології ультразвукового складання бампера автомобіля audi	30.05.2026	
4	Методика та результати дослідження технології ультразвукового зварювання пластиків	10.06.2026	

Студент





 Антон ПИЛЯВЕЦЬ

Керівник кваліфікаційної роботи

 Максим ДИХА

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	8
1.1 Аналіз та перспективи застосування пластиків	8
1.2 Аналіз можливих способів з'єднання пластиків	13
1.3 Фізичні основи ультразвукового зварювання	14
1.4 Огляд технічних рішень у галузі ультразвукового зварювання	16
1.5 Аналіз вихідних даних	19
1.5.1 Опис бампера автомобіля Audi	20
1.5.2 Опис матеріалу бампера	21
1.5.3 Опис базового варіанта	21
2 ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	24
2.1 Розрахунок і проектування магнітострикційного перетворювача	24
2.2 Розрахунок та проектування ультразвукового хвилеводу	27
2.3 Проектування ультразвукового генератора	31
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКЛАДАННЯ БАМПЕРА АВТОМОБІЛЯ AUDI	32

						КРБМТВА 26. 22112. 000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологія ремонтного зварювання бампера автомобіля								
Розроб.	Пилявець										Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Диха МО										4	65	
Н.контр.	Бабак										ХНУ,		
Затвер	Диха										гр. МТВА-22-1		

3.1 Розрахунок режимів ультразвукового зварювання	32
3.2 Технологічний процес ультразвукового складання бампера автомобіля Audi.....	35
4 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИКІВ	39
5 БЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА.....	44
5.1 Конструктивно-технологічна характеристика об'єкта	44
5.2 Ідентифікація професійних ризиків	45
5.3 Методи та засоби зниження професійних ризиків	45
5.4 Забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкта	47
5.5 Забезпечення екологічної безпеки технічного об'єкта	51
5.6 Висновки до розділу	51
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

На сьогоднішній день полімерні матеріали застосовуються практично у всіх галузях промисловості та активно витісняють вироби з металу. Наприклад, інтер'єр салону автомобіля в основному виконаний з пластикових матеріалів, так само полімери застосовуються для виготовлення корпусів фар, бамперів, екрану двигуна та інших елементів автомобіля. Заміна металевих деталей на легші, випалені із пластику, дозволяє зменшити вагу автомобіля, а, отже, і техногенне навантаження на навколишнє середовище. У зв'язку з цим перед автовиробниками постає завдання пошуку перспективних способів надійного з'єднання пластикових матеріалів.

На даний момент для складання пластикових автокомплектуючих існують технології механічного складання (кріпильні елементи, клямки); адгезійного складання (склеювання); лазерного, вібраційного та ультразвукового зварювання. Також здійснюється постійний пошук та розробка нових технічних рішень.

Одним із інноваційних та економічно ефективним способом отримання надійного нероз'ємного з'єднання пластиків є технологія ультразвукового складання. Незважаючи на те, що перше обладнання для ультразвукового зварювання було створено в 1960-х, на сьогоднішній день не багато підприємств, що займаються випуском автокомплектуючих, знають про цю технологію та її переваги. Так само в Україні та за кордоном існує мало компаній, які займаються розробкою та створенням нового обладнання для ультразвукового зварювання. У зв'язку з цим було створено команду з розробки та створення принципово нового обладнання для ультразвукового зварювання.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		6

Мета роботи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та вдосконалення технології ультразвукового зварювання пластикових елементів бампера автомобіля з підвищенням якості зварних з'єднань, продуктивності процесу та надійності конструкції.

Завдання роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз сучасних способів з'єднання полімерних матеріалів та обґрунтувати доцільність використання ультразвукового зварювання.
2. Розробити та розрахувати основні елементи технологічного обладнання для ультразвукового зварювання (перетворювач, хвилевід, генератор).
3. Визначити раціональні режими ультразвукового зварювання та розробити технологічний процес складання бампера автомобіля.
4. Дослідити вплив технологічних параметрів на якість зварного з'єднання та обґрунтувати оптимальні режими процесу.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		7

1. Технологічні можливості використання ультразвукового зварювання

1.1 Аналіз та перспективи застосування пластиків

На сьогоднішній день автомобілебудування, як і будь-яка інша промисловість, здійснює пошук та впровадження інноваційних проектів, які б дали новий технологічний стрибок виробництва. Перед автомобілебудівниками стоять завдання зменшення ваги конструкції автомобіля, з метою зниження згубного впливу транспортного засобу на навколишнє середовище. Викликано це тим, що вводяться жорсткі норми за гранично допустимими викидами вихлопних газів. Так, наприклад, у Європі, згідно з «Законом про середню допустиму витрату палива автомобілем» до 2025 року витрата палива автомобілем не повинна перевищувати 4.32 л. на 100 км. А середній викид вуглекислого газу на нових автомобілях не повинен бути більшим за 95 г. на 1 км. Для відповідності цим нормам автомобілебудівники замінюють матеріал деяких деталей автомобіля на більш легкий, як пластик.

Починаючи з 1970-х років частка металевих частин в автомобілі неухильно знижується: якщо раніше звичайний автомобіль на 79% складався зі сталі, то сьогодні частка металу в автомобілі — близько 55%. Пластмаси, навпаки, показують стійке зростання: з 6% на початку 1970-х до 18% до 2020 року. За оцінками експертів, світовий попит на конструкційний пластик для застосування в автомобільному виробництві вже найближчим часом зростатиме на 7% на рік [1,3].

Багато елементів сучасного автомобіля виконані з пластику. Наприклад: деталі та вузли моторного відсіку, бампера, внутрішнє облицювання дверей, приладові панелі, датчики паркування, облицювання автомобільних стійок, корпуси для компонентів, насоси, сонцезахисні

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						8
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

козирки, задні ліхтарі, динаміки, корпуси, кришки, розширювальні бачки. У таблиці 1.1 наведено приклади автомобільних компонентів, виготовлених із пластиків.

Таблиця 1.1 - Пластикові автокомплектуючі

Найменування виробу	Фото	Матеріал
Деталі і вузли моторного відсіку	 	Акрилонітрилбутадієнстирол (ABS) Поліпропілен (PP) Поліетилен (PE)
Бампер		Поліуритан (PU) Поліпропілен (PP) Поліетилен (PE)
Деталі інтер'єру		Акрилонітрилбутадієнстирол (ABS)
Корпуси фар та дзеркал		Поліпропілен (PP) Поліуретан (PU) Акрилонітрилбутадієнстирол (ABS)

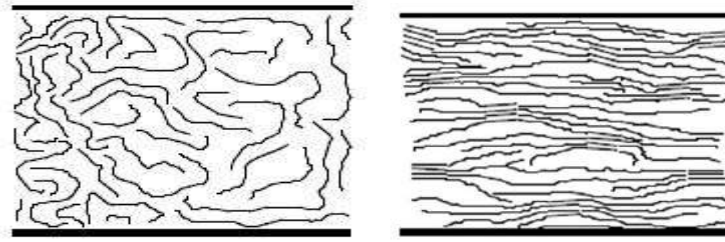
Різні функціональні компоненти (корпуси, кришки, розширювальні бачки, резервуари тощо)		Поліамід (РА) Поліетилен (РЕ)
--	---	-------------------------------

Як видно з таблиці 1.1, багато автокомплектуючих виконані з термопластичних видів пластику, таких як: ABS, PC, PE, PP. Але є і терморезистивні види, наприклад PU. Розглянемо їх характеристики та властивості щодо можливості складання за допомогою ультразвукового зварювання.

Пластик є синтетичний матеріал, отриманий шляхом нагрівання вуглеводень з додаванням каталізатора, щоб розбити великі молекули. Отримані внаслідок цього маленькі молекули (етилен, пропілен, бутан та інші) називаються мономерами. Далі рахунок хімічного з'єднання з мономерів виходять полімери. Розмір та структура полімерів визначає їх властивості. Усі пластики можна розділити на дві групи: терморезистивні та термопластичні. Терморезистивні пластики є стійким до високих температур матеріалом, при нагріванні вони зазнають незворотних змін. Через це їх не можна нагрівати після виготовлення виробу. У зв'язку з цим терморезистивні матеріали не поєднуються за допомогою ультразвукового зварювання.

Термопластичні матеріали, навпаки, при нагріванні переходять у рідинну фазу, а при охолодженні тверднуть, не змінюючи початкові властивості. Отже, вони ідеально підходять для з'єднання за допомогою ультразвукового зварювання.

Термопласти поділяються на дві групи (рис. 1.1):



а б

а - аморфні термопласти; б - напівпрозорі.

Рисунок 1.1 - Структура термопластичних матеріалів

Аморфну структуру мають ABS, ПВХ, PC. Їхні молекули влаштовані хаотично. Напівпрозору структуру: PA, PP та фторполімери. Їхня молекулярна структура організована і повторювана. Аморфні матеріали немає вираженої точки плавлення. При нагріванні вони поступово переходять у рідкий стан, а при охолодженні плавно назад у тверде. Навпаки, напівпрозорі матеріали мають яскраво виражену точку плавлення і залишаються у твердому стані, поки температура не досягне цієї точки. На Рисунку 1.2 показані діаграми розплавлення аморфних та напівпрозорих матеріалів.

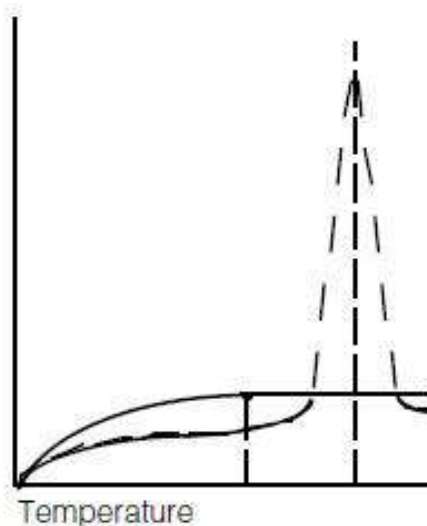


Рисунок 1.2 - Розплавлені стани для аморфних (суцільна лінія) та напівпрозорих (штрихова) матеріалів

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		11

Через відмінності в молекулярній структурі, аморфні та напівпрозорі термопласти по-різному передають високочастотні коливання. Які, у свою чергу, несуть у собі механічну енергію для переходу матеріалу з твердого в рідкий стан. У напівпрозорих матеріалах організована молекулярна структура поглинає вібраційну енергію, що вимагає вищої щільності питомої акустичної енергії їхнього розплавлення. В аморфних матеріалах молекули розташовані хаотично, що не ускладнює прохід вібраційної енергії [4, 5].

Для забезпечення надійного з'єднання двох термопластичних матеріалів один з одним, їх хімічні властивості повинні бути сумісні. У таблиці 1.2 представлено інформацію про сумісність термопластичних матеріалів для ультразвукового зварювання.

Таблиця 1.2 - Сумісність термопластичних матеріалів для ультразвукового зварювання (за даними компанії Dukane)

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						12
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

	ABS (Cyclocac)	ABS/Polycarbonate (Cycoloy)	Acetal (Delrin, Celcon)	Acrylic (Plexiglass, Perspex)	Acrylic Multipolymer (XT)	Liquid Crystal Polymers (Xydar)	Nylon (Zytel)	Phenylene Oxide (Noryl)	Polycarbonate (Lexan)	Polycarbonate/Polyester (Xenoy)	Polyester PBT (Celanex, Valox)	Polyester PET (Rynite)	Polyetherether Ketone (PEEK)	Polyetherimide (Ultem)	Polyethylene P/E	Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)	Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)	Polypropylene P/P	Polystyrene	Polysulfone (Udel)	Polyvinylchloride (Rigid PVC)	SAN/NAS	Styrene Block Copolymers (K-Resin)
ABS (Cyclocac)	■																						●
ABS/Polycarbonate (Cycoloy)	■	■		●					●			■								●			
Acetal (Delrin, Celcon)			■																				
Acrylic (Plexiglass, Perspex)	■	●		■	●				■	●												●	●
Acrylic Multipolymer (XT)	■	●		●																		●	
Liquid Crystal Polymers (Xydar)						■																	
Nylon (Zytel)							■																
Phenylene Oxide (Noryl)								■	●											■		●	
Polycarbonate (Lexan)		■		■					■	●													
Polycarbonate/Polyester (Xenoy)		●		●					●	■	●												
Polyester PBT (Celanex, Valox)									●	■													
Polyester PET (Rynite)												■											
Polyetherether Ketone (PEEK)												■											
Polyetherimide (Ultem)													■										
Polyethylene P/E														■									
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)															■								
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)																■							
Polypropylene P/P																	■						
Polystyrene	●							■												■		●	●
Polysulfone (Udel)																					■		
Polyvinylchloride (Rigid PVC)																					■	■	
SAN/NAS	●			●	●			●												●		■	■
Styrene Block Copolymers (K-Resin)	●			●																●		■	■

■ Good compatibility ● Compatible at times based on material composition

1.2 Аналіз можливих способів з'єднання пластикових

На даний момент у промисловості для з'єднання різних пластикових виробів один з одним в основному використовують три способи, які представлені на схемі (рис. 1.3).

Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат



Рисунок 1.3 - Варіанти збирання пластикових виробів

Найбільш простим способом з'єднання полімерних деталей вважається механічне складання, при якому елементи конструкції поєднуються за допомогою кріпильних виробів (гвинтів, засувок) або методом запресування. Перевагами такого підходу є відсутність потреби у додаткових матеріалах, достатньо висока міцність з'єднання, технологічна простота та економічність. Водночас при тривалій експлуатації, особливо в умовах змінних навантажень, спостерігається поступове погіршення якості з'єднання.

Альтернативою є адгезійне з'єднання, що базується на формуванні міжповерхневих зв'язків на молекулярному рівні із застосуванням клеїв, розчинів або розплавлених полімерів. До переваг цього методу належить можливість поєднання різнорідних матеріалів та забезпечення достатньої герметичності. Разом із тим використання допоміжних матеріалів призводить до додаткових витрат і ускладнює технологічний процес.

Серед зварювальних методів особливу увагу привертає ультразвукове зварювання, яке має ряд суттєвих переваг порівняно з іншими способами. Насамперед, цей метод не потребує застосування сторонніх матеріалів (клеїв, припоїв, заклепок тощо). Крім того, отримані з'єднання характеризуються високою міцністю, яка може досягати 80–90% від міцності основного матеріалу. Важливою особливістю є також відсутність необхідності спеціальної підготовки поверхонь, що не погіршує якість сформованого зварного шва.

Таким чином, зварні з'єднання, сформовані методом ультразвукового зварювання, за своїми фізико-механічними та хімічними властивостями наближені до властивостей вихідного матеріалу. До обмежень даного способу можна віднести високу вартість обладнання та обмеження за товщиною деталей, що підлягають зварюванню.

1.3 Фізичні основи ультразвукового зварювання

Сутність ультразвукового зварювання полягає у введенні в зону контакту деталей високочастотних механічних коливань, які викликають локальний нагрів матеріалу за рахунок внутрішнього тертя. Робочий діапазон частот при цьому зазвичай знаходиться в межах 20–100 кГц.

Типовий комплекс обладнання для реалізації цього процесу включає ультразвуковий генератор, який формує електричні коливання заданої частоти, перетворювач, що трансформує їх у механічні, та хвилевід, який передає коливання безпосередньо в зону зварювання. Схематичне зображення такого комплексу наведено на рисунку 1.4.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		15

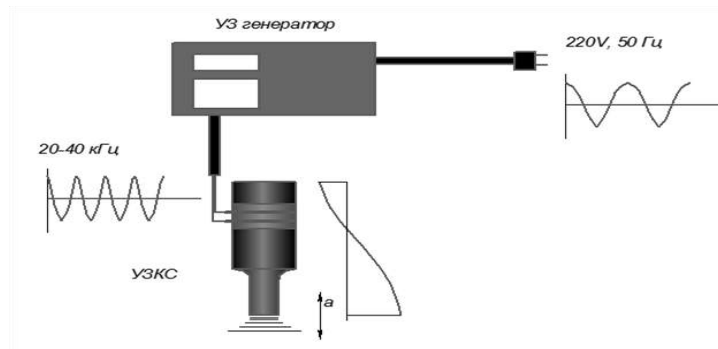


Рисунок 1.4 – Структурна схема технологічного обладнання для ультразвукового зварювання

Ультразвуковий генератор перетворює електричну енергію мережі частотою 45-55 Гц високочастотну електроенергію, яка передається на ультразвукову коливальну систему, що складається з магнітострикційного або п'єзокерамічного перетворювача, підсилювача і хвилеводу. За рахунок магнітострикційного або електрострикційного ефекту перетворювач перетворює електроенергію на енергію механічних коливань певної частоти і повідомляє їх через підсилювач на хвилевід. Хвиляр є робочим інструментом в ультразвуковому зварюванні, який служить для передачі коливань від перетворювача до деталей, що зварюються. За рахунок коливань молекулярних зв'язків заготовок відбувається локальне розігрів заготовок у зоні їх контакту з хвилеводом, що призводило до розплавлення пластику в області контакту. При припиненні підведення ультразвукових коливань відбувається встановлення нових молекулярних зв'язків між зварюваними заготовками в процесі затвердіння зварювальної ванни. На Рисунку 1.5 показаний цикл ультразвукового зварювання.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		16

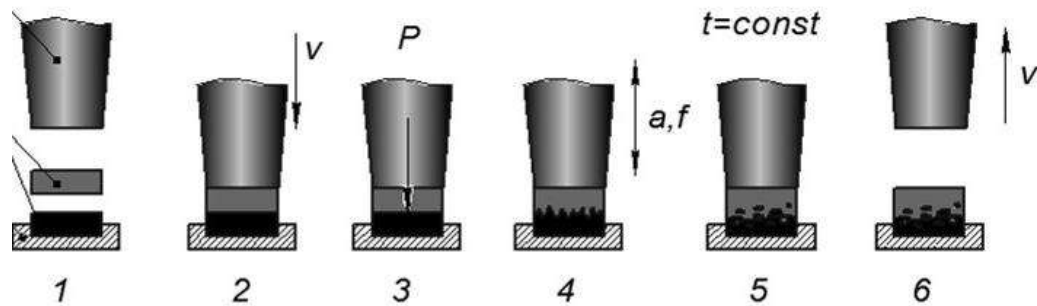


Рисунок 1.5 - Цикл ультразвукового зварювання

Цикл виконання ультразвукового зварювання включає послідовність технологічних операцій. Спочатку з'єднані деталі встановлюють у спеціальному пристрої фіксації у взаємно визначеному положенні. Далі до поверхні верхньої заготовки підводять ультразвукову коливальну систему, що може здійснюватися як у ручному, так і в автоматизованому режимі.

Після цього в зоні контакту створюється необхідне зусилля притиску, яке забезпечує щільне прилягання деталей. На наступному етапі на робочий інструмент (хвилевід) подаються високочастотні коливання, внаслідок чого у зоні контакту виникає локальний нагрів і матеріал переходить у пластичний або рідкий стан. Після завершення встановленого часу впливу подача ультразвуку припиняється, що сприяє початку процесу охолодження розплавленого матеріалу.

Для формування якісного з'єднання деталі витримують під дією притискного зусилля протягом певного часу, необхідного для кристалізації та зміцнення зварного шва. На завершальному етапі ультразвукову систему відводять від виробу після повного затвердіння матеріалу.

1.4.Огляд технічних рішень у галузі ультразвукового зварювання

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		17

Сучасний ринок обладнання для ультразвукового зварювання представлений як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками, серед яких можна виділити Herrmann Ultrasonic, Dukane, Branson, U-Sonic та ТОВ «Ультрарезонанс». Дані компанії спеціалізуються на розробці та виготовленні різних типів ультразвукових установок, що застосовуються у промисловості, зокрема в автомобілебудуванні для з'єднання полімерних компонентів.

Як приклад, компанією Herrmann Ultrasonic було створено автоматизований комплекс, призначений для багатоточкового зварювання пластикових елементів автомобільних дверей, що дозволяє значно підвищити продуктивність і стабільність процесу (рис. 1.6)

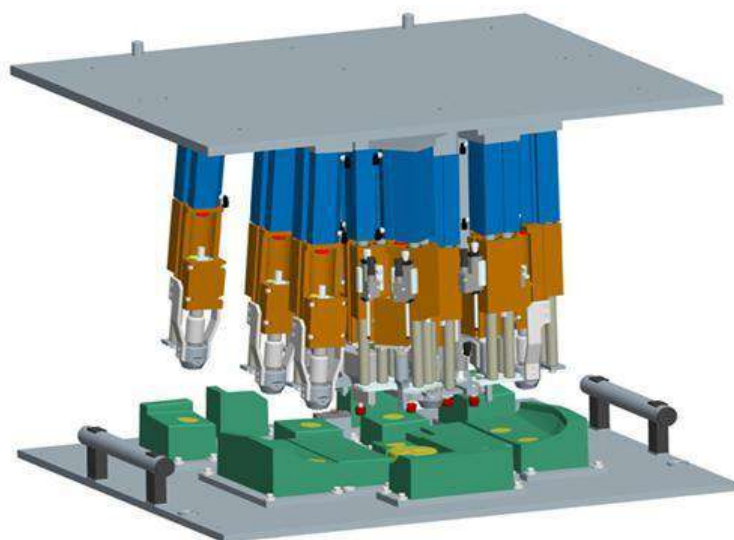


Рисунок 1.6 – Багатоточковий автоматизований комплекс для ультразвукового зварювання фірми Herrmann Ultrasonic

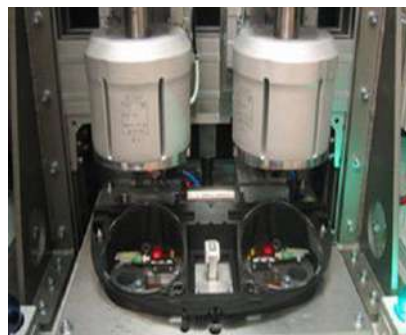
На Рисунку показано ультразвукові сонотроди, які закріплені на верхній платформі. На нижню платформу, яка повторює форму дверей, укладаються заготовки. Переміщення сонотродів до торкання поверхонь деталей, що зварюються здійснюється пневмоциліндром.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		18

На Рисунку 1.7. представлені робочі зони зварювання за допомогою ультразвукових приводних головок.



А)



Б)

а - чохла важеля перемикання передачі; б - панелі приладів автомобіля
Рисунок 1.7 – Робочі зони зварювання обладнання фірми Herrmann Ultrasonic

Компанія Dukane (Німеччина) має широку лінійку обладнання для ультразвукового зварювання. На Рисунку 1.8 представлений комплекс для ручного ультразвукового зварювання. Комплекс складається з ультразвукового генератора, коливальної системи на основі п'єзоелементів та ступінчастого сонотроду, сполучного кабелю.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		19



Рисунок 1.8 - Апарат для ручного ультразвукового зварювання фірми Dukane Цей комплекс застосовується для дрібносерійного виробництва. Для великосерійного та масового виробництва було створено установку пресового типу (рис. 1.9)



Рисунок 1.9 - Ультразвуковий верстат пресового типу фірми Dukane

Дана установка складається з ультразвукового хвилеводу, переміщення якої здійснюється за допомогою пневматичного вузла спеціальним вертикальним напрямним. Напрямні розташовані на вертикальній колоні,

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		20

встановленій на платформі верстата. На колоні закріплений монітор для зняття показань та регулювання параметрів режиму ультразвукового зварювання.

На рис. 1.10 представлений більш продуктивні напівавтомати карусельного (а) та послідовного типів (б) для одночасного зварювання на кількох позиціях [6].



А

Б

Рисунок 1.10 – Ультразвуковий верстат пресового типу фірми Dukane
Компанія U-Sonic (Україна) запропонувала конструкцію багатомодульної
ультразвукової зварювальної установки (рис. 1.11), з можливістю
одночасного зварювання кількох різних за формою елементів виробу.

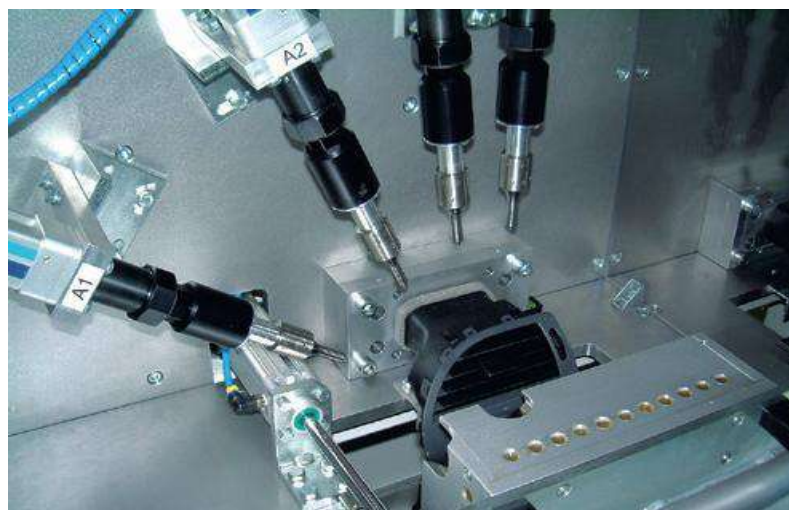


Рисунок 1.11 - Технічне рішення ультразвукового зварювання USonic

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		21

Виріб встановлюється на ложемент на нижньому столі установки. У ультразвукові сонотроди, розташовані над виробом закладаються елементи, які потрібно приварити. Рухом сонотродів здійснюється рахунок пневмоциліндрів. Зварювання, залежно від виробу, можна робити як одночасно, так і по черзі. Через те, що кожен сонотрод підключений до свого генератора, на цій установці можна здійснювати не тільки зварювання, а й одночасно пробивання отворів [7].

1.5 Аналіз вихідних даних

Бампер є пластиковою панеллю, розташованою в передній і задній частинах автомобіля. Основним його призначенням є захист автомобіля під час ударів з іншими тілами. Але останнім часом бампер так само несе в собі і декоративну функцію, підкреслення того чи іншого стилю автомобіля.

У цій роботі розглядається бампер автомобіля Audi товщиною 5 мм (рис. 1.12). Виготовлений із твердого поліпропілену шляхом лиття під тиском.



Рисунок 1.12 – Лицьова частина бампера автомобіля Audi

Для посилення жорсткості бампера в нього встановлюють пластикову вставку завтовшки 3 мм із болтами для кріплення до кузова автомобіля. Так само з боків розміщують вставки кріплення, що фіксують ще два болти. Усі вставки приєднують до бампера за допомогою ультразвукового зварювання

(Рис. 1.13).

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						22
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		



Рисунок 1.13 – Внутрішня частина бампера автомобіля Audi у зборі

1.5.2 Опис матеріалу бампера

PP - термопластичний полімер пропілену є органічною сполукою та має довгі молекули.

Властивості PP-пластику:

- Діелектрик;
- нетоксичний, у нормальних умовах;
- Стійкість до ударів;
- Стійкість до лугів та миючих засобів;
- Низька адгезія;
- Діапазон експлуатаційних температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ [10].

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		23

Таблиця 1.3 – Теплофізичні та фізичні властивості PE пластику

Найменування	Значення
Щільність (23 оС), г/см ³	1,03
Температура розм'якшення по Віка (50Н), оС	80-120
Температура вигину під навантаженням (0.45 МПа), оС	95-99
Температура вигину під навантаженням (1.8 МПа), оС	74-108
Коеф. лінійного термічного розширення (23 - 55оС), 1/оС	0,8·10 ⁻⁴
Коефіцієнт теплопровідності (23 оС), Вт/(м·оС)	0,2
Питома теплоємність, кДж/(кг·оС)	1,3-2,3
Температура плавлення, оС	200
Модуль пружності, МПа	9,9

Базовий варіант є з'єднанням трьох вставок і бампера за допомогою ультразвукового зварювання.

Комплекс для ручного ультразвукового зварювання, в даному випадку, складається з ультразвукового генератора, з можливістю регулювання потужності вихідного сигналу, і ультразвукової коливальної системи, у якій як перетворювач використовуються п'єзоелектричні шайби. Ескіз хвилеводу базового варіанта представлений Рисунок 1.14.

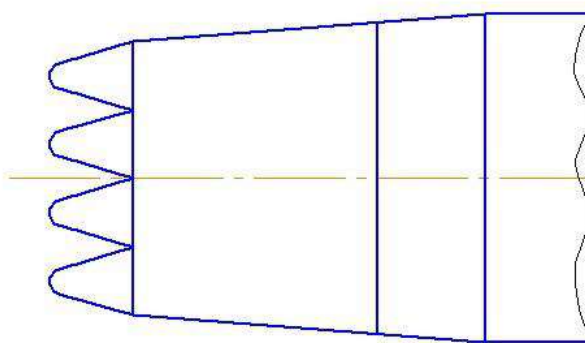


Рисунок 1.14 – Ескіз робочої частини хвилеводу базового варіанта

Технологічний процес збирання бампера починається з візуального контролю всіх частин бампера на ознаку дефектів. Не допускаються зовнішні дефекти на лицьовій частині бампера, задирки на кромках деталей потрібно зрізати канцелярським ножом. Після огляду бампер укладається в ложемент, в нього вставляється підсилювач та бічні вставки, що притискають болти кріплення. Подається тиск на пневмозатискачі, які фіксують вставки в бампері. Третій етап – зварювання. У ложементі встановлені отвори для напрямних, що розташовані в передній частині коливальної системи над хвилеводом (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Отвори для напрямних пістолета

Необхідно всунути напрямні в отвори, доки торець хвилеводу не впирається у вставку бампера. Після цього оператор активує процес натисканням кнопки на ультразвуковому пістолеті. Через короткий проміжок часу (приблизно 1–2 с) починається зварювання. У цей момент необхідно прикласти додаткове зусилля до інструмента до повного входження напрямних у відповідні упори, розміщені всередині отворів. Після завершення циклу впливу ультразвуку подачу енергії припиняють повторним натисканням кнопки. Далі витримують паузу близько 10 с для повного

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		25

оохолодження та твердіння розплавленого полімеру. Після цього переходять до наступної зварної точки та повторюють описані операції.

Після виконання всіх зварних з'єднань (у даному випадку 32 точки) здійснюється видалення надлишків розплавленого матеріалу в зоні шва за допомогою ріжучого інструмента, після чого готовий виріб упаковується у захисну тару.

Аналіз базового технологічного процесу дозволив виявити ряд недоліків. Зокрема, встановлено, що зберігання бамперів і вставок у герметичних поліетиленових упаковках за різних температурних умов складу та виробничого приміщення призводить до утворення конденсату на поверхнях деталей. Наявність вологи негативно впливає на процес ультразвукового зварювання, оскільки рідина частково відбиває ультразвукові коливання, що знижує ефективність передачі енергії в зону контакту та може спричинити непровари.

Крім того, виявлено, що тривалість зварювання не контролюється автоматично і залежить від дій оператора, що знижує стабільність процесу. Додатковим недоліком є обмежена візуалізація зони зварювання, оскільки конструкція інструмента перекриває огляд. У результаті оператор орієнтується лише за положенням напрямних, що може призвести як до недостатнього проплавлення, так і до локального перегріву матеріалу з подальшим його руйнуванням.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						26
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

2 Проектування комплексу для ультразвукового зварювання

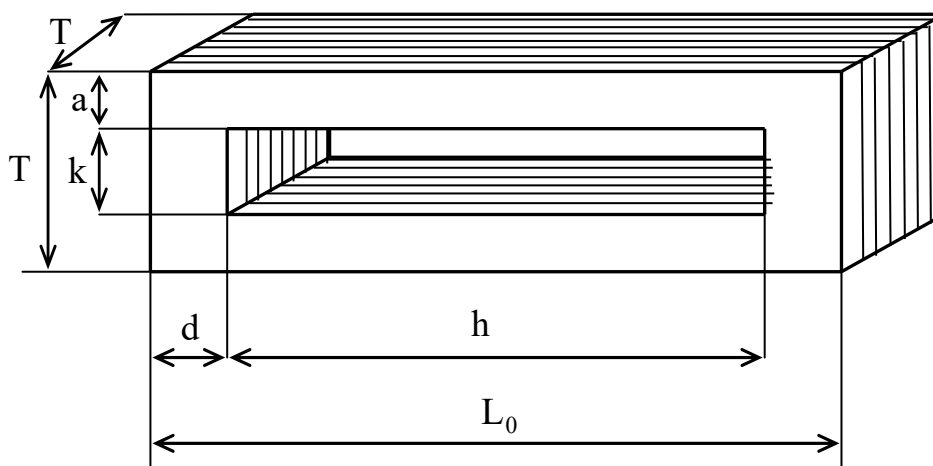
2.1 Розрахунок і проектування магніострикційного перетворювача

Магніострикційний перетворювач (магніостриктор) - пакет, зібраний з тонких пластин, виконаних з матеріалу, що має ефект магніострикції. Зазвичай використовують нікель та спеціальні сплави, такі як пермендюр або альфер. У цій роботі магніострикційний перетворювач (рис. 2.1) виготовлений з пермендюру, який є сплавом заліза (47-50%) та кобальту (48-50%) з додаванням ванадію (1.5-2%) [12].



Рисунок 2.1 – Магніострикційний перетворювач із пермендюру.

Розрахунок магніострикційного перетворювача є визначенням геометричних параметрів пакета (рис. 2.2).



Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат

Рисунок 2.2 – Розрахункова схема магніострикційного перетворювача
 Для зручності всі розрахунки магніостриктора виконують в системах автоматизованого проектування, наприклад Mathcad.

У таблиці 2.1 подано вихідні дані для розрахунку [13].

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунку магніостриктора з пермендюру

Найменування параметра	Одиниця виміру	Значення
Потужність для зварювання з урахуванням втрат, P	Вт	675
Питома механічна потужність, P0	Вт/см ²	75
Швидкість звуку в матеріалі, Cс	м/с	5161.95
Частота коливань, f	Гц	22000
Напруженість магнітного поля збудження, НВЗ	А/м	2800

Для початку знайдемо ширину та висоту квадратного перетворювача:

$$T = \frac{P}{P_0} = \frac{675}{75} = 3 \text{ см} = 30 \text{ мм}$$

Визначимо ширину стрижня:

$$a = \frac{T}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ мм}$$

Висота накладки:

$$d = a + 0.5 = 10 + 0.5 = 10.5 \text{ мм}$$

Висота вікна:

$$h = \frac{c}{\pi f} \operatorname{arctg} \frac{2a}{T \operatorname{tg} \frac{2\pi f d}{cc}} = \frac{5161.95}{3,14 \cdot 22000} \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 10}{30 \cdot \operatorname{tg} \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 22000 \cdot 10,5}{5161,95}} = 86.783 \text{ мм}$$

Ширина вікна:

$$k = T - 2a = 30 - 2 \cdot 10 = 10 \text{ мм}$$

Довжина пакету:

$$L_0 = h + 2d = 86.783 + 2 \cdot 10.5 = 107.783 \text{ мм}$$

Для того щоб магнітострикційний перетворювач заробив його потрібно помістити в електромагнітне поле. Щоб його створити на стрижні магнітостриктора, наносять обмотку з термостійкого кабелю МГТФ. Отже, другим етапом розрахунку магнітострикційного перетворювача є визначення кількості витків на кожному стрижні за формулою 2.1:

$$n = \frac{A_3}{2 \cdot \bar{2} \cdot I_3} \quad 2.1$$

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		29

Де A_3 - кількість ампер-витків збудження,

I_3 - Змінний струм збудження, приймаємо $I_3 = 5,4A$

Кількість ампер витків обчислюється за формулою 2.2 [14]:

$$A_3 = \frac{H_3 \cdot L_{cp}}{0.4 \cdot \pi}, \quad (2.2)$$

де L_{cp} - Середня довжина шляху незалежного магнітного потоку.

$$L_{cp} = 2 \cdot h - k + \pi \left(\frac{k}{2} + \frac{d}{2} \right) \quad (2.3)$$

Використовуючи дані з таблиці 2.1, знаходимо кількість витків:

$$L_{cp} = 2 \cdot 86.783 - 10 + 3.14 \left(\frac{10}{2} + \frac{10.5}{2} \right) = 217.969 \text{ мм}$$

$$A_3 = \frac{2800 \cdot 217.969}{0.4 \cdot 3.14} = 485.671 \text{ A}$$

$$n = \frac{485.671}{2 \cdot 2 \cdot 5.4} = 31.798 = 32$$

2.2 Розрахунок та проектування ультразвукового хвилеводу

Ультразвуковий хвилевід для зварювання термопластичних матеріалів завтовшки більше двох міліметрів зазвичай виготовляють із двох частин: бустера та сонотроду. Які з'єднують між собою за допомогою шпильки.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						30
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

На Рисунок 2.3 показано ескіз проектного варіанта хвилеводу.

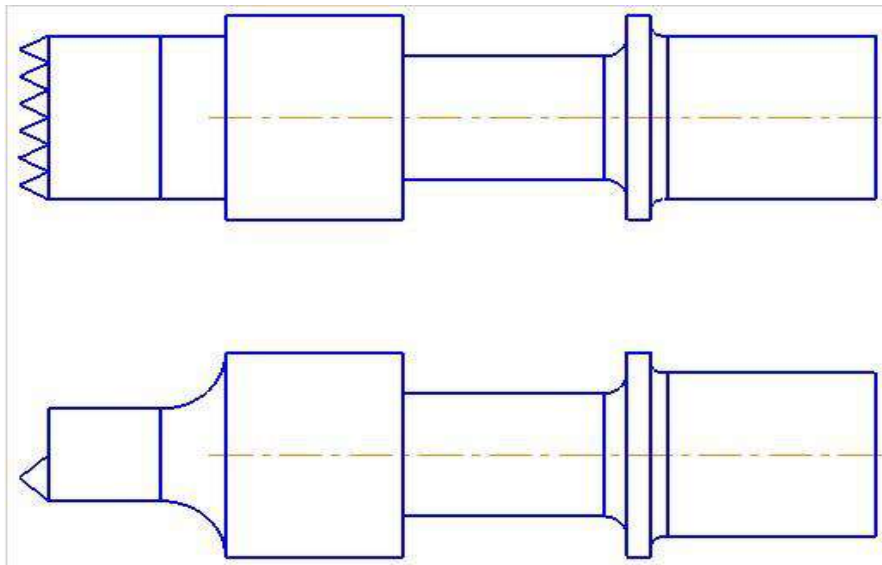


Рисунок 2.3 – Ескіз хвилеводу

Розрахунок хвилеводу є тривалий процес, з використанням різних програм комп'ютерного моделювання. Процес розрахунку хвилеводу доцільно поділити на кілька послідовних стадій. На початковому етапі визначаються основні геометричні параметри, зокрема резонансна довжина, вхідні та вихідні діаметри, а також положення вузлової (нульової) точки коливань.

На наступному етапі здійснюється конструкторська розробка хвилеводу з урахуванням отриманих розрахункових значень. Формується детальне креслення виробу із зазначенням усіх конструктивних елементів, включаючи радіуси заокруглень, переходи, фаски та інші геометричні особливості.

Заключна стадія передбачає перевірку працездатності конструкції. Для цього на основі розробленої геометрії створюється тривимірна модель хвилеводу, яка аналізується із застосуванням методів скінченно-елементного моделювання, наприклад у програмному середовищі ANSYS. У процесі

моделювання визначаються частотні характеристики та форми коливань. Необхідною умовою є забезпечення роботи хвилеводу на частоті, що відхиляється не більше ніж на 500 Гц від розрахункової, при цьому домінуюча форма коливань повинна бути поздовжньою. У разі невідповідності цим вимогам здійснюється коригування геометричних параметрів із повторним проведенням розрахунків та моделювання.

Нижче наведено результати розрахунку хвилеводу для остаточного варіанта конструкції. На першому кроці задаються значення вхідних і вихідних діаметрів бустера та сонотроду з урахуванням геометрії ультразвукової коливальної системи.

Оскільки магнітострикційний перетворювач має квадратний переріз зі стороною 30 мм і приєднується до бустера шляхом паяння, його діагональний розмір становить 42,55 мм. Виходячи з цього, вхідний діаметр бустера приймається рівним 43 мм, тоді як вихідний діаметр — 38 мм. За цих умов площа вихідного перерізу становить 968 мм².

Зважаючи на те, що бустер виготовляється зі сталі 45, а сонотрод — із титанового сплаву ВТ3-1, визначення геометричних параметрів здійснюється з урахуванням умови узгодження хвильових опорів матеріалів, що забезпечує ефективну передачу ультразвукової енергії в систему.

$$S_1 w_1 = S_2 w_2, \quad (2.4)$$

де S_1 – поперечна площа першого матеріалу,
 w_1 – питомий хвильовий опір першого матеріалу, S_2 –
поперечна площа другого, w_2 – питомий хвильовий опір
другого.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						32
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

Площа поперечного перерізу бустера дорівнює 962.11 мм², питомий хвильовий опір сталі 45 і 3.9571518 107 кг/м²·с. Питомий хвильовий опір ВТ3-1 – 2.270232·107 кг/м²·с. Використовуючи формулу

2.4 знайдемо площу поперечного перерізу сонотроду S₃:

$$S_3 = \frac{S_2 w_2}{w_3} = \frac{962.11 \cdot 3.9571518}{2.270232} = 1677.02 \text{ мм}^2$$

Використовуючи формулу 2.5, знайдемо вхідний діаметр хвилеводу:

$$D = \frac{4S}{\pi} = \frac{4 \cdot 1677.02}{3.14} = 46.88 \text{ мм} = 47 \text{ мм} \quad (2.5)$$

Так як зварна точка є шов довжиною 35 мм. і шириною 8 мм., площа поперечного перерізу вихідного торця сонотрода дорівнюватиме 280 мм².

Отже, вихідний діаметр сонотроду D₄ приймаємо рівний 1888 мм. [15, 16]

Залишилося розрахувати резонансну довжину хвилеводу та знайти відстань від краю хвилеводу до нульової точки.

Знайдемо резонансну довжину сонотроду та бустера за формулою:

$$l = \frac{nc}{2f} \left(1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n} \right)^2 \right), \quad (2.6)$$

де n – ціле число напівхвиль, припадаючих на довжину,

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		33

обчислюваного елемента (прийmemo $n=1$); c – швидкість звуку, м/с
(ВТЗ-1 – 5044.96 м/с, сталь 45 – 5066.776 м/с);

k - Коефіцієнт посилення концентратора ($k = \frac{D_{\text{вхід}}}{D_{\text{вихід}}}$).

$$k_{\text{бустера}} = \frac{43}{35} = 1.23, \quad k_{\text{сонотрода}} = \frac{47}{18.88} = 2.48$$

$$l_{\text{бустера}} = \frac{5066776}{2 \cdot 22000} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln 1.23}{3.14}\right)^2} = 115.4 \text{ мм}$$

$$l_{\text{сонотрода}} = \frac{5044960}{2 \cdot 22000} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln 2.48}{3.14}\right)^2} = 126.45 \text{ мм}$$

Так як хвилевід фіксуватиметься в корпусі пістолета за допомогою фаски на бустері, то розрахуємо його нульову точку, тобто відстань від торця бустера до його перерізу, де амплітуда коливань дорівнює нулю.

$$x_0 = \frac{l}{\pi} \arctg \frac{1}{\pi} \ln k = \frac{115,4}{3,14} \arctg \frac{1}{3,14} \ln 1.23 = 51,255 \text{ мм}$$

2.3 Проектування ультразвукового генератора

Команді електротехніків та програмістів було поставлено завдання – розробити ультразвуковий генератор для ультразвукового зварювання за допомогою магнітострикційного перетворювача. Потрібно реалізувати

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		34

алгоритми автоматичного підстроювання частоти та забезпечити технічні характеристики, представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики ультразвукового генератора

Найменування параметра	Значення
Напруга мережі живлення, В	220
Частота мережі живлення, Гц	50
Максимальний струм на виході перетворювача, А	15
Діапазон напруга на виході перетворювача,	5-700
Діапазон частоти на виході перетворювача, кГц	16-44
Струм підмагнічування	1-12
Наявність електронного таймера	так

У ході робіт було створено ультразвуковий генератор (рис. 2.4), який повністю задовольняє всі технічні вимоги.



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий генератор

3 Розробка технології ультразвукового складання бампера автомобіля Audi

3.1 Розрахунок режимів ультразвукового зварювання

Основними параметрами режиму ультразвукового зварювання термопластичних матеріалів є: частота коливань хвилеводу, час впливу ультразвукових хвиль на поверхню деталей, що зварюються, і зусилля притиску торця ультразвукової коливальної системи до виробів, що зварюються.

Частота коливань або резонансна частота забезпечує узгодження ультразвукового генератора з випромінювачем ультразвуку, тобто для того, щоб почався процес зварювання, необхідно ввести генератор і випромінювач в резонанс коливань струму і жорстко підтримувати даний режим. Так як резонансна частота залежить від геометричних розмірів хвилеводу і може змінюватися в процесі зварювання через нагрівання хвилеводу, то генератор автоматично визначає резонансну частоту і підтримує її в процесі роботи за допомогою зворотного зв'язку.

Для розрахунку часу ультразвукового зварювання підсилювача та бампера скористаємося формулою (2.1):

$$t = \frac{Q \cdot V}{Qa},$$

де Q – питома енергія,

Qa - акустична потужність,

V – обсяг розплавленого пластику.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		36

Для розрахунку питомої енергії застосовуємо залежність:

$$Q = 0.9 \rho c T_{пл}, \quad (3.2)$$

де c - питома теплоємність матеріалу,

ρ – щільність,

$T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу.

Для РР пластика значення добутку питомої теплоємності та щільності $\rho c = 18 \cdot 10^{-4}$ Дж/(мм³·К), температура плавлення пластику 200 °С (473 К). Використовую формулу (2.2) визначаємо питому енергію:

$$Q = 0,9 \cdot 18 \cdot 10^{-4} \cdot 473 = 0.76 \text{ Дж/мм}^3$$

Для проварювання з'єднання необхідно знати обсяг розплавленого пластику:

$$V = 35 \cdot 8 \cdot 4 = 1120 \text{ мм}^3$$

Розрахуємо необхідну акустичну потужність ультразвукової енергії, яка вводиться в матеріал для нагрівання за формулою:

$$Q_a = f \cdot \pi \cdot E \cdot \varepsilon^2 \quad (3.3)$$

де E - модуль пружності матеріалу,

ε – амплітуда деформації, f – частота коливань.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						37
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

В умовах ультразвукового зварювання амплітуду деформації можна прийняти рівною 10 мкм. Модуль пружності поліпропілену E дорівнює 9.9 Мпа.

Підставляючи значення формулу (2.3) отримаємо [16]:

$$Q_a = 22000 \cdot \pi \cdot 9900000 \cdot 0.000012 = 468.38 \text{ Дж}/(\text{мм}^3 \cdot \text{сек})$$

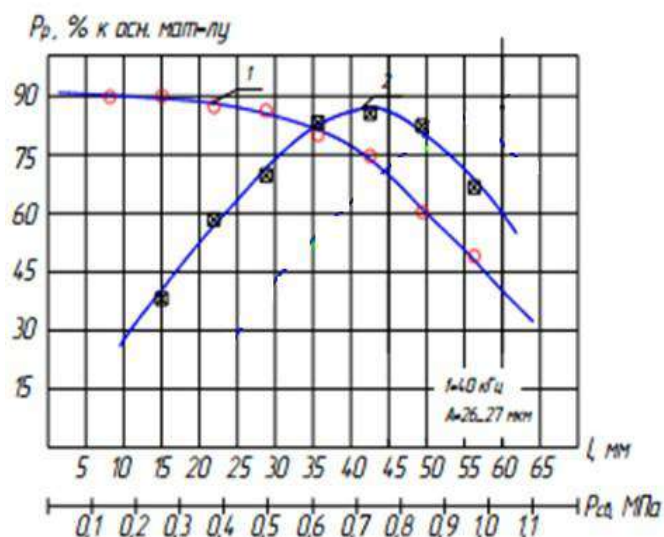
Тоді час зварювання визначаємо за формулою (3.1):

$$t = \frac{0.76 \cdot 1120}{468.38} = 1.8 \text{ с.}$$

На цей час потрібно додати одну секунду, яку витрачає генератор визначення резонансної частоти. Отже, загальний час зварювання однієї точки дорівнюватиме 2.8 секунди.

Для визначення зусилля притиску скористаємося залежністю міцності зварних з'єднань від зварювального тиску при ультразвуковому зварюванні термопластичних матеріалів (рис. 3.1) [20].

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						38
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		



1 – відстані від хвилеводу до місця зварювання, 2 – зварювальний тиск,

Рисунок 3.1 – Залежність міцності зварних з'єднань від місця введення ультразвуку, зварювального тиску та часу зварювання

З графіка видно, що максимальна міцність зварного з'єднання виходить за зусилля від 0.7 до 0.8 МПа. Отже, приймаємо зварювальний тиск, що дорівнює 0.75 МПа.

3.2 Технологічний процес ультразвукового складання бампера автомобіля Audi

Бампер і вставка надходять на складально-зварювальну ділянку в поліетиленових пакетах. Кріпильні болти та вставки кріплення знаходяться у спеціалізованих ящиках поряд із складальним стандом.

Процес ультразвукового складання бампера автомобіля Audi починається з вхідного контролю. Завданням даного процесу є перевірити лицьову частину бампера на предмет дефектів, переконатися у відсутності задирок після лиття на кромках бампера та вставки. Якщо пошкоджена лицьова частина, бампер бракується і йде на переплавку.

Задирки потрібно усунути за допомогою канцелярського ножа.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		39

Так як бампер і вставка зберігаються в закритих упаковках, на поверхні може утворюватися конденсат, який необхідно видалити перед зварюванням. За допомогою промислового фена марки Makita HG5012 (Рис. 3.2)



Рисунок 3.2 – Промислового фена Makita HG5012

Після сушіння бампер укладається в ложемент, що повторює його форму. Потім у нього вкладається вставка. За допомогою пневмопритисків вставка фіксується в бампері. Потрібно забезпечити щільне прилягання до бампера. Не допускати скосів вставки щодо бампера.



Рисунок 3.3 – Бампер та вставка у ложементі

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		40

Потім потрібно встановити на бічних частинах болти кріплення і притиснути їх за допомогою вставок кріплення, які насаджуються на пластикові штирі. Потрібно не допустити перекосу кріпильних болтів.



Рисунок 3.4 – Вставлення кріплення з болтом

Далі здійснюється перевірка виставленого часу зварювання (2.8 секунди) та частоти (22 кГц). Після чого коливальна система розташовується перпендикулярно до поверхні деталей, що зварюються. Прикладається зусилля 2-3 кілограми і натискається кнопка на ультразвуковому пістолеті. Таймер у генераторі після 2.8 секунди автоматично вимкне вихід ультразвуку. Під час зварювання не допускається переміщувати хвилевід щодо бампера. Після закінчення зварювання потрібно почекати 2-3 секунди, не знімаючи зусилля притиску, до затвердіння зварної точки. Потім,

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						41
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

керуючись схемою розташування зварних точок, здійснити приварювання вставки до бампера.



Рисунок 3.5 – Процес ультразвукового зварювання

Після закінчення зварювання необхідно провести візуальний контроль зварних точок. У разі виявлення виплесків розплавленого пластику їх потрібно зрізати канцелярським ножем.

Завершальним етапом ультразвукового складання бампера є його упаковка в поліетиленовий пакет та укладання контейнер для готової продукції.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		42

4 Методика дослідження технології ультразвукового зварювання полімерних матеріалів

Дослідження ультразвукового зварювання виконували з метою визначення оптимальних режимів зварювання, що забезпечують міцність та надійність зварного з'єднання виробів.

Як обладнання використовували розроблений комплекс для ультразвукового зварювання, що складається з ультразвукового генератора УЗГ-1,0/22 з діапазоном потужності від 0,5 до 2,5 кВт і частотою коливань 22 кГц (рис. 1а) та ультразвукового пристрою, призначеного для реалізації процесу ультразвукового зварювання (рис. 4).



а б

Рисунок 4.1 - Комплекс для ультразвукового зварювання полімерних матеріалів

Пристрій для ультразвукового зварювання виконано на базі ультразвукової коливальної системи з магнітострикційним перетворювачем з робочим перетином 30x30 мм та двох напівхвильових ультразвукових

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		43

хвилеводів – бустера та концентратора. Концентратор виготовлений із титанового сплаву ВТЗ-1 із робочим торцем у вигляді прямокутного профілю перетином 35x8 мм. На робочому торці виконано зубці трикутної форми, призначені для локалізації акустичної енергії.

Як зразки для дослідження в умовах виробництва використовували натурні вироби – підсилювач бампера, бампер і вставку бампера, виконані з ABS пластику. Робоче місце та процес ультразвукового зварювання при виконанні досліджень подано на Рисунок 4.2.



Рисунок 4.2 – Робоче місце під час проведення дослідження у виробничих умовах

Дослідження в лабораторних умовах виконували на зразках із тих самих матеріалів, розміром 100X80, товщиною 4 мм.

Процес ультразвукового зварювання виконувався в ручному режимі після попереднього калібрування обладнання та налаштування ультразвукового

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		44

генератора на резонансну частоту коливальної системи. Це забезпечувало ефективну передачу акустичної енергії в зону контакту зварюваних деталей. З'єднання зразків здійснювали за схемою внахлест, що дозволяє забезпечити достатню площу контакту та підвищити міцність отриманого з'єднання.

Технологічні параметри процесу підбиралися експериментально з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу та умов формування зварного шва. Ультразвукове зварювання здійснювали за таких режимів:

- частота механічних коливань становила $(22 \pm 0,5)$ кГц;
- вихідна потужність генератора знаходилась у межах 700–800 Вт;
- струм підмагнічування змінювався в інтервалі 4–8 А;
- тривалість ультразвукового впливу варіювалася від 2 до 3,5 с.

Вибір зазначених параметрів обумовлений необхідністю забезпечення достатнього тепловиділення в зоні контакту без перегріву матеріалу, що могло б призвести до його деструкції або погіршення зовнішнього вигляду виробу.

Оцінювання якості сформованих зварних з'єднань на початковому етапі проводили за допомогою візуального контролю. При цьому аналізували площу та характер термічних відбитків, що залишалися на поверхні підкладки після відриву привареного елемента. Такий підхід дозволяє непрямо оцінити ступінь проплавлення матеріалу та рівень адгезійної взаємодії між деталями.

На рисунку 4.3 наведено фрагмент бампера із закріпленою вставкою, отриманою в результаті ультразвукового зварювання. З'єднання виконувалося у трьох контрольних точках із використанням попередньо встановлених режимів після налаштування генератора на резонанс. Аналіз отриманих результатів свідчить, що в зоні зварювання відбувається локальне проплавлення матеріалу з формуванням характерних відбитків робочої поверхні хвилеводу. При цьому спостерігається незначний вихід розплавленого полімеру за межі зони контакту,

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						45
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

що підтверджує достатній рівень енергетичного впливу та формування якісного з'єднання.



Рисунок 4.3 – Результат зварювання пластикової вставки з бампером

На Рисунку 4.4 представлені результати ультразвукового зварювання зразків, отримані в лабораторних умовах різних режимах зварювання.



Рисунок 4.4 - Результат ультразвукового зварювання зразків

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		46

Як впливає з аналізу малюнка 4.4 на різних режимах формуються форми відбитків ультразвукового інструменту, що відрізняються один від одного, за якими побічно можна судити про міцність зварного з'єднання. Основним параметром, що впливає проплавлення матеріалу і, як наслідок, форму відбитків, є час зварювання. За час зварювання в діапазоні 1...1,5 сек. при налаштованій на резонанс системи потужності недостатньо для повного проплавлення матеріалу. При цьому зубці на робочому торці ультразвукового хвилеводу за відведений цикл зварювання не повністю поринають у матеріал, залишаючи характерний відбиток. Збільшення часу зварювання сприяє за тієї ж потужності створити умови більш тривалого ультразвукового впливу на матеріали, що зварюються, і забезпечити в зоні зварювання формування рідкої фази проплавленого матеріалу. У цьому формується характерний відбиток робочого торця інструмента.

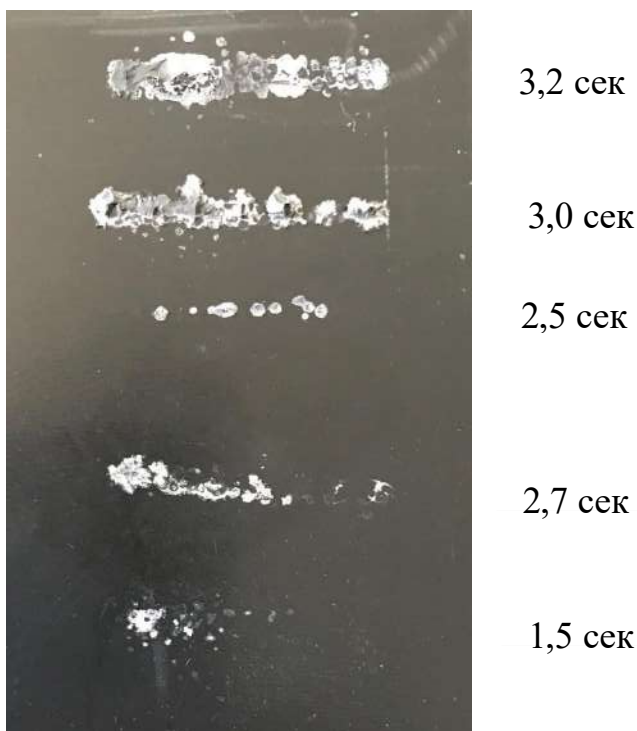


Рисунок 4.5 - Сліди термічного впливу на підкладку після відриву матеріалу, що приварюється в залежності від тривалості ультразвукового зварювання

На рисунку 4.5 наведено результати спостереження термічних слідів, що формуються на поверхні підкладки після відриву привареного елемента. На початковому етапі досліджень відокремлення зразків здійснювалося вручну без використання засобів контролю зусилля розриву, що дозволяло виконати якісну оцінку характеру руйнування з'єднання.

Аналіз отриманих відбитків показав, що зміна тривалості ультразвукового впливу суттєво впливає на площу контакту та ступінь проплавлення матеріалу. За різних значень часу зварювання спостерігаються відмінності як у формі термічних слідів, так і в площі фактичного зчеплення матеріалів, що свідчить про зміну умов формування зварного з'єднання.

Встановлено, що при тривалості зварювання понад 3 с формується найбільш розвинена зона зчеплення, яка характеризується значною площею контакту та інтенсивним проплавленням матеріалу. Однак надмірний тепловий вплив може призводити до погіршення зовнішнього вигляду виробу, зокрема через появу надлишкових виплесків розплаву або локальних деформацій.

У випадку скорочення часу ультразвукового впливу до значень менше 2 с площа зчеплення, визначена візуально, не перевищує приблизно 30%, що свідчить про недостатній рівень проплавлення і, як наслідок, можливе зниження міцності з'єднання.

Найбільш збалансовані результати, що поєднують достатню міцність з'єднання та прийнятний зовнішній вигляд, отримано при тривалості зварювання в межах 2,5–3 с. Таким чином, на основі проведених досліджень встановлено, що час ультразвукового впливу є одним із визначальних параметрів, який істотно впливає на формування структури та експлуатаційні характеристики зварного з'єднання.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		48

5 Безпека та екологічність технічного об'єкта

5.1 Конструктивно-технологічна характеристика об'єкту

Основними вузлами обладнання є ультразвукова система коливання, ультразвуковий генератор, пневматичні притиски, що фіксують деталі в ложементі.

Таблиця 5.1 – Технологічний паспорт об'єкта

Технологічний процес	Технологічна операція, вид виконуваних робіт	Найменування посади працівника, виконуючого технологічний процес, операцію	Обладнання, влаштування, пристосування	Матеріал и , речовини
Ультразвукове зварювання деталей бампера.	Технологічна операція ультразвукового зварювання включає: вхідний контроль усіх деталей, складання деталей у ложементі, сушіння поверхонь, що зварюються. промисловим феном, ручне ультразвукове зварювання, зачищення зварених точок від виплесків	Оператор ультразвукових установок	Ультразвуковий генератор, ложемент з пневматичними притисками, ультразвукова коливальна система, промисловий фен, різак	Пластик РЕ

	пластику, упаковку готової деталі в поліетиленови й мішок			
--	---	--	--	--

5.2 Ідентифікація професійних ризиків

Таблиця 5.2 – Ідентифікація професійних ризиків

Виробничо-технологічна та/або експлуатаційно-технологічна операція, вид виконуваних робіт	Небезпечний та/або шкідливий виробничий фактор	Джерело небезпечного та/або шкідливого виробничого фактору
Складання	Статичні фізичні навантаження; монотонність праці	Складальний ложемент

Підвищена температура робочої зони		1. Дві пари рукавичок - гумові (зовнішні) та бавовняні (внутрішні) або тільки бавовняні;
Підвищений рівень ультразвуку	Проведення: медоглядів, фізіопрофілактичних процедур (теплові повітряні з мікромасажем та теплові гідропроцедури для рук, масаж верхніх кінцівок та ін.), рефлексопрофілактики, гімнастичних вправ, психофізичних розвантажень.	2. Протишуми за ГОСТ Р 12.4.213-99.
Статичні фізичні навантаження	1. Конструкція робочого місця повинна відповідати антропометричним, фізіологічним та психологічним вимогам, а також характеру роботи; 2. Конструкцією робочого місця має бути забезпечене оптимальне положення працюючого, яке досягається регулюванням: висоти робочої поверхні, сидіння та простору для ніг.	
Монотонність праці		

5.4 Забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкту

Результати ідентифікації класу можливої пожежі, що при цьому виникають небезпечних факторів пожежі та їх супутніх проявів при використанні технології та установки для ультразвукового зварювання наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Ідентифікація класів та небезпечних факторів пожежі

Ділянка, підрозділ	Устаткування	Клас пожежі	Небезпечні фактори пожежі	Супутні прояви факторів пожежі
Ділянка ультразвукового складання бампера автомобіля ВАЗ-21214.	Комплекс для ультразвукового зварювання	А	1) тепловий потік; 2) підвищена температура навколишнього середовища; 3) підвищена концентрація токсичних продуктів горіння та термічного розкладання	Термохімічні впливи використовуваних при пожежі вогнегасних речовин на предмети та людей.

На підставі таблиці 5.4 продумано технічні засоби забезпечення пожежної безпеки, представлені в таблиці 5.5.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		53

Таблиця 5.5 – Технічні засоби забезпечення пожежної безпеки

Первинні засоби пожежогасіння	Мобільні засоби пожежогасіння	Стаціонарні установки системи пожежогасіння	Пожежний інструмент (механізований та немеханізований)	Пожежні сигналізації, зв'язок та оповіщення.
Переносні та пересувні вогнегасники порошкового типу ОП-1, ОП-2, покривала для ізоляції осередку займання.	Пожежні автомобілі (основні та спеціальні)	Переносні та пересувні вогнегасники порошкового типу ВП-2, пожежний інвентар.	Сокира, брукт, відра	Сповіщувачі: ручний ІР-П, тепловий ІП-105, димовий ІПД-1, полум'я ІП.

Таблиця 5.6 - Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Найменування технологічного процесу, обладнання технічного об'єкта	Найменування видів реалізованих організаційних (організаційнотехнічних) заходів	Пред'явлені вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки, ефекти, що реалізуються
1	2	3

Технологічний процес
ультразвукового
зварювання деталей
бампера за допомогою
установки для ручного
ультразвукового
зварювання

Захист технологічних
процесів установками
пожежогасіння;
застосування пожежної
сигналізації та систем
оповіщення та
управління евакуацією
людей під час пожежі;
навчання персоналу
способам ліквідації
аварій

Вимоги щодо
ліквідації умов для
теплового, хімічного
та (або)
мікробіологічного
самозаймання
речовин, матеріалів,
виробів та
конструкцій;
Вимоги щодо
періодичного очищення
території, на якій
розташовується об'єкт,
приміщень, комунікацій,
апаратури від горючих
відходів,
відкладень пилу, пуху
тощо; Вимоги щодо
видалення
пожежонебезпечних
відходів виробництва;
Організаційно-технічні
заходи повинні
включати:
- організацію пожежної
охорони, організацію
відомчих служб
пожежної безпеки
відповідно до
законодавства. -
паспортизацію речовин,
матеріалів, виробів,
технологічних процесів,
будівель та споруд
об'єктів у частині
забезпечення

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		55

Продовження таблиці 5.6

1	2	3
		<p>пожежної безпеки;</p> <ul style="list-style-type: none"> - залучення громадськості до питань забезпечення пожежної безпеки; - організацію навчання працюючих правил пожежної безпеки на виробництві; - розробку та реалізацію норм та правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок поводження з пожежонебезпечними речовинами та матеріалами, про дотримання протипожежного режиму та дії людей у разі виникнення пожежі; - виготовлення та застосування засобів наочної агітації щодо забезпечення пожежної безпеки; - розроблення заходів щодо дій адміністрації, робітників, службовців та населення на випадок виникнення пожежі та організацію евакуації людей;

5.5 Забезпечення екологічної безпеки технічного об'єкта

Вплив технічного об'єкта на довкілля представлені у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Ідентифікація екологічних факторів технічного об'єкта

Найменування технічного об'єкта, технологічного процесу	Структурні складові технічного об'єкта, технологічного процесу (виробничої будівлі або споруди за функціональним призначенням, технологічні операції, обладнання), енергетична установка (транспортний засіб тощо).	Вплив технічного об'єкта на атмосферу (шкідливі та небезпечні викиди в навколишню середу)	Вплив технічного об'єкта на гідросферу (утворюючі стічні води, забір води з джерел водопостачання)	Вплив технічного об'єкта на літосферу (грунт, рослинний покрив, надра) (утворення відходів, виїмка родючого шару ґрунту, відчуження земель, порушення та забруднення рослинного покриву та тощо)
Технологічний процес ультразвукового зварювання деталей бампера автомобіля ВА321214	Процес ультразвукового зварювання; Пневматична система притисків	ні	ні	ні

Висновки по роботі

1. У роботі встановлено, що ультразвукове зварювання є ефективним методом з'єднання термопластичних матеріалів, який забезпечує високу міцність з'єднання (до 80–90% від міцності основного матеріалу) без використання додаткових матеріалів .
2. Розроблено конструкцію та виконано розрахунок основних елементів ультразвукової системи, зокрема магнітострикційного перетворювача, хвилеводу та генератора, що забезпечують стабільний режим роботи та узгодження частоти коливань.
3. Встановлено оптимальні режими ультразвукового зварювання (частота 22 кГц, час 2,5–3 с, тиск близько 0,75 МПа), які забезпечують якісне формування зварного з'єднання без перегріву та дефектів.
4. Розроблений технологічний процес ультразвукового складання бампера дозволяє підвищити якість зварних з'єднань, зменшити вплив людського фактора та підвищити продуктивність виробництва.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						58
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмін Ос. В. Технології зварювання полімерних матеріалів : навч. посіб. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 256 с.
2. Лебедєв В. А. Зварювання пластмас і композиційних матеріалів. – Харків : ХНАДУ, 2016. – 312 с.
3. Іванов П. М., Сидоренко В. Г. Технологія виготовлення деталей автомобілів із полімерів. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2019. – 280 с.
4. Бондаренко І. О. Методи з'єднання термопластів у машинобудуванні. – Дніпро : НМетАУ, 2020. – 198 с.
5. Кравченко О. П. Ультразвукове зварювання полімерів: теорія і практика. – Київ : Наук. думка, 2017. – 220 с.
6. Петренко С. В. Конструкційні матеріали в автомобілебудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – 340 с.
7. Гончарук М. В. Сучасні технології зварювання в автомобільній промисловості. – Київ : КНУТД, 2021. – 275 с.
8. Руденко Ю. С. Технологічні процеси складання автомобільних вузлів. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 310 с.
9. Мельник І. Д. Полімерні матеріали в транспортному машинобудуванні. – Київ : Либідь, 2016. – 290 с.
10. ДСТУ EN ISO 4063:2014. Процеси зварювання та споріднені процеси. Класифікація. – Чинний від 2015-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 14 с.
11. Grewell D., Benatar A., Park J. Plastics and composites welding handbook. – Munich : Hanser Publishers, 2003. – 456 p.
12. Troughton M. J. Handbook of plastics joining : a practical guide. – Oxford : William Andrew Publishing, 2008. – 600 p.
13. Ahmed N. (Ed.). New developments in advanced welding. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2005. – 512 p.
14. Welding handbook. Vol. 1 : Welding science and technology. – Miami : American Welding Society, 2001. – 1500 p.

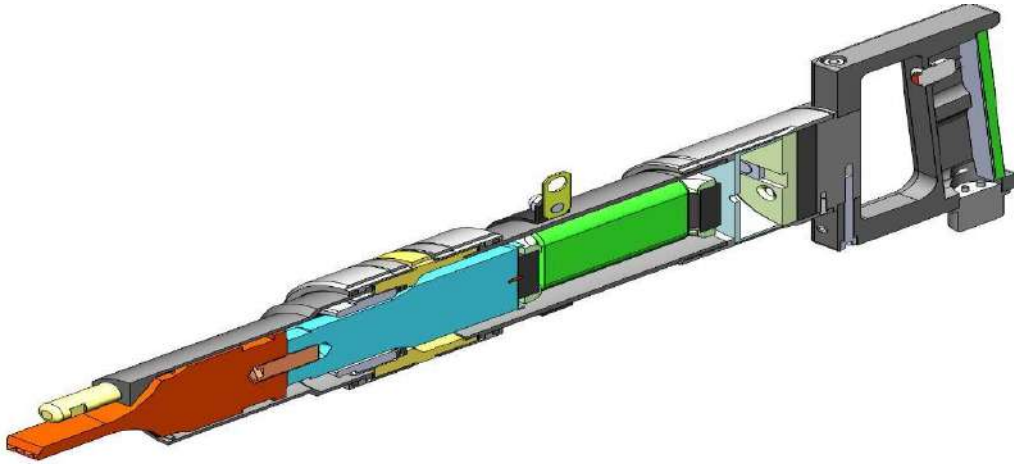
					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
						59
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		

15. Nguyen Q. H. Characteristics and performance of ultrasonic welding process: a review // International Journal of Engineering Inventions. – 2024. – Vol. 13, No. 4. – P. 21–25.
16. Li Y., Li L., Long J. Prediction of joint performance in ultrasonic welding of composites // Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 76. – P. 85–88.
17. Wang K., Zhao Y., Wang J. Effect of interfacial preheating on ultrasonic welding // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. – Vol. 245. – P. 1–8.
18. Potente H., Karger O. Welding of plastics: fundamentals and new developments // Macromolecular Materials and Engineering. – 2002. – Vol. 287. – P. 671–682.
19. Kagan V. A. Laser transmission welding of thermoplastics // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2002. – Vol. 21. – P. 1101–1122.
20. Trends and future projections in ultrasonic welding research for hybrid materials // Polymers. – 2024. – Vol. 17, No. 8. – Art. 1124.

					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		60

Додаток

Модель ультразвукової коливальної системи



					КРМТВА 26. 22112. 000 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпи	Дат		61