

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»
на тему: «Технологія ремонту пластмасових деталей автомобільної техніки
з використанням 3D-друку»

Шифр: ДРМТВА 22.190673.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група МТВАс -19-2  В.Т. Городиський

Керівник



д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

2 06 2022_р.

Хмельницький, 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 20 " квітня 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Городиському Владиславу Тимофійовичу

1. Тема проекту:

«Технологія ремонту пластмасових деталей автомобільної техніки з використанням 3D-друку»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 1 березня 2022р. № 18

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на технологію виготовлення деталей з пластмас.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Аналіз конструктивних та технологічних особливостей пластмасових деталей транспортних машин
2. Аналіз програм для 3d-друку пластмасових деталей
3. Експериментальне визначення властивостей матеріалів при ремонті пластмасових деталей дорожніх машин
4. Розробка технологічного процесу ремонту пластмасових деталей дорожніх машин з використанням методів 3d-друку

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз конструктивних та технологічних особливостей пластмасових деталей транспортних машин	1.05.2022	
2	Аналіз програм для 3d-друку пластмасових деталей	15.05.2022	
3	Експериментальне визначення властивостей матеріалів при ремонті пластмасових деталей дорожніх машин	25.05.2022	
4	Розробка технологічного процесу ремонту пластмасових деталей дорожніх машин з використанням методів 3d-друку	5.06.2022	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентаційних матеріалів	15.06.2022	

Студент

 _____ Городиський В.Т.

Керівник роботи

 _____ Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 80 сторінок, кількість рисунків – 40, таблиць – 14, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 64.

Студент гр. МТВАс-19-2 Городиський В.Т.

Тема «Технологія ремонту пластмасових деталей автомобільної техніки з використанням 3D-друку»

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена підвищенню надійності деталей дорожніх машин, виготовлених із пластмас, шляхом використання при ремонті методів 3D-друку.





В дипломній роботі вирішувались наступні завдання:

1. Вивчений вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язко-пружні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням методів 3D-друку.
2. Вивчений вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням методів 3D-друку.
3. Розроблено технологію ремонту пластмасових деталей дорожніх машин з використанням методів 3D-друку.

Перелік ключових слів: дорожні машини, пластмасові деталі, відновлення, 3D-друк

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1.АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН.....	9
1.1. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей дорожніх машин.....	9
1.2. Аналіз дефектів пластмасових деталей дорожніх машин та причин їх виникнення	11
1.3. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей дорожніх машин	15
1.4. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин	28
2. АНАЛІЗ ПРОГРАМ ДЛЯ 3D-ДРУКУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ	30
2.1. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів та випробувань їх властивостей.....	
2.2. Проект установки для електролітичного осадження хромових покриттів.....	

ДРМТВА 22.190673.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
		Городиський		
		Диха		
		Бабак		
		Диха		
Технологія ремонту пластмасових деталей автомобільної техніки з використанням 3D-друку			Літ.	Аркуш
			4	80
ХНУ, гр. МТВАс-19-2				

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РЕМОНТІ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН.....	35
3.1. Міцність матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D-друку.....	35
3.2. Визначення пружних характеристик матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D-друку...	48
3.3. Визначення впливу технологічних параметрів друку на експлуатаційні властивості пластмасових деталей дорожніх машин.....	50
3.4. Випробування міцності з'єднань пластмасових деталей, надрукованих за допомогою адитивних технологій.....	53
4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ.....	58
4.1. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей.....	58
4.2. Технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин в залежності від типу відновлюваної деталі та типу дефекту	62
4.3. Способи створення отворів та різьбових поверхонь у деталях дорожніх машин, виготовлених методами 3D-друку.....	67
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	74
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	75
Додатки.....	81

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

У сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машинах (ДМ) велика кількість деталей виготовляється із пластмас. Вони застосовуються для деталей екстер'єру та інтер'єру, захисних кожухів, елементів різних систем техніки та різноманітних дрібногабаритних деталей. Призначення таких деталей може бути різноманітним від декоративного до функціонального. Так, наприклад, облицювальні панелі бамперів служать не тільки для створення естетичного образу машини, але й є частиною системи пасивної безпеки, що поглинає енергію удару у разі дорожньо-транспортної пригоди. Пластмаси використовують для полегшення кузова, зниження рівня шуму, збільшення терміну служби виробів, зменшення трудомісткості виготовлення, а також у випадках, коли потрібні матеріали з особливими фізико-механічними властивостями.

Виготовлення деталей машин здійснюється із пластмас на основі термопластичних та термореактивних сполучних. У цій роботі будуть розглянуті деталі ДМ, виготовлені з термопластичних матеріалів. Перевагами цих матеріалів є відносно стабільний розмір і невелика усадка. До недоліків можна віднести невисоку жорсткість та обмежену атмосферостійкість.

Одним з найбільш найпоширенішими пластиками в машинобудуванні є акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). Він використовується при виробництві вентиляційних ґрат, корпусних деталей приладової панелі, облицювання радіатора, бамперів комунальних та дорожніх машин.

При експлуатації дорожніх машин часто відбувається пошкодження пластмасових деталей. Дефекти можуть виникати внаслідок аварій, впливу хімічних речовин, теплового впливу тощо. Особливо від цього страждають зовнішні деталі машин.

Відновлення працездатності дорожніх машин, що мають ушкодження пластмасових деталей, в даний час виконується шляхом заміни деталі на нову, склеюванням або зварюванням гарячим повітрям.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним з найпоширеніших способів ремонту пластмасових деталей ДМ є заміна пошкодженої деталі. Цей спосіб спричиняє втрати часу на виготовлення (при необхідності), замовлення нової деталі та транспортування до місця проведення ремонту. Проведення ремонту дефектної деталі дозволяє не лише скоротити просту техніку, а й зменшити витрати порівняно з купівлею нової деталі. Як правило, якість відремонтованої деталі не знижується.

Добре вивченими способами ремонту пластмасових деталей ДМ є зварювання та склеювання. Ці способи мають ряд недоліків, які за- ключуються у значному термічному та хімічному впливі відповідно. Для цих методів характерна висока трудомісткість і необхідність демонтажу деталі з машини при ремонті.

Одним з дефектів пластмасових деталей, що найчастіше проявляються, є пошкодження кріпильних елементів конструкції виробу. У ряді випадків з'єднання обламаною елемента з деталлю, що ремонтується, не представляється можливим внаслідок його втрати або значних пошкоджень. У такому разі застосування традиційних методів ремонту неможливе, або призводить до суттєвого збільшення трудомісткості та собівартості виконання ремонту.

Аддитивні технології (АТ) в даний час є одними з перспективних технологій, які використовуються під час виготовлення деталей машин. Вони дають змогу отримувати вироби з термопластичних матеріалів з різною конфігурацією просторової геометрії.

АТ широко застосовують у різних галузях промисловості, але у ремонтному виробництві нині вони отримали широкого поширення. У зв'язку з цим питання розробки технології ремонту пластмасових деталей ДМ з використанням методів 3D-друку є актуальними та сучасними.

Наразі питання застосування 3D-друку під час ремонту деталей транспортних, комунальних та дорожніх машин мало вивчені. Таким чином, бакалаврська робота, спрямована на розробку методів ремонту пластмасових деталей дорожніх машин (на прикладі кріпильних елементів) з використанням

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

методів 3D-друку, що дозволяють підвищити надійність та безпеку експлуатації машин, є актуальною для виробників та споживачів техніки.

Мета роботи полягає у підвищенні надійності деталей дорожніх машин, виготовлених із пластмас, шляхом використання при ремонті методів 3D-друку.

Основні завдання дипломної роботи:

1. Вивчити вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язко-пружні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням методів 3D-друку.

2. Вивчити вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням методів 3D-друку.

3. Розробити технологію ремонту пластмасових деталей дорожніх машин з використанням методів 3D-друку.

1.АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

1.1. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей дорожніх машин

У конструкції сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машин крім металів застосовується велика кількість різноманітних полімерів. За хімічною природою, використовувані полімерні матеріали, можна розділити на термопластичні та термореактивні. Термопластичні полімерні матеріали (термопласти) є високомолекулярними матеріалами, які розм'якшуються або плавляться при нагріванні. Термореактивні матеріали (реактопласти) вимагають незворотного перетворення низькомолекулярної базової смоли на полімеризовану структуру.

Термопласти можна розділити на аморфні та кристалічні різновиди. В аморфних формах молекули орієнтовані випадковим чином. Типові аморфні термопласти включають поліфеніленоксид (PPO), полікарбонат (PC) та акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). До переваг аморфних термопластів можна віднести:

- відносну стабільність розмірів;
- меншу усадку форми порівняно з кристалічними термопластами;
- можливість застосування як конструкційних пін. До недоліків

можна віднести:

- низьку стійкість до зносу, стирання та динамічних навантажень;
- низьку втомну стійкість;
- збільшений час обробки порівняно з кристалічними термопластами.

У кристалічних термопластах є області регулярно орієнтованих молекул і розвиток цієї структури залежить від технології обробки, швидкості охолодження

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і т.д. Прикладами таких термопластів є: нейлон (РА), поліпропілен (РР) та поліетилен (РЕ). До переваг кристалічних термопластів можна віднести:

- високу розчинність, втомну стійкість і зносостійкість;
- більш високу деформацію, ніж у аморфних марок;
- високі жароміцні властивості, що покращуються шляхом армування волоконом.

До недоліків кристалічних термопластів можна віднести:

- потенційно високу та змінну усадку;
- з'єднання, що важко склеюється;
- більш високу повзучість, ніж у аморфних термопластів.

В цілому, застосування пластмас у конструкції машин дозволяє знизити матеріалоемність, підвищити безпеку та надійність виробів, скоротити трудомісткість виготовлення за рахунок високої технологічності виробництва.

У складі автомобілів КАМАЗ застосовується близько 250-380 кг пластмасових деталей залежно від комплектації автомобіля.

Для виготовлення килимів підлоги, термошумоізоляції підлоги та оббивок використовується формований пінополіуретан (ФППУ). Поручні, рульові колеса та підлокітники виготовляють із інтегрального пінополіуретану. Жорсткий ППУ знайшов застосування у виробництві протисонячних козирків, панелей, кришок люка дверей.

Поліпропілен застосовується при виготовленні повітропроводів та повітрозабірників, а також в інтер'єрі панелей дверей, різних облицювання, надоконної полиці, панелей приладів.

Поліефірний склопластик, полідициклопентадієн (ПДЦПД) та листовий компунувальний компаунд (SMC) знайшли застосування в екстер'єрі дорожньо-будівельних машин, а саме при виготовленні крил, сонцезахисних козирків, панелей крила, бампери, фар, обтічників. Також виготовлення цих деталей застосовується поліамід.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

З поліетилену виготовляють задні крила, щитки, бачок склоомивача, пробки та заглушки.

ABS-пластик знайшов застосування у виробництві облицювання, накладок, окантовок, вкладишів знаків, а також корпусів дзеркал.

Поліметилметакрилат застосовується у виготовленні деталей світлотехніки.

З термоеластопластів виготовляють ковпачки, прокладки, чохла для електро-
трообладнання.

Полівінілхлорид застосовується у виробництві трубок, а також у вигляді оздоблювальних плівок.

Найбільший обсяг застосування припадає на такі види пластмас як поліуретан (ПУ) та пінополіуретан (ППУ), поліпропілен (ПП), листовий компоновковий компаунд (SMC).

В даний час на машини встановлюються пластмасові деталі, що фарбуються і не фарбуються. Деталі, що фарбуються, використовуються в основному для елементів екстер'єру, таких як бампери, обтічники, декоративні накладки. На деталях, що не фарбуються, які встановлюються у видимих зонах, як правило, зовнішня поверхня має візерунок. Прикладами таких деталей можуть бути бампери, корпуси дзеркал, оббивка дверей і боковин, облицювання стійок даху, панель приладів та ін. поверхню.

Таким чином встановлено, що в сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машинах використовується велика кількість різноманітних пластмас.

1.2. Аналіз дефектів пластмасових деталей дорожніх машин та причин їх виникнення

Дефекти, що виникають на деталях із пластмас, здебільшого мають невиробничий характер і виникають внаслідок неналежної експлуатації, у тому

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

числі недотримання регламенту технічного обслуговування.

Більшість дефектів виникає в процесі експлуатації з причин експлуатаційного характеру, тому конструктивні та виробничі дефекти в даній роботі не розглядаються, оскільки попередженням їх утворення в деталях мають займатися конструкторські та технологічні служби виробників. Відповідно до загальноприйнятої класифікації, розрізняють дефекти, спричинені механічним, тепловим та хімічним впливами.

Тривалий вплив високих температур на пластмасові деталі машин може призвести до утворення таких дефектів, як оплавлення та теплова деформація (рис.1.1).

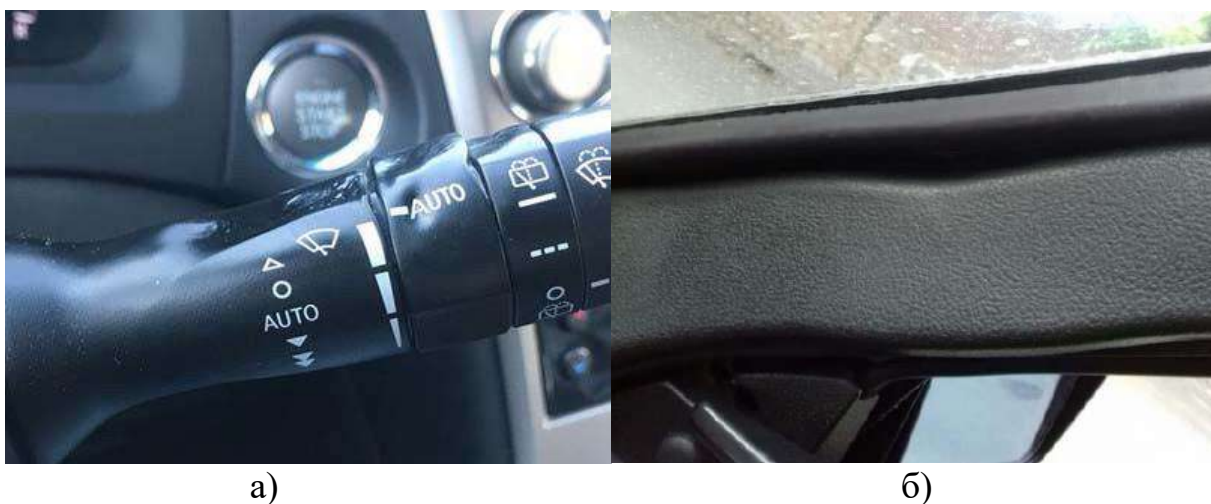


Рисунок 1.1 – Теплове оплавлення (а) та деформація (б) пластмасових деталей

Джерелами теплового впливу може бути відкрите полум'я (у разі пожежі), близькість сильно нагрітих елементів конструкції машини (зазвичай елементів системи випуску газів, що відпрацювали), а також порушення технології ремонту деталей. Деформація пластмасових деталей може відбуватися внаслідок нагрівання від електропроводки при протіканні електричного струму, сила якого перевищує номінальне значення.

Під впливом агресивних хімічних середовищ з'являються такі дефекти як загальна деформація деталі чи деформація її локальних ділянок [35]. У

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

пофарбованих пластмасових деталей внаслідок хімічної дії може пошкоджуватися лакофарбове покриття. На покритті можуть утворюватися відшаровування, тріщини та осередки здуття. При тривалій дії розчинника виникає набухання та відшаровування покриття (спушування лакофарбового покриття), значно знижується твердість покриття. Зовнішній вигляд таких дефектів представлено рисунку 1.2.



а)

б)

Рисунок 1.2 – Хімічне пошкодження пластмасових деталей: сліди від хімічної речовини (а) і розплавлення матеріалу (б), що не видаляються.

Дефекти, отримані в результаті механічного впливу, є одними з найпоширеніших. Вони виникають у результаті контактної взаємодії машини з будь-яким зовнішнім об'єктом (нерухомою перешкодою, іншою машиною, що рухається, або іншими об'єктами). Прикладами такого роду пошкоджень є: подряпини, руйнування у вигляді тріщин, руйнування у вигляді відділення великих і дрібних фрагментів (сколів), руйнування елементів кріплень, загальна та поверхнева деформація деталі (рис. 1.3).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.3 – Механічні дефекти пластмасових деталей: подряпини та потертості (а), тріщини (б), руйнування з втратою фрагмента (в) та повне руйнування деталі (г)

Подряпини на пластмасових деталях характерні переважно для зовнішніх деталей типу бамперів, накладок, молдингів, корпусів зовнішніх дзеркал заднього виду, спойлерів. Вони різняться за глибиною, формою, довжиною, місцями локалізації. Глибокі подряпини можуть пошкодити не тільки лакофарбове покриття, а й основний матеріал деталі. Зазвичай вони утворюються від динамічного контакту з предметом, що має гострі кромки, твердість яких перевищує твердість матеріалу пластмасової деталі. Якщо контактний вплив на деталь має розподілений за площею характер (тертя), то утворюються потертості,

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

що є сукупністю подряпин зі зміщенням та видаленням частинок поверхневого шару. Найчастішим розташуванням потертостей є нижня

частина обшивки дверей з боку водія (оператора) машини (рис. 1.3 а).

Тріщини (рис. 1.3, б) виникають внаслідок статичних або динамічних ударних впливів на деталь, в основному внаслідок дорожньо-транспортних пригод та рідше через проведення ремонту та технічного обслуговування з порушенням технології.

Відділення фрагментів (рис. 1.3 в) є подальшим розвитком тріщин. Відділення фрагментів часто виникає в районі розташування елементів, які відповідають за кріплення деталі.

У разі поділу деталі на кілька окремих частин, що розрізняються за розміром і формою, внаслідок механічного впливу, деталь вважається повністю зруйнованою (рис. 1.3, г).

Поява перерахованих вище дефектів можуть призводити до:

- зниження або повної втрати працездатності;
- порушення технічних характеристик;
- погіршення зовнішнього вигляду;
- виникнення корозійних ушкоджень металевих частин, внаслідок порушення захисної функції пластикової деталі;
- неповної комплектності машини.

Розглянуті дефекти можуть з'являтися на деталях транспортних, комунальних та дорожніх машин одночасно у різному поєднанні. Найчастіше зустрічаються подряпини, потертості, механічні пошкодження кріпильних елементів деталі. Термічні та хімічні пошкодження, як правильно непереборні, оскільки серйозно торкаються структури матеріалу деталі.

1.3. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей дорожніх машин

При появі дефектів на пластмасових деталях машин слід відразу вживати

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

заходів для запобігання їх розвитку та подальшому руйнуванню

деталі, що може призвести до відмови машини або її вузла.

Нині у сфері експлуатації та ремонту дорожніх машин поширена така практика: у разі виникнення будь-якої пошкодження машини, її власник звертається до страхової компанії, яка оцінює отримані збитки. На підставі результатів експертизи здійснюється відшкодування шкоди у вигляді виплати грошових коштів або машина вирушає на ремонтне підприємство, з яким у страхової компанії укладено договір. Якщо випадок підпадає під страхові зобов'язання або дорожня машина знаходиться на гарантійному обслуговуванні, то пошкоджена деталь замінюється на нову оригінальну. Виняток становлять деталі, що фарбуються, у разі пошкодження тільки лакофарбового покриття. В цьому випадку відновлюється пошкоджене лакофарбове покриття. Ушкоджені пластмасові деталі, що не фарбуються, замінюються на нові через неможливість точного відновлення фактурного візерунка на лицьовій стороні деталі. Наявні методи відновлення фактурної поверхні не дають абсолютного збігу.

У ряді випадків конструкція будь-якого вузла в машині може складатися з декількох пластмасових деталей, що постачаються виробником машини в комплекті. Прикладом такого виробу є вузол нагрівника салону дорожньої машини: при пошкодженні хоча б однієї деталі він замінюється повністю.

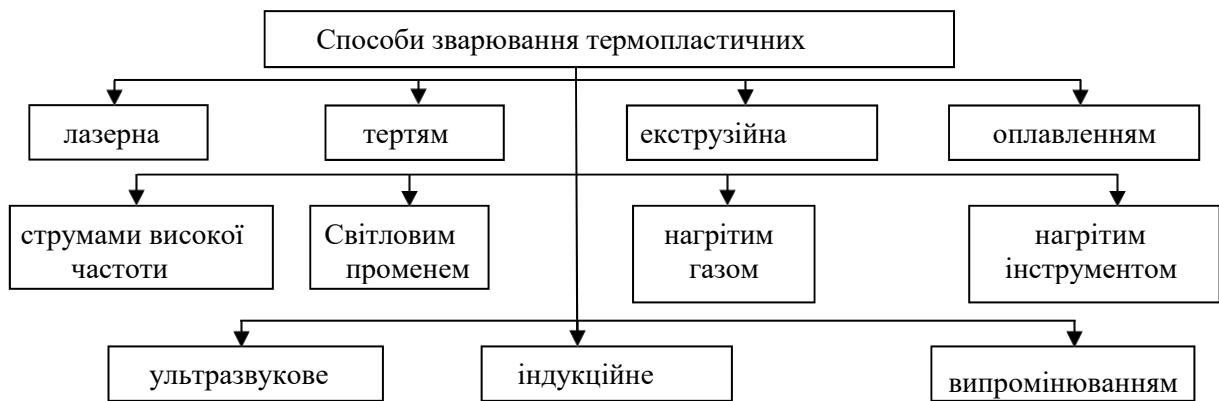
За правилами всі замінені деталі при комерційному ремонті мають бути передані замовнику (власнику машини або страхової компанії). У страхової компанії укладено договори зі спеціалізованими організаціями, які працюють на вторинному ринку запасних частин, які приїжджають у ремонтне підприємство та відбирають ті деталі, які можуть бути відновлені та продані. Решта бракованих деталей утилізуються.

Якщо випадок не страховий, то подальші ремонтні дії багато в чому залежать від власника машини. За погодженням з ним пошкоджена деталь може бути замінена на нову оригінальну або неоригінальну, на справну деталь, що була

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

в експлуатації, або бути відновлена. Для ремонту пластмасових деталей машин застосовується кілька методів: заміна деталі на нову, шпаклювання та фарбування, різні види зварювання, а також склеювання. Питання, пов'язані зі шпаклюванням та фарбуванням, докладно розглядати не будемо, оскільки це не підпадає під тему дослідження.

Зварювання є найпоширенішим способом відновлення пластмасових деталей машин. Вона являє собою з'єднання термопластичних матеріалів із застосуванням теплової енергії, тиску та присадного матеріалу. Залежно від конкретного способу, комбінація впливів може змінюватися, наприклад, Рисунок



1.4 – Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів здійснюватись лише при застосуванні теплової енергії або тепла та тиску тощо. Зварювання виконується в межах термопластичного стану матеріалу [16; 94]. Класифікація способів зварювання представлена рисунку 1.4. Для деталей машин зварювання застосовується в першу чергу при закладенні тріщин та пробоїв на бамперах та інших елементах екстер'єру.

Незважаючи на різноманітність способів зварювання пластмас, в даний час при ремонті дорожніх машин застосовуються лише два з них: зварювання нагрітим газом (рис. 1.5) та нагрітим інструментом.



Рисунок 1.5 – Відновлення деталі зварюванням нагрітим газом

Зварювання нагрітим газом полягає в підведенні до поверхонь теплової енергії, що з'єднуються, і послідовному переміщенні вздовж шва. Даний спосіб найчастіше виконується з додаванням до шову присадного матеріалу (рис. 1.8, а).

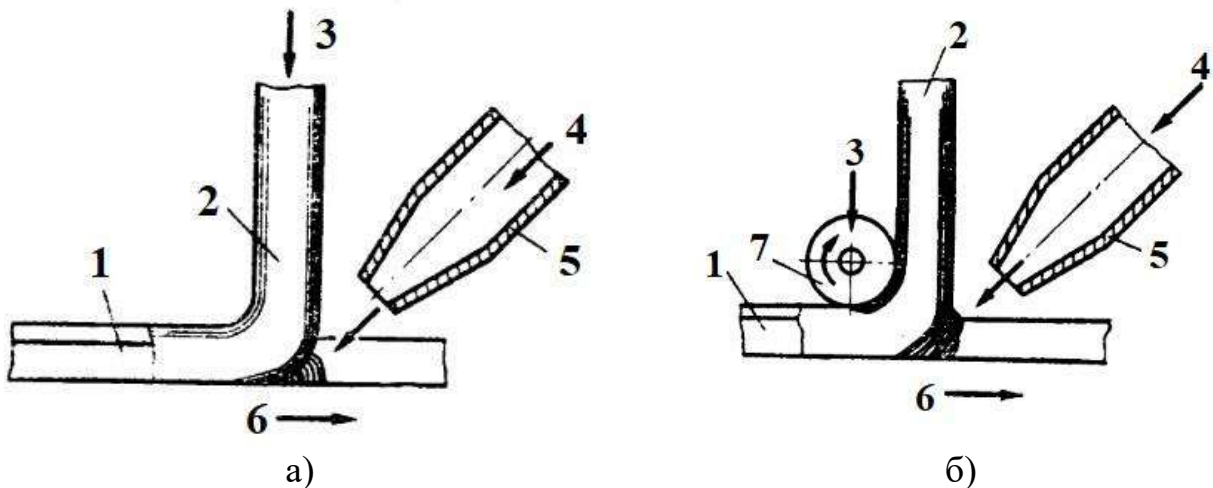


Рисунок 1.6 – Зварювання нагрітим газом з присадним прутком (а) та прикочуванням (б): 1 – деталь, що зварюється; 2 - присадковий пруток; 3 – зусилля; 4 – нагрітий газ; 5 – сопло; 6 – напрямок зварювання; 7 – натискний ролик газу;

Порядок виконання переходів, наступний:

- 1) попередній розігрів поверхонь, що з'єднуються струменем нагрітого.
- 2) подача присадного матеріалу в струмінь розігрітого газу в зону зварювання невеликим осьовим зусиллям;
- 3) прикочування присадного прутка роликком (рис. 1.6б).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Накочування виконується в тому випадку, якщо присадковий пруток не здатний витримувати осьове зусилля.

Існують два різновиди способів зварювання: ручне та механізоване. При ремонті деталей дорожніх машин застосовується лише ручне зварювання. Це зумовлено тим, що застосування механізованих зварювальних апаратів неможливо через складну просторову геометрію деталей, що відновлюються.

Ручний спосіб зварювання дуже трудомісткий і не дозволяє одержувати зварні шви високої якості. Подачу прутка і зварювального сопла виробляє зварювальник, тому зварювальний шов не відрізняється однорідністю і рівномірністю. Це своє чергу впливає міцність зварного з'єднання.

Зварювання нагрітим газом може застосовуватися для деталей товщиною від 1,5 до 10 мм. Спосіб придатний для наступних термопластичних матеріалів: ABS, PP, PE, PC, PVC. Технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом

Параметри	Значення
Швидкість зварювання, м/хв	0,07 ... 0,25
Витрата газу, л/год	700...2400
Надлишковий тиск нагрітого газу, МПа	0,03 ... 0,06
Температура нагрітого газу, °С	на 50...100 °С вище температури стану зварюємого матеріалу
Кут нахилу осі присадного прутка до площині деталі, що зварюється, град	45...50 для PE, PVC >90 для PP
Кут нахилу поздовжньої осі сопла зварювального апарату до площини зварюваної деталі, град	60 на етапі попереднього прогріву матеріалу 45 під час зварювання

Загальні вказівки щодо підготовки з'єднань до зварювання нагрітим газом наведено в таблиці 1.2.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 1.2 - Вказівки щодо підготовки з'єднань до зварювання нагрітим газом

Матеріал	Геометричні характеристики з'єднання		
	Товщина, мм	Ширина зазору, мм	Кут розкриття кромки, град
PVC	2...5	0,5 ... 1,0	60
PE	2...5	0,5 ... 1,0	60...70
PP	2...5	0,5 ... 1,0	60
PA, PC	2...5	0,5 ... 1,0	40...50
PA, PC	5...10	0,5 ... 1,0	40...50

Зварювання з використанням присадного матеріалу переважно виконують із використанням ручних нагрівачів. Розрізняють газові (прямого та непрямого нагріву) та електричні нагрівачі. Найбільшого поширення при ремонті пластмасових деталей набули електронагрівачі, що є промисловими фенами з цифровим регулюванням температури та витрати повітря. Перевагою таких нагрівачів перед газовими є їхня безпека та можливість точного регулювання вихідних параметрів нагрітого газу.

Недоліками зварювання нагрітим газом є:

- висока трудомісткість процесу;
- залежність якості від кваліфікації персоналу;
- велика зона термічного нагріву на деталь;
- неможливість зварювання фасонних деталей;
- низька продуктивність.

Спосіб зварювання нагрітим інструментом полягає в оплавленні поверхонь, що з'єднуються за рахунок прямого контакту з нагрітим інструментом. Існують два різновиди цього способу: інструментом, що видаляється з зони зварного шва і зварювання інструментом, що нагрівається, що залишається в зварному шві [143].

У першому різновиді зварювання нагрітий інструмент стикається із зовнішніми

поверхніми елементів деталі, що з'єднуються, і розігріває за рахунок теплопровідності сам матеріал. Після цього інструмент видаляється із зони зварювання, а матеріал деталі застигає через відсутність джерела нагріву. Принципова схема способу представлена на рисунку 1.9.

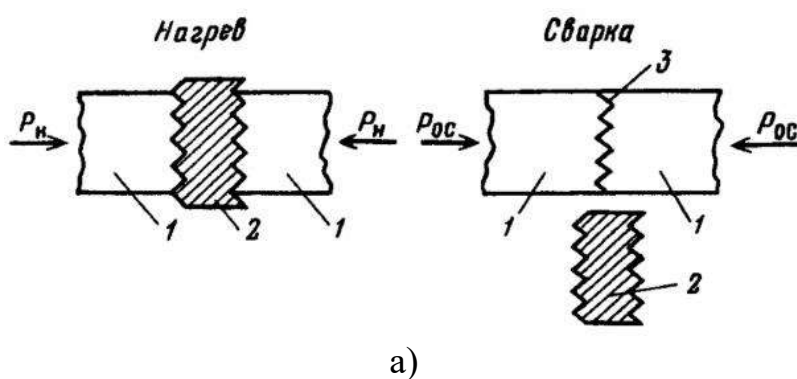


Рисунок 1.7 – Схема зварювання нагрітим інструментом (а) та відновлена деталь (б): 1 - деталі, що з'єднуються; 2 – інструмент; 3 – шов

Зварювання елементом, що залишається в зварному шві (рис. 1.8 – 1.9), полягає в розміщенні на зварному шві металевго елемента, що є низькоомним електроопіром, і пропускання через нього електричного струму. В результаті цього матеріал, що безпосередньо контактує з нагрівальним елементом, розплавляється, а сам нагрівач занурюється всередину матеріалу за рахунок незначного осьового зусилля, що додається до інструменту. Потім електричний струм відключається, матеріал деталі застигає і нагрівальний елемент механічно від'єднується від джерела струму, залишаючись при цьому в деталі як армуючий елемент.

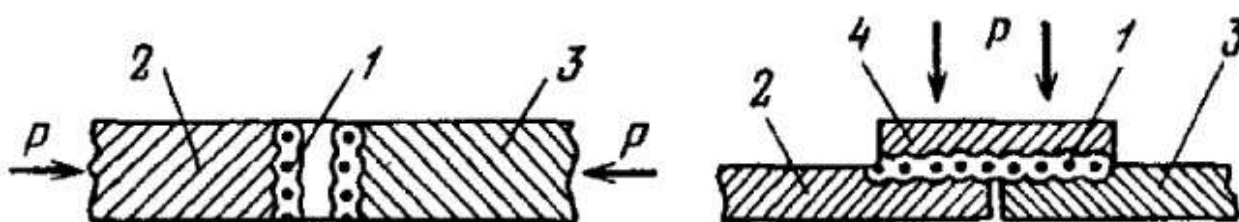


Рисунок 1.8 – Схема зварювання нагрітим елементом, що залишається у деталі: 1 – нагрівальна спіраль, що залишається у зварному шві; 2, 3 - деталі, що зварюються; 4 – накладка



Рисунок 1.9 – Відновлення деталі нагрітим елементом

Зварювання залишеним нагрітим елементом не дозволяє отримати повністю цілісний виріб, а лише армує місце дефекту.

До переваг цього способу відносять:

- низькі вимоги до кваліфікації персоналу;
- невелика зона термічного на деталь;
- одночасне армування деталі.

Недоліки способу:

- невисока міцність з'єднання;
- необхідність проведення механічної обробки з метою видалення виступаючих частин нагрівальних елементів;
- неможливість відновлення деталей, до яких висуваються вимоги щодо герметичності.

Існує ще один спосіб зварювання – зварювання органічними розчинниками. За своїми технологічними ознаками вона найближча до склеювання. Цей спосіб зварювання застосовують у тому випадку, якщо застосування інших методів не раціональне через можливе порушення форми та розмірів. Зварювання розчинниками є найбільш ефективним при з'єднанні деталей з PVC та ABS [136]. Для підвищення міцності з'єднання та прискорення процесу утворення шва застосовують розчини зварюваного матеріалу в розчиннику, звані лаковими

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

композиціями. У такому випадку розчинник виконує роль пластифікатора навколошовної зони. Зазвичай розчинник додають до 15% зварюваного матеріалу.

Технологічний процес зварювання розчинниками виконується в наступній послідовності:

- 1) підготовка поверхонь, що зварюються;
- 2) змочування поверхонь розчинником або лаковою композицією;
- 3) витримка деталей;
- 4) з'єднання деталей та додаток тиску;
- 5) витримка деталей до затвердіння шва.

Кількість розчинника, що наноситься, підбирають експериментальним шляхом, однак, слід враховувати, що його надлишок призводить до зниження міцності з'єднання і збільшення технологічного часу. Витримка деталей до з'єднання становить кілька хвилин, тиск при з'єднанні слід витримувати в інтервалі 0,1...1,0 МПа, а час затвердіння триває від 2 до 24 годин. Вибір розчинників проводять з урахуванням того, щоб різниця між характеристиками розчинності полімеру та розчинника не перевищувала $2,5 \text{ (МДж/м}^3\text{)}^{1/2}$ [143].

Армування місця зварювання виконують для посилення деталі та запобігання подальшому руйнуванню в цьому місці. Приклад відновлення деталі з використанням армуючої сітки представлено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Відновлення деталей з армуванням

Зазвичай як армуючого матеріалу вибирають дрібнокомірчасту сталеву

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

сітку, нарізану на невеликі смуги. Деталі, що з'єднуються, поєднують один з одним, фіксують у необхідному положенні, укладають сітку на поверхню і починають нагрівання. Під час нагрівання матеріал під сіткою розм'якшується і додатковим інструментом армована сітка занурюється в розплав. Слід слідкувати за тим, щоб не перегріти сітку та матеріал, оскільки окислена сітка може бути осередком корозії, а перегрітий пластик стає більш крихким.

Склеювання пластмас полягає у створенні нероз'ємного з'єднання елементів деталі із застосуванням клею. За здатністю до склеювання пластмаси розділяють на три групи: легкосклеювані (поліакрилати, ABS, полікарбонат, непластифікований полівінілхлорид), умовно склеювані (поліаміди, полістирол, пластифікований полівінілхлорид) і важкосклеювані (удароміцний полістирол, поліпропілен поліаміди).

Створення якісного з'єднання можливе при виконанні наступних умов [143]:

- поверхні, що з'єднуються, змочуються клеєм;
- створено тиск у зоні склеювання для запобігання переміщенню у процесі затвердіння клею;
- правильно підібраний клей.

Найчастіше застосовують спосіб склеювання за рахунок липкості. На поверхні, що склеюються, наносять клей, витримують до утворення липкого шару, і стискають елементи для утворення клейового шару (рисунок 1.13).



Рисунок 1.12 – Ремонт за допомогою клейової сполуки

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Нерідко внаслідок пошкодження може порушуватися комплектність деталей. Найчастіше це відбувається з кріпильними елементами бамперів та фар. Обламаний елемент може бути втрачений і необхідно відновити його форму, розміри та функціональне призначення. Для цього застосовують дві технології: встановлення ремонтного елемента, що випускається заводом-виробником деталі та формування втраченого елемента деталі спеціальними складами.

Установка заводських ремонтних елементів може виконуватись у тих випадках, якщо такий спосіб відновлення передбачений виробником. Найчастіше подібні ремонтні комплекти кріпильних елементів випускають виробники фар, оскільки саме їх кріпильні кронштейни найчастіше ушкоджуються внаслідок механічних впливів.

Ремкомплект являє собою набір кріплень та металовиробів для заміни обламаного кріплення на нове. У деяких випадках на корпусі деталі, що ремонтується, є спеціальні посадкові місця під новий кронштейн (рис. 1.13).



Рисунок 1.12 – Відновлення кронштейна фари (а) ремонтним комплектом (б)

Дана технологія ремонту полягає в механічному видаленні залишків обламаного кріплення, установці ремонтного кронштейна та закріпленні його за допомогою гвинтів або клеючих складів.

До переваг даного способу ремонту відносять:

- низьку трудомісткість процесу;
- невисокі вимоги до кваліфікації персоналу;

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

– невисоку вартість ремонту.

Недоліками є:

- необхідність очікування на поставку ремонтного комплекту;
- невелика номенклатура типів відновлюваних деталей;
- ремонтні комплекти існують не для всіх марок та виробів.

Ремонт спеціальними складами ЗМ застосовується в тих випадках, коли відновлення зварюванням, склеюванням або постановка ремонтного елемента неможливе через втрату елемента або відсутність ремонтних комплектів.

Технологія ремонту виконується в наступному порядку (рис. 1.13):

- 1) очищення відновлюваної поверхні від забруднень;
- 2) механічне оброблення шліфуванням;
- 3) засвердлювання додаткових отворів для покращеної фіксації складу;
- 4) очищення поверхні очисником клеїв;
- 5) нанесення активатора адгезії та витримка протягом 10 хвилин;
- 6) формування нової деталі за допомогою плівки та полімерного складу;
- 7) видалення плівки та механічна обробка до необхідних розмірів;
- 8) засвердлювання кріпильних отворів.

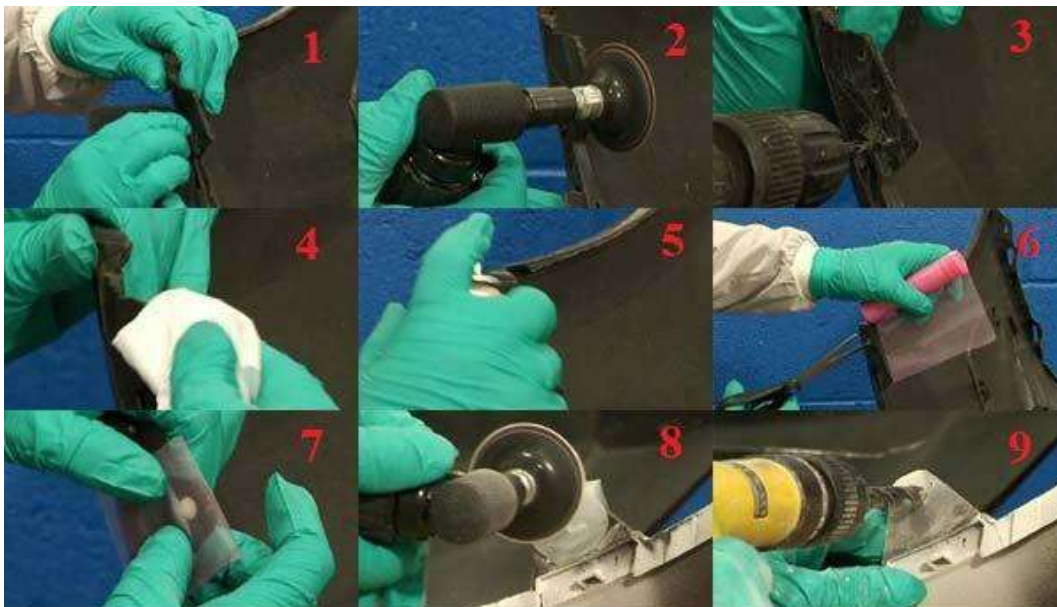


Рисунок 1.13 – Технологія відновлення пластмасових деталей складами ЗМ

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Цей спосіб не дозволяє відновлювати втрачені кріпильні елементи складної фасонної форми, а також потребує значних витрат на додаткові матеріали: очищувачі, активатори адгезії, формуючі плівки тощо. Для правильного підбору витратних матеріалів та налаштування режимів технологічних методів ремонту необхідно перед початком ремонту визначити марку матеріалу деталі. Матеріал, як правило, визначається за маркуванням, що існує на пластмасових деталях (рис. 1.14).



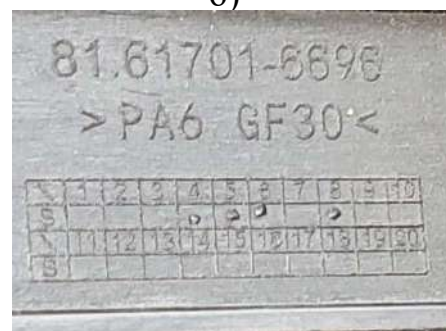
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.14 – Маркування деталей із різних пластмас: поліпропілен з додаванням етилен-пропіленового каучуку (PP+EPDM) (а); акрилонітрилбутадієнстирол (ABS) (б); поліетилен низького тиску (PE-HD) (в); поліамід 6 с додаванням 30% скловолокна (PA6 GF30) (г)

Існуючі традиційні методи ремонту пластмасових деталей не дозволяють відновлювати пошкодження пластмасових деталей дорожніх машин, пов'язані зі втратою елементів зі складною просторовою геометрією. Необхідно розробити нові методи ремонту з огляду на тенденції у розвитку машинобудування.

1.4. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин

Існуючі способи з'єднання пластмас мають на увазі використання різних матеріалів для здійснення технологічного процесу. Так, для зварювання нагрітим газом потрібні прутки; для зварювання нагрітим інструментом – нагрівальні елементи; для зварювання розчинниками – органічні розчинники, а для склеювання – клеї. Розглянемо властивості основних матеріалів, що застосовуються для різних методів ремонту.

У машинобудуванні для виготовлення пластмасових деталей, що ремонтуються, використовуються такі матеріали як: ABS, PP, PA, PE, PC та інші. Як правило, для зварювання ABS, PP, PE, PC використовуються прутки з тими ж характеристиками матеріалу, що і матеріал деталі. У таблиці 1.3 наведено основні фізико-механічні характеристики присадочних матеріалів.

Таблиця 1.3 - Фізико-механічні властивості присадних матеріалів

Матеріал	Щільність, г/см ³	Межа міцності при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, %	Температура плавлення, °С
ABS	1,02 ... 1,08	35...50	10...25	220...240
PP	0,90 ... 0,92	26... 40	200...700	160 ... 170
PA6	1,14	40...45	50...100	220
PE	0,93 ... 0,95	20...22	320...350	120
PC	1,2	30...40	2,5 ... 4,8	250...270

За формою розрізняють круглі, плоскі, трикутні в поперечному перерізі прутки. Трикутний профіль використовується при зварюванні під кутом, плоский – для стикових швів в одній площині. Прутки круглого профілю є універсальними.

За геометричними параметрами прутки відрізняються діаметром (круглі від 2 до 5 мм), шириною (плоскі та трикутні від 3 до 10 мм), а також формою

постачання. Плоскі та трикутні присадочні матеріали поставляються в бухтах, а круглі у вигляді прутків завдовжки 200-300 мм. Виробляють різні за кольором матеріали: чорні, білі, сірі, сині тощо.

У виробничій практиці для зварювання розчинниками застосовують розчинники, а також їх суміші. Склади, що рекомендуються для зварювання термопластичних матеріалів, наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Рекомендовані склади розчинників для зварювання пластмас

Полімери	Рекомендовані розчинники
ABS	Ацетон; епіацетат; метилацетат; ацетон/етилактат (90/10); ацетон/метолксіет-лацетат (80/20); ацетон/метилацетат (70/30); бутилацетат/ацетон/метилацетат (50/30/20)
РА	Концентрована мурашина кислота; розплавлені фенол та резорпін; спір-розчини хлориду кальцію; оцтова кислота (крижана)
PVC	Метилетилкетон; метилізобутилкетон; ксилол; тетрагід-рофуран/циклогексанон (80/20)
PC	Етилендихлорид; тетрахлоретан; трихлоретан; етилендихлорид/метиленхлорид (50/50); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40)
ПММА	Етилендихлорид; мономер метиметакрилату;дихлоретан; метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (50/50)
PS	Етилацетат; метиленхлорид; метилетилкетон; чотирихлористий етилен; толуол; трихлористий етилен

Ремонт пластмасових деталей технологіями компанії ЗМ здійснюється із застосуванням спеціальних складів. До них відносяться:

- очисник поверхні ЗМТМ VNB;
- поліолефіновий активатор адгезії 05917 ЗМТМ;
- зміцнююча сітка ЗМТМ 04903;
- клей для швидкого відновлення деталей ЗМТМ 55045;
- ремонтний склад FPRM ЗМТМ 05901;
- плівка для формування ЗМТМ Automix.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2. АНАЛІЗ ПРОГРАМ ДЛЯ 3D-друку ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ

3D-друк за технологією моделювання методом пошарового наплавлення (FDM) є одним з видів адитивних технологій, суть якого полягає в пошаровому екструзійному наплавленні термопласту на поверхню друкованого столу в процесі формування деталі. Аналогом цієї технології є технологія наплавлення нитки (англ. Fused Filament Fabrication, FFF). Ці технології дозволяють друкувати вироби з термо- пластичних матеріалів з різними наповнювачами (залежить від конструктивних особливостей 3D-принтера).

При розробці завдання на друк, оператор має можливість виконати ряд налаштувань, завдяки яким вдається змінити не тільки час виконання завдання та кількість витраченого пластику, але і якість деталі. Однією з найбільш розвинених у плані можливих налаштувань програм для слайси є Simplify3D (рисунок 1.15). Дана програма дозволяє задавати індивідуальні налаштування друку для кожного об'єкта (при одночасному друку декількох виробів), налаштовувати зони параметрів у межах однієї деталі, здійснювати 3D візуалізацію процесу друку. До основних

параметрам, що настроюються, відносять висоту шару, швидкість, величину заповнення, температуру нагріву, коефіцієнт подачі матеріалу. Важливу роль має можливість створення підтримуючих структур у ручному режимі.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

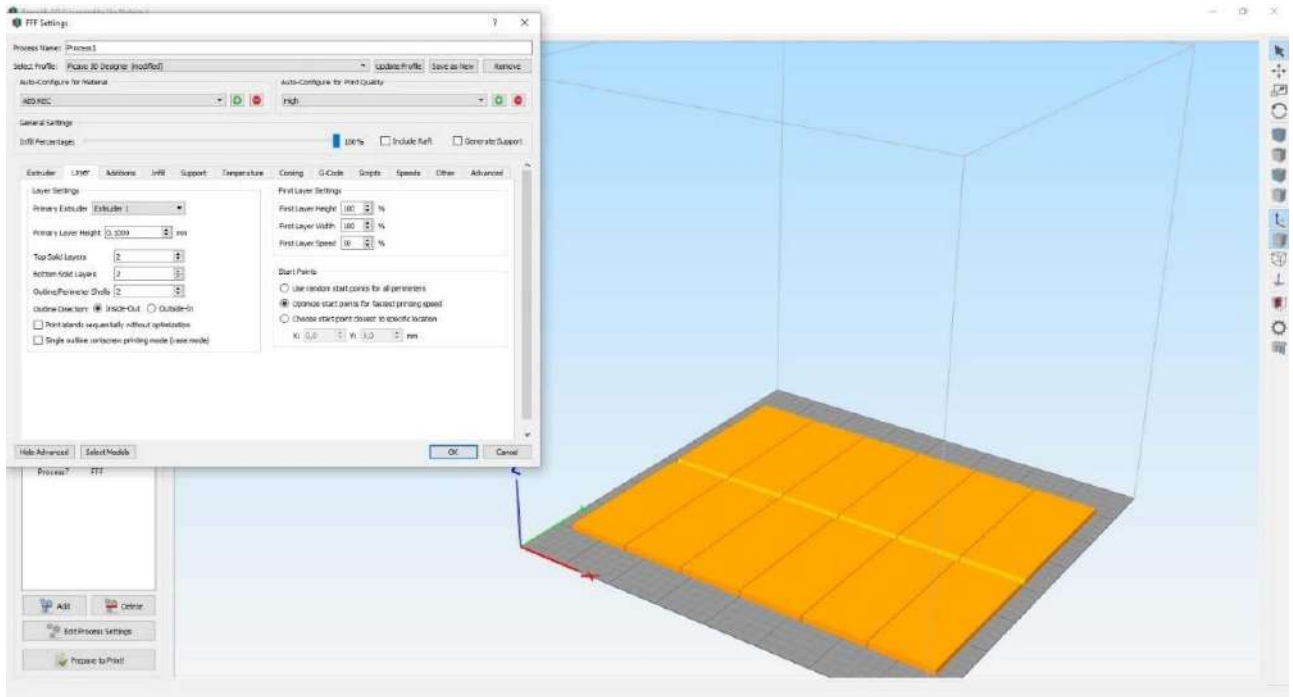


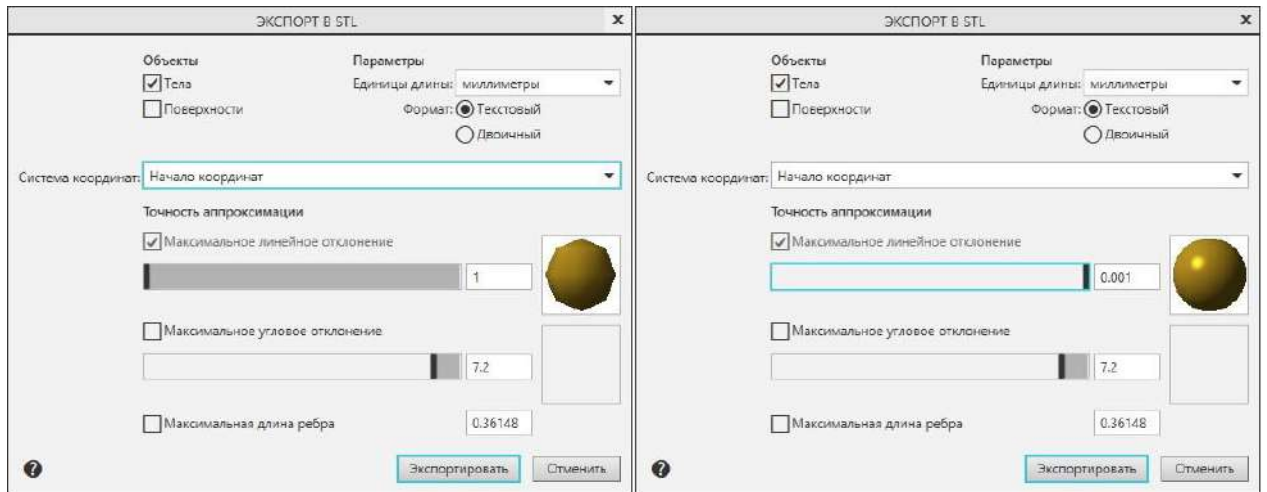
Рисунок 2.1 – Програма-слайсер Simplify3D

Для створення об'єктів 3D-друку необхідно використовувати два типи програм: системи автоматизованого проектування (САПР) та програми-слайсери (англ. slice – зріз).

Програми САПР необхідні для створення 3D-моделі майбутнього виробу, проведення розрахунків міцності конструкції, а також експорту 3D-моделі у файл формату STL (англ. stereolithography). Основними прикладами таких програм можуть бути: КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCAD 3D, Fusion360 та інші. Наявність у таких програмах можливості задавати настройки файлів, що експортуються, дозволяє підвищити якість геометрії майбутньої надрукованої деталі (рис. 2.2).

САПР відрізняються один від одного інтерфейсом, а також повнотою функцій, що дозволяють проводити розрахунки та оптимізацію конструкції. Проте, більший вплив на якість надрукованого виробу мають саме програми-слайсери.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



а)

б)

Рисунок 2.2 – Налаштування точності апроксимації при експорті 3D-моделі:

а) – лінійне відхилення 1 мм; б) – лінійне відхилення 0,001 мм

В даний час на ринку представлено досить велику кількість програм-слайсерів. Частина їх поставляється разом з 3D-принтерами. Такі програми зазвичай містять набір шаблонів налаштувань під різну якість друку (низька, середня, висока тощо). Можливості вказати параметри 3D-друку в таких слайсерах мінімальні або відсутні зовсім. Прикладом такого слайсера може бути Picaso Polygon (рис.2.3).

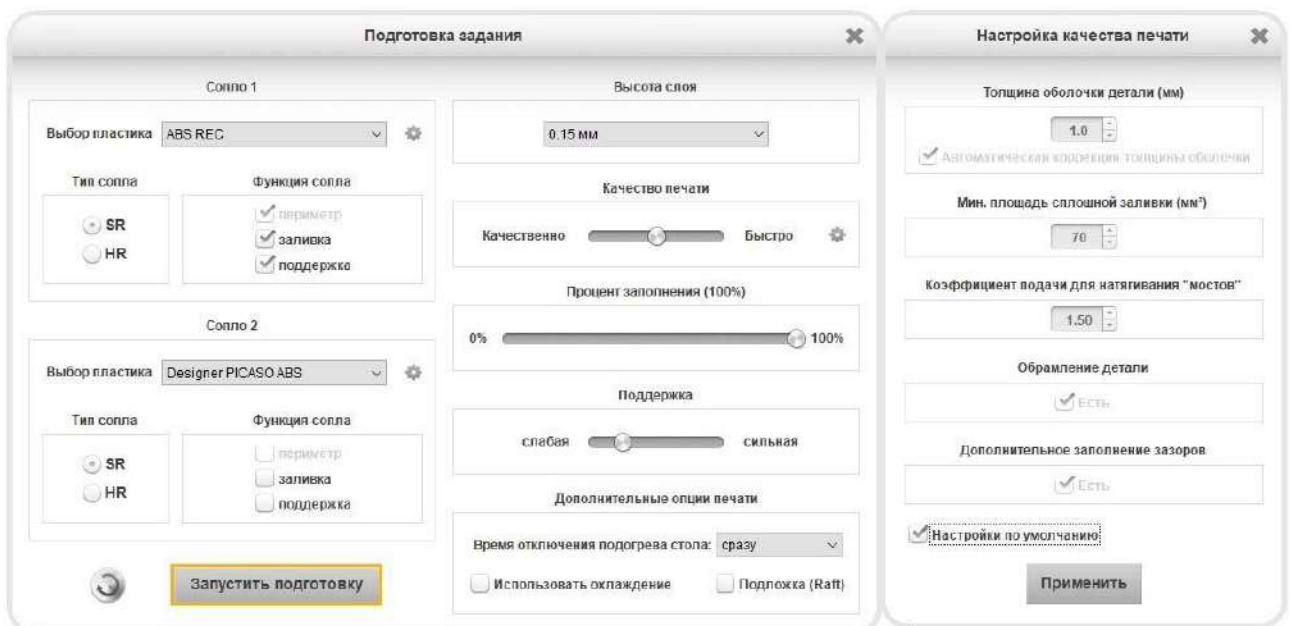


Рисунок 2.3 – Меню установок слайсера Picaso Polygon

Універсальні слайсери (не прив'язані до конкретної моделі 3D-принтера) мають більшу функціональність. Прикладами таких слайсерів можуть бути: Repetier, Simplify3D, Cura та інших.

Зазначені програми дозволяють здійснювати індивідуальне налаштування параметрів друку, задавати вручну підтримуючі структури, а також виконувати індивідуальні налаштування друку за шарами (рис. 2.4).

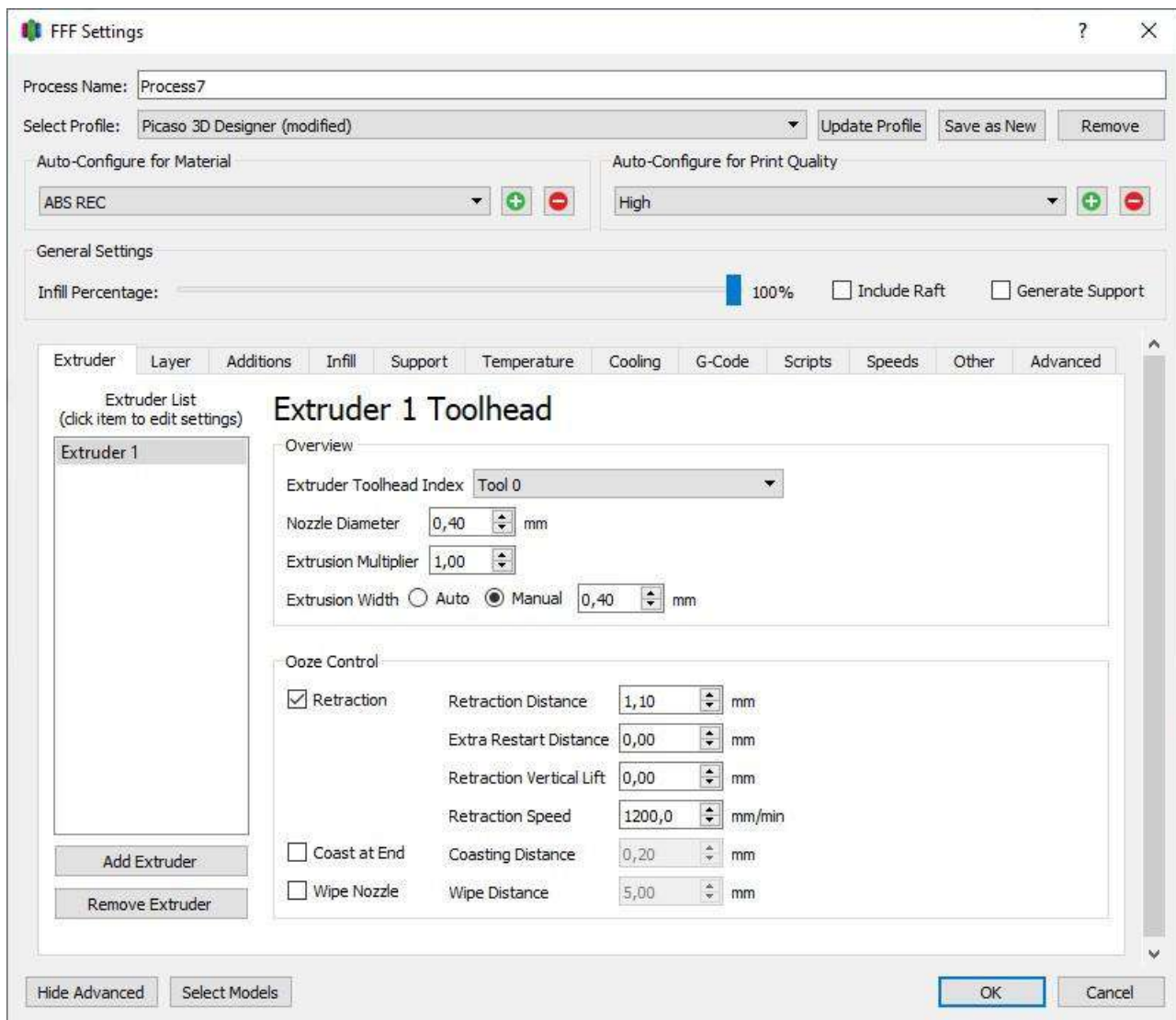


Рисунок 2.4 – Меню установок слайсера Simplify3D

У таблиці 2.1 наведено порівняльний аналіз функцій найбільш поширених програм-слайсерів.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз функціональних можливостей програм-слайсерів

Параметри	Програми-слайсери				
	Repetier	Simlify3D	Cura	Slic3r	KISSlicer
Ручне налаштування параметрів екструдера	+	+	+	+	+
Ручне налаштування висоти шару	+	+	+	+	+
Ручне налаштування структури заповнення	+	+	+	+	+
Ручне налаштування швидкості друку	+	+	+	+	+
Ручне налаштування температурного режиму	+	+	+	+	+
Ручне налаштування параметрів покращення адгезії	+	+	+	+	+
Підтримка кількох екструдерів	+	+	+	+	+
Ручне налаштування підтримуючих структур	+	+	+	+	+
Ручне розташування підтримуючих структур	-	+	-	-	-
Моделювання процесу друку	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри для кожного об'єкту	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри друку за шарами	-	+	-	-	-
Ручне керування 3D-принтером	+	+	+	+	-
Редагування та додавання до коду скриптів	+	+	+	+	+
Перегляд та редагування G-коду завдання	+	-	+	+	-
Призначення параметрів друку залежно від міцнісних характеристик	-	-	-	-	-

Як видно з результатів аналізу, жодна з програм-слайсерів не дозволяє проводити автоматизований підбір параметрів друку залежно від потрібних параметрів міцності виробу.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РЕМОНТІ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН

3.1. Міцність матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D-друку

При вихідному контролі якості деталей, виготовлених з використанням 3D-друку, досить часто обмежуються візуальним контролем робочих поверхонь надрукованих деталей. Можливо, цього достатньо для моделей, що друкуються як об'єкти візуалізації, але у разі застосування їх у вузлах дорожніх машин, що працюють під навантаженнями, необхідно знати, які параметри друку більшою мірою впливають на експлуатаційні властивості надрукованої деталі.

Відповідно до поставлених завдань були проведені випробування для визначення залежності показників міцності матеріалу деталей від технологічних параметрів FDM 3D-друку. Для друку зразків використовувався 3D-принтер Magnum Creative 2 Pro та програма-слайсер Repetier Host. Перелік налаштувань та його значень представлений у таблиці 3.1.

Під швидкістю друку розуміють швидкість робочого руху друкуючої головки у процесі пошарового екструдювання пластику. Залежно від габаритів та конфігурації деталі швидкість може змінюватись у широкому діапазоні, що визначається характеристиками обладнання.

Кожна модель друкється пошарово знизу нагору. Висотою шару є товщина матеріалу, що наноситься за один прохід екструдера (вимірюється по вертикальній осі). Найчастіше мінімальна величина висоти шару визначається точністю механічних комплектуючих 3D-принтера.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 3.1 – Параметри 3D-друку зразків для випробувань

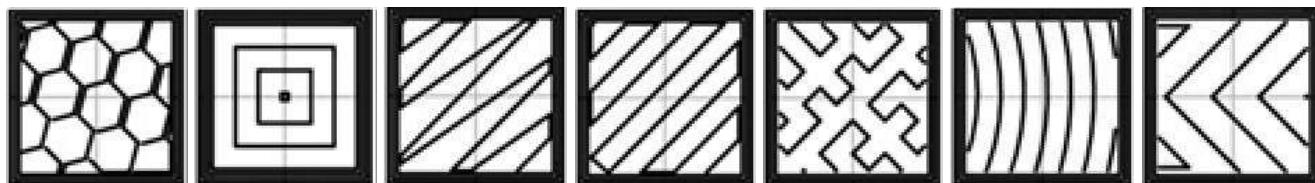
Найменування параметру	Розмір параметра
Швидкість друку, мм/с	15; 30; 45; 60; 80
Висота шару, мм	0,03; 0,06; 0,10; 0,12; 0,20; 0,25; 0,3
Модифікатор (коефіцієнт) подачі	0,9; 0,925; 0,95; 0,975; 1,0; 1,025; 1,05; 1,075; 1,1
Відсоток заповнення, %	20; 40; 60; 80; 100
Температура екструзування, °С	240; 250; 260; 270

Модифікатор подачі (коефіцієнт подачі) визначає об'ємну кількість матеріалу, що подається під час робочого ходу друкувальної голівки 3D принтера, або, іншими словами, це відношення об'єму пластику, що подається, до теоретичного обсягу деталі.

$$KM = V_{п.п.}/V100\% \quad (3.1)$$

де $V_{п.п.}$ - Об'єм пластику, що подається; $V100\%$ – теоретичний обсяг деталі.

Відсоток заповнення важливий для полегшення деталі та реалізується шляхом зміни кроку рядків або рисунку заповнення деталі. Зміна відсотка заповнення важлива у випадках, коли немає необхідності створення монолітної деталі. Існуючі структури заповнення представлені на рисунку 3.1.



а) б) в) г) д) е) ж)

Рисунок 3.1 – Типи заповнення тіла деталі матеріалом: honeycomb(а), concentric (б), line (в), rectilinear (г), Hilbert Curve (д), Archimedean Chords (е), Octagram Spiral (ж)

Зразки виготовлялися з акрилонітрилбутадієнстиролу (ABS). Форма та розміри зразків представлені на рисунку 3.2. Випробування надрукованих зразків на розтяг проводилися на універсальній випробувальній машині УТС-110М-5-0У відповідно до вимог ГОСТ 11262-2017 «Пластмаси. Методи випробувань на

розтягування».

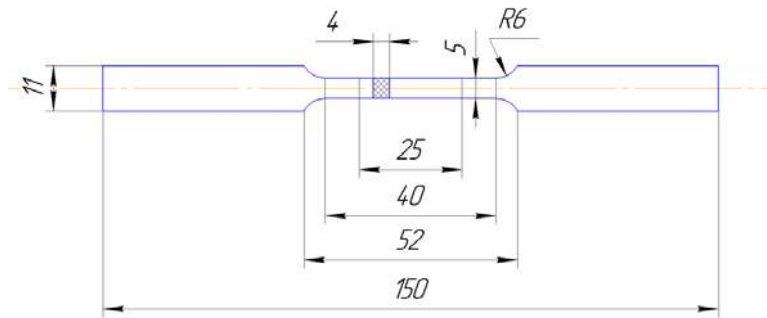


Рисунок 3.2 – Зразок для випробувань на міцність під час розтягування

Для визначення впливу кожного з параметрів 3D-друку на характеристики зразків міцності, було прийнято рішення проводити послідовний експеримент. При цьому експеримент реалізовувався у вигляді серій випробувань, у яких умови проведення наступної серії визначалися результатами попередньої. Блок-схема проведення експерименту представлена рисунку 3.3.

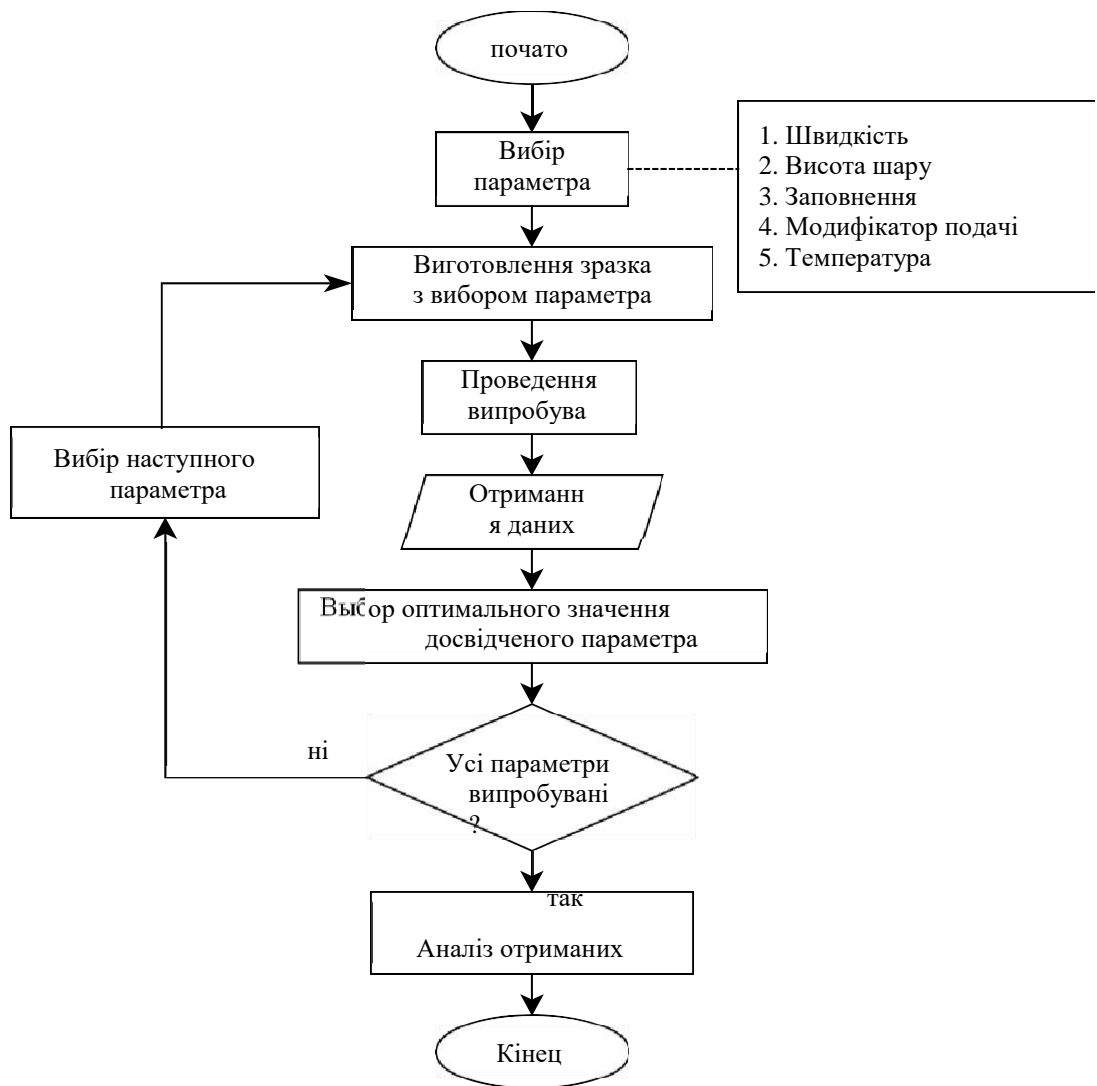


Рисунок 3.3 – Блок-схема процесу послідовності випробувань

Як початковий параметр вибрано швидкість друку. Друк проводився з висотою шару 0,1 мм, 100% заповненням і коефіцієнтом подачі рівним 1 температура екструдуювання становила 240°C. Отримані в результаті випробувань графіки наведено на рисунку 3.4.

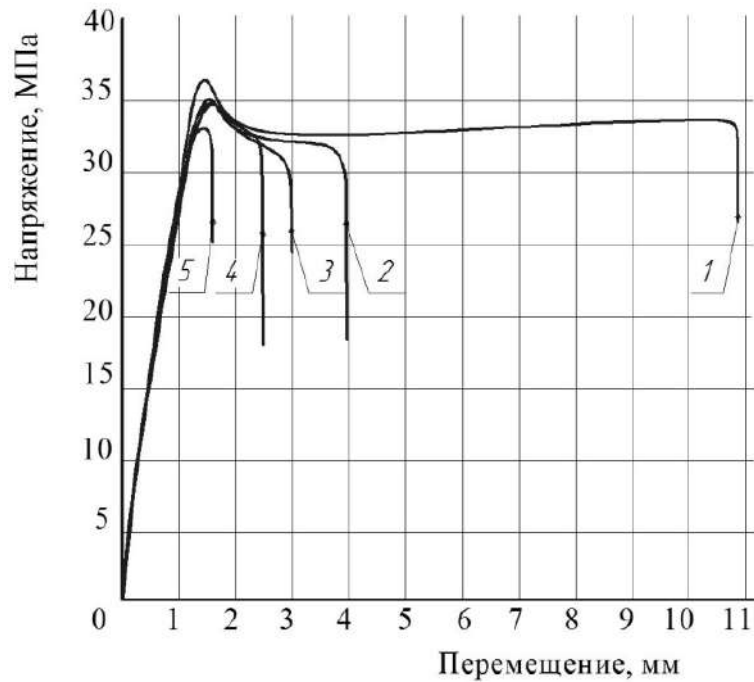


Рисунок 3.4 – Вплив швидкості друку на характеристики міцності: 1 - 15мм/с; 2 – 30мм/с; 3 – 45мм/с; 4 – 60мм/с; 5 – 80мм/с

Як впливає з отриманих результатів, найбільша міцність зразків досягається за найменших швидкостей друку. Ця залежність справедлива і для відносного подовження зразка: що менше швидкість, то більше подовження. Це може бути пояснено тим, що при повільному пересуванні друкуючої голівки відбувається значне локальне нагрівання нанесеного матеріалу, що призводить до кращого сплавлення попереднього та наступного шарів деталі.

Для продовження експерименту було виготовлено зразки з різною висотою шару. Друк проводилася зі швидкістю 45 мм/с, 100% заповненням та коефіцієнтом подачі рівним 1 температура екструзії становила 240°C. Вибір величини швидкості друку обумовлений оптимальним співвідношенням якості та часу друку. Отримані результати наведено рисунку 3.5.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

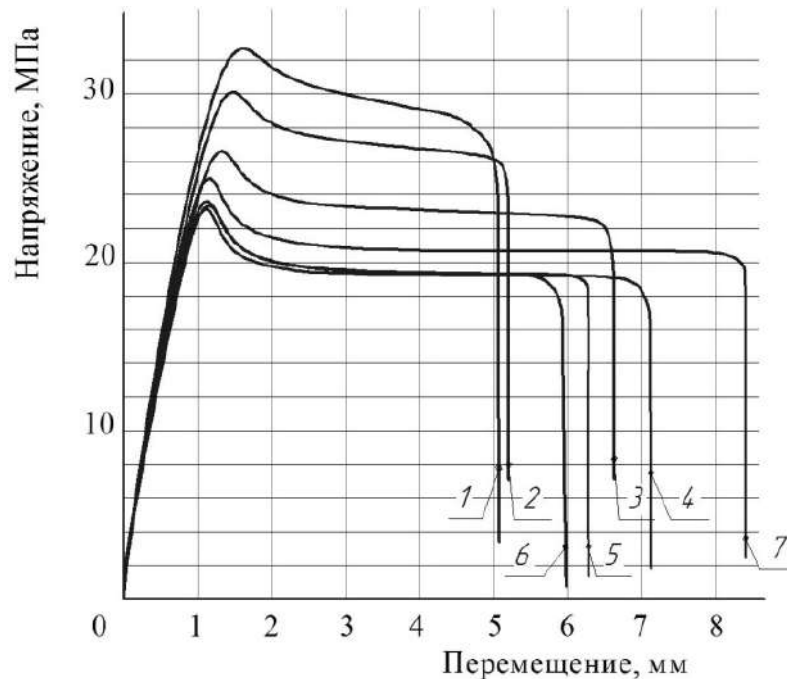


Рисунок 3.5 – Вплив висоти шару на характеристики міцності: 1-0,03мм; 2-0,06 мм; 3-0,1 мм; 4-0,12 мм; 5-0,2 мм; 6-0,25 мм; 7-0,3 мм

Чим менша висота шару, тим більша міцність і менше відносне подовження зразка. Ця поведінка матеріалу пояснюється тим, що при малих величинах висоти шару при друку відбувається екструзія пластику із сопла в безпосередній близькості від вже надрукованих шарів, що призводить до утворення плоских шарів (при розгляді в поперечному зрізі) і, отже, до зменшення порожнеч.

Для дослідження впливу модифікатора подачі на властивості міцності були виготовлені образи з наступними технологічними режимами: швидкість 45 мм/с; заповнення 100%, висота шару 0,1 мм, температура екструдювання становить 240°C. Вибір висоти шару обумовлений оптимальним співвідношенням "час-якість" друку. Результати наведено рисунку 3.6.

При роботі з модифікатором подачі необхідно мати на увазі, що чим менше його значення, тим менша міцність деталі та відносне подовження. Однак не можна стверджувати, що збільшення модифікатора подачі понад 1,1 (110%) дозволить отримати міцність вище за збереження інших властивостей деталі, в тому числі і якості поверхні, так як збільшення кількості подається при

3D-друк матеріалу призводить до виникнення деформацій деталі. Також зміна модифікатора подачі впливає на подовження деталі: збільшення коефіцієнта призводить до збільшення відносного подовження. Але після досягнення певного значення модифікатора (1,05) відбувається зниження подовження матеріалу.

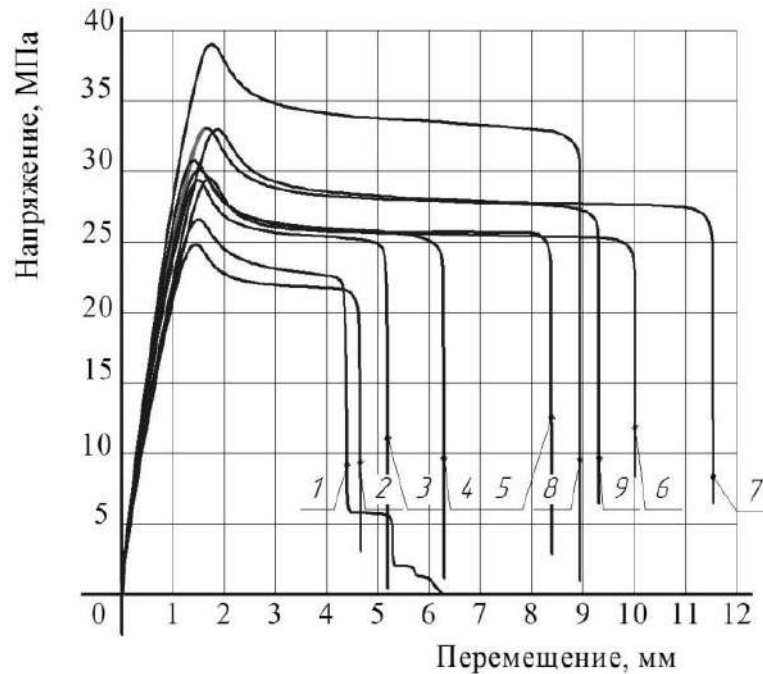


Рисунок 3.6 – Вплив модифікатора подачі на характеристики міцності: 1 – 0,9; 2 - 0,925; 3 – 0,95; 4 – 0,975; 5 – 1,0; 6 - 1,025; 7 - 1,05; 8 - 1,075; 9 – 1,1

При виготовленні зразків для оцінки коефіцієнта заповнення було вибрано такі параметри режиму друку зразків: швидкість 45 мм/с; висота шару 0,1 мм; модифікатор подачі 1 температура екструзування склала 240°C. Отримані графіки представлені рисунку 3.7.

Збільшення відсотка заповнення призводить до збільшення міцності матеріалу та зростання подовження. При цьому слід звернути увагу, що до певного значення (60%) величина заповнення впливає лише на подовження, а міцність матеріалу зростає незначно через те, що більшу частину навантаження, що додається до зразка, сприймає зовнішня оболонка (стінка).

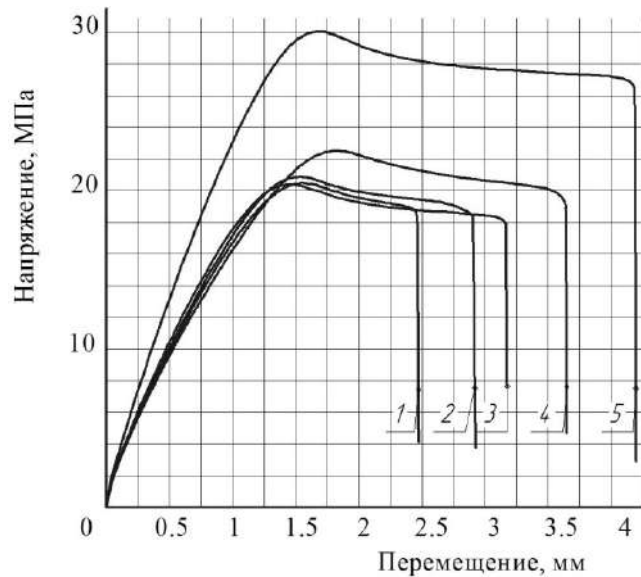


Рисунок 3.7 – Вплив відсотка заповнення на характеристики міцності: 1 - 20%; 2 – 40%; 3-60%; 4 – 80%; 5 – 100%

Для визначення впливу температури екструзії на міцнісні характеристики були виготовлені зразки при наступних параметрах 3D-друку: швидкість 45 мм/с; заповнення 100%, висота шару 0,1 мм, модифікатор подачі 1. На рисунку 3.8 представлені одержані графіки.

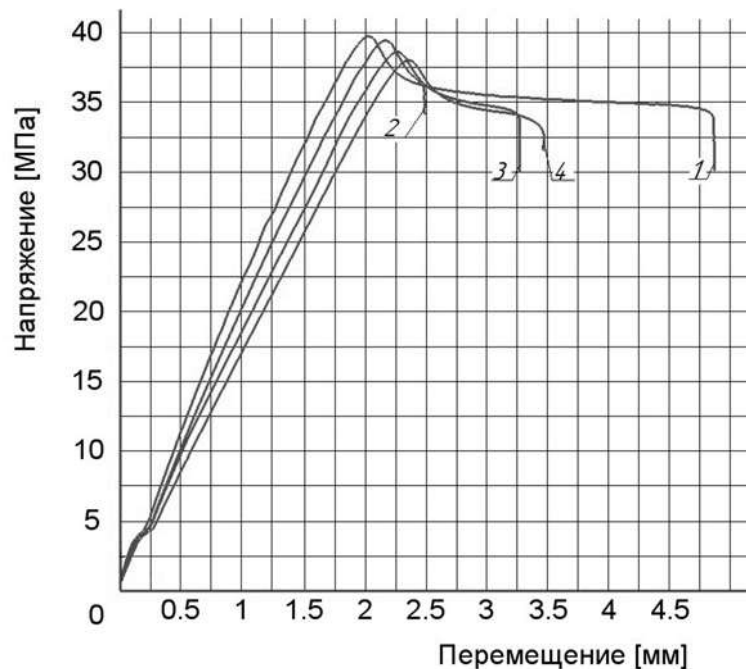


Рисунок 3.8 – Вплив температури екструзії на характеристики міцності: 1 – 240 °C; 2 - 250 °C; 3-260 °C; 4 - 270 °C

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Збільшення температури екструзії призводить до незначного зниження міцності при розтягуванні та зменшенні відносного подовження.

При порівнянні з фізико-механічними характеристиками вихідної сировини, одержуваного від виробника (міцність при розтягуванні 45,1 МПа, модуль пружності 2079 МПа), слід, що використання технології 3D-друку призводить до зниження характеристик міцності матеріалу на 20-30%.

Оскільки процес 3D-друку передбачає використання спеціального філаменту, який також екструзується на виробництві, а, отже, відбувається зниження фізико-механічних характеристик, необхідно визначити міцнісні характеристики філаменту. Для цього філамент був нарізаний на зразки завдовжки 180 мм. Поперечний переріз філаменту становить 1,75 мм. Ця партія зразків була випробувана на розтяг. За результатами випробувань встановлено, що середнє значення міцності на розтяг філаменту склало 40,8 МПа. Таким чином, процес одержання філаменту знижує міцнісні характеристики сировини приблизно на 10%.

Для навантажених деталей умови експлуатації висувають жорсткі вимоги до їх мікроструктури, оскільки наявність дефектів призводить до утворення концентраторів напруги або акумуляторів агресивного середовища.

Реальна мікроструктура матеріалу передбачає існування певної кількості неоднорідностей різного походження. Характер цих мікронеоднорідностей визначається специфікою виготовлення виробів, матеріалом та іншими причинами.

Як відомо, навіть для одного матеріалу структура може відрізнитися залежно від технологічних режимів виготовлення. Тому після проведення випробування на розтяг було досліджено вплив різних режимів 3D-друку на структуру одержуваного матеріалу.

У ході проведених експериментів було встановлено, що структура матеріалу незалежно від технологічних режимів друку є шарувально-комірчастою. Шаруватість матеріалу визначається технологією виготовлення і, отже, майже

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

неможливо позбутися. Пористість матеріалу виникає за декілька причин, перша з яких – це форма розплаву, що подається, пластика в поперечному перерізі. Оскільки розплав проходить через отвір круглого перерізу та наноситься на плоску поверхню, то підсумковий переріз кожного надрукованого ряду (нитки) є овалом. При збільшенні швидкості переміщення друкувальної голівки відбувається місцеве подовження матеріалу та деформація його в поперечному перерізі. Таким чином, при нанесенні кількох паралельних рядів та послідовного накладання шарів можна спостерігати пори.

Другою причиною, що впливає на структуру деталі, що виготовляється, і пов'язаною зі швидкістю друку, є тривалість температурного впливу. Чим менша швидкість друку, тим більше тепла передається через розплав пластику на вже сформовані шари. Це призводить до кращого розтікання пластику і, як наслідок, зменшення кількості пор у матеріалі. Збільшення швидкості друку призводить до зменшення адгезійних зв'язків між шарами та рядами матеріалу.

Збільшення висоти шару призводить до збільшення величини пор у матеріалі. Це особливістю формування низки у поперечному перерізі. Мінімальна висота шару забезпечується зазором між соплом друкувальної голівки і вже надрукованим шаром матеріалу. При екструзуванні розплав пластику заповнює зазор. Відповідно, чим більша величина зазору (висота шару), тим ближче форма поперечного перерізу ряду до кола.

Зміна коефіцієнта подачі пластику також впливає на структуру матеріалу. Якщо коефіцієнт менше 1,0 це призведе до збільшення розмірів пор у матеріалі. При його збільшенні більше 1,0 розміри пір зменшуються. Однак при виборі модифікатора слід звернути увагу на те, що як значення коефіцієнта, відмінні від 1,0, призводять до відхилення від заданої геометричної форми деталі.

Зміна відсотка заповнення дозволяє полегшити деталь. Чим менший відсоток заповнення, тим більші пори формуються у матеріалі. Це формування відбувається шляхом математичної обробки деталі на стадії проектування завдання друку. Працюючи з відсотком заповнення слід враховувати, що він

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впливає лише структуру заповнення, а чи не на структуру стінок деталі.

Зміна температури екструзії впливає на структуру виробу: чим вища температура, тим менша кількість і розмір пор у матеріалі. Як правило, виробник філаменту вказує діапазон рекомендованих для друку значень температури (наприклад, 240-270 ° C для ABS). Вихід за межі цих значень може призвести до погіршення якості друку. Так, при низькій величині температури можливе утворення пробок у тракті подачі пластику, а при надто високій температурі утворюватимуться повітряні бульбашки через закипання пластику. Також перевищення рекомендованих значень температури екструзії призведе до порушень у формі деталі через надмірно низьку в'язкість розплаву.

На рис. 3.9 – 3.13 представлена структура зразків, надрукованих за різних режимів 3D-друку.

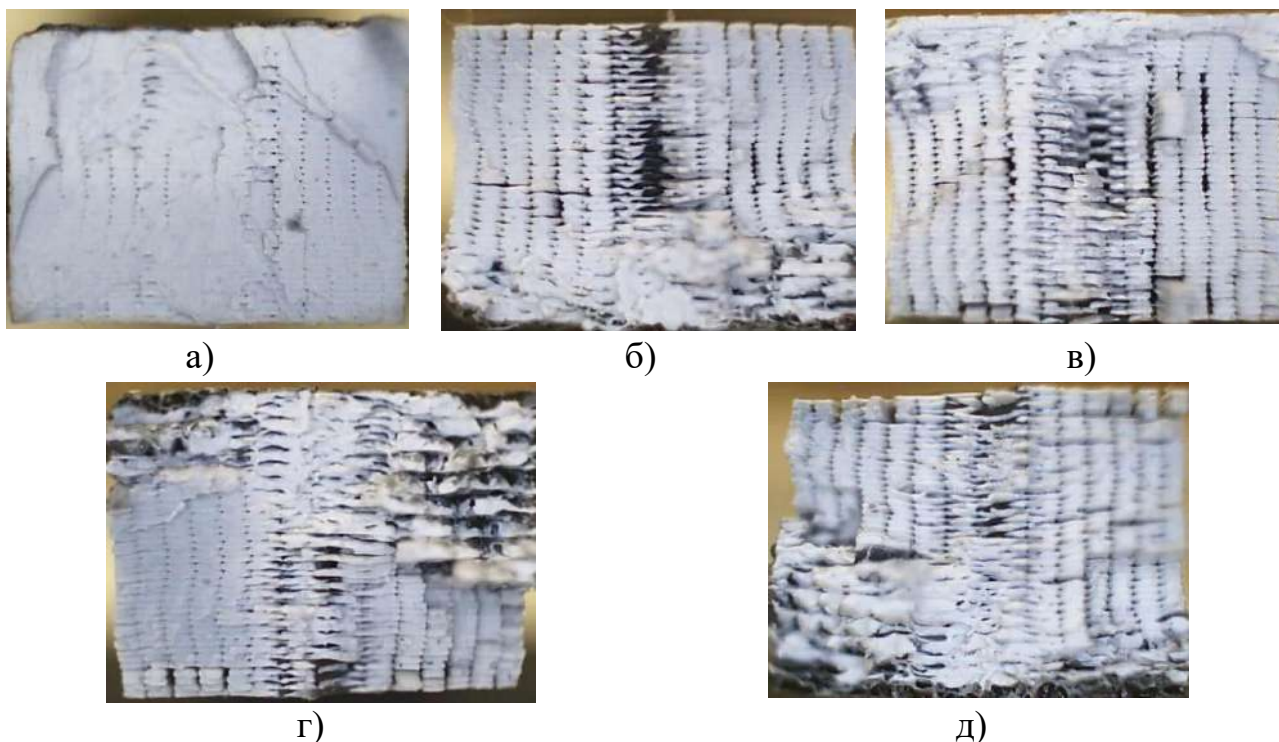
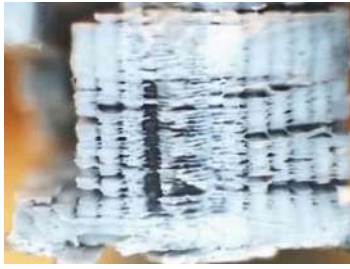
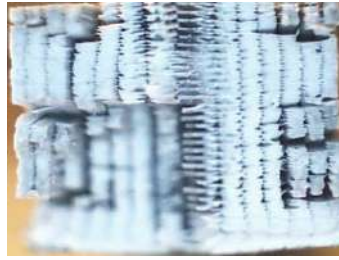


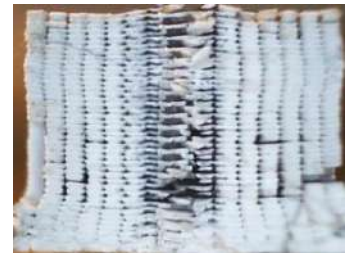
Рисунок 3.9 – Структура матеріалу, залежно від швидкості друку:
15 мм/с(а); 30 мм/с (б); 45 мм/с (в); 60 мм/с (г); 80 мм/с (д)



а)



б)



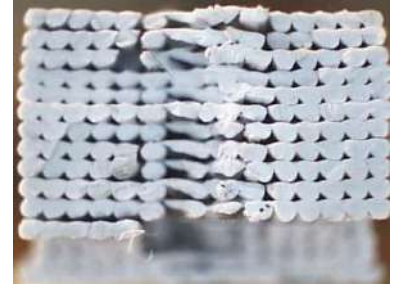
в)



г)

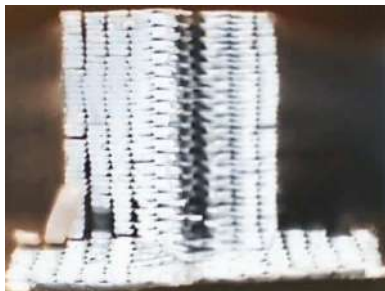


д)



е)

Рисунок 3.10 – Структура матеріалу, залежно від висоти шару: 0,03 мм(а); 0,06 мм (б); 0,1 мм (в); 0,2 мм (г); 0,25 мм (д); 0,3 мм(е)



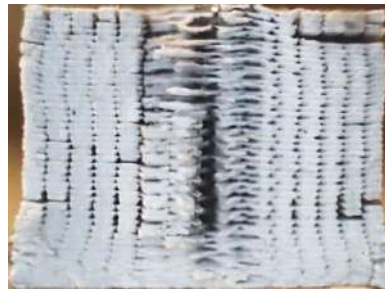
а)



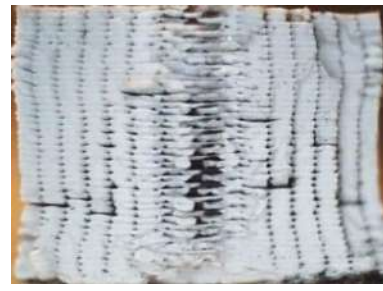
б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



і)

Рисунок 3.11 – Структура матеріалу залежно від коефіцієнта подачі: 0,9 (а); 0,925 (б); 0,95 (в); 0,975 (г); 1,0 (д); 1,025(е); 1,05 (ж); 1,075 (з); 1,1 (і)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ

Арк.

47

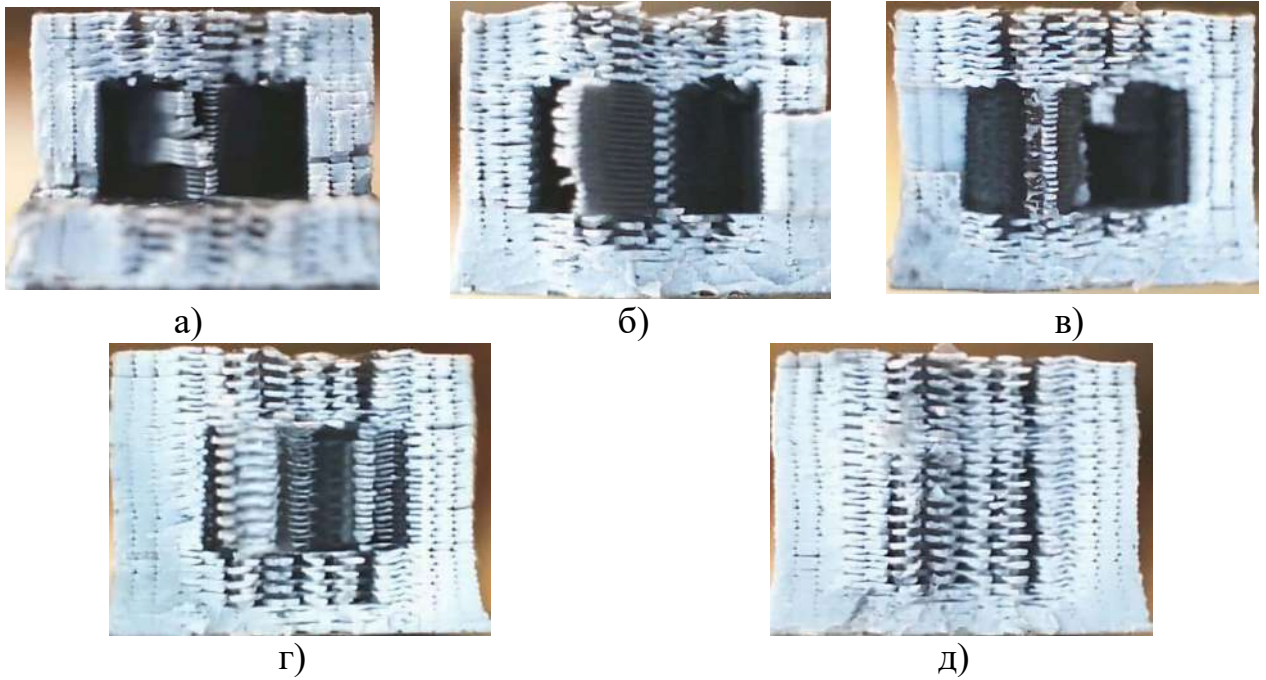


Рисунок 3.12 – Структура матеріалу залежно від відсотка заповнення: 20% (а); 40% (б); 60% (в); 80% (г); 100% (д)

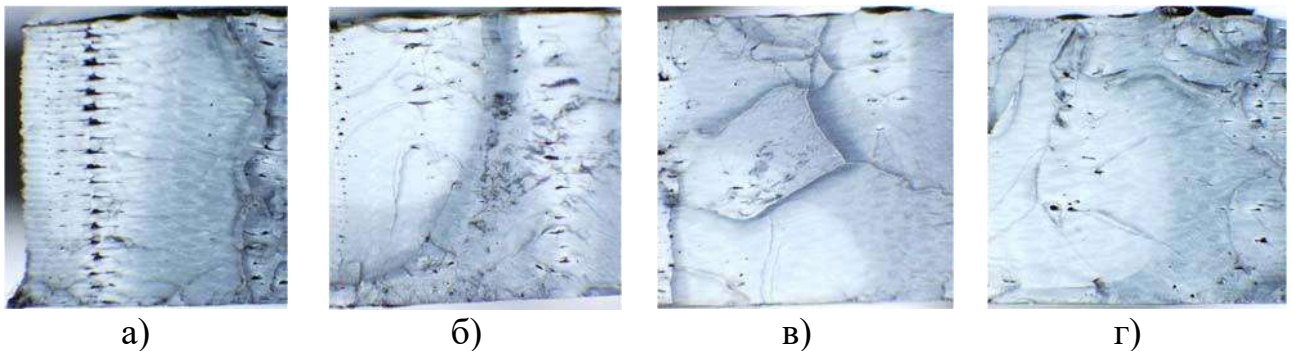


Рисунок 3.13 – Структура матеріалу, залежно від температури екструзії: 240 ° C (а); 250 ° C (б); 260 ° C (в); 270 ° C (г)

Таким чином, формування структури деталі, виготовленої за допомогою адитивних технологій, можливе при проектуванні завдання. При цьому слід враховувати технологічні особливості процесу 3D-друку: параметри, що впливають на структуру всієї деталі в цілому, та параметри, що змінюють лише певні елементи деталі. Грамотний підбір цих параметрів дозволить створювати деталі з необхідними властивостями з високою часткою повторюваності.

3.2. Визначення пружних характеристик матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D-друку

При перевищенні допустимих значень динамічних навантажень деталі дорожніх машин можуть ушкоджуватися. У зв'язку з цим необхідно визначити вплив технологічних режимів 3D-друку на в'язкопружні властивості пластмасових деталей машин, отриманих адитивними методами.

Для визначення в'язкопружних характеристик пластмасових деталей на 3D-принтері Magnum Creative 2 Pro були надруковані зразки з габаритними розмірами $50 \times 15 \times 10$ мм. Режими друку наведено у таблиці 3.1.

У процесі підготовки завдання на друк зразки мали дві різні орієнтації у просторі на платформі 3D-принтера (рисунок 3.14). Це було необхідно для отримання різного розташування шарів у зразку.

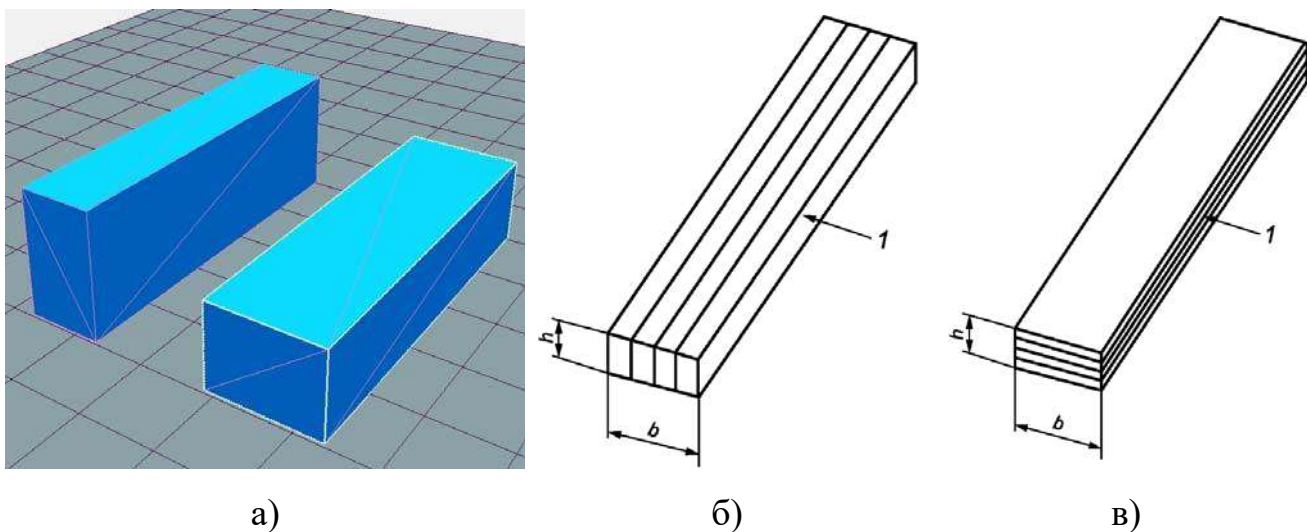


Рисунок 3.14 – Орієнтація зразків: під час друку (а); при ударі в ребро перпендикулярно шарам (б); при ударі в ребро паралельно шарам (в); 1 - напрям удару; h – висота зразка; b – ширина зразка

При виборі комбінацій параметрів друку враховувалися результати проведених раніше випробувань. Виготовлені зразки були поділені на 3 групи.

Перша група – контрольні зразки. Друга група – зразки, витримка яких здійснювалася 30 діб за температури -30°C у морозильній камері (рис. 3.15, б). Третя група – зразки, витримка яких здійснювалася 30 діб за нормальної температури -50°C кріостаті (рис.3.15, а).



а)



б)

Рисунок 3.15 – Кріостат LOIPFT-311-80 (а) та морозильна камера PozisFH-258-1 (б)

Випробування на ударну в'язкість проводились на маятниковому копре Testsystems ТСКМ-300 (рис. 3.16) відповідно до вимог ГОСТ 4647-2015 «Пластмаси. Методи визначення ударної в'язкості по Шарпі» [26].



а)



б)

Рисунок 3.16 – Копер маятниковий ТСКМ-300(а) та зразок, встановлений на опори копра (б)

За результатами аналізу отриманих значень ударної в'язкості можна зробити такі висновки. Висота шару незначно впливає зміну ударної в'язкості. Збільшення швидкості друку призводить до зменшення значень ударної в'язкості. Малий відсоток заповнення (до 40%) призводить до збільшення ударної в'язкості, відсоток заповнення рівний 60-80% зменшує ударну в'язкість, а максимальна ударна в'язкість досягається при 100% заповненні. Максимальні значення ударної в'язкості при зміні коефіцієнта подачі було отримано за його значення дорівнює 1,0. Значення коефіцієнта, відмінні від 1,0, призводять до зниження ударної в'язкості. При цьому ударна в'язкість зразків з коефіцієнтами подачі 1,05 та 1,1 вище, ніж у зразків з коефіцієнтами подачі 0,9 та 0,95.

Вплив на зразки негативних температур (-30°C, -50°C) призводить до зниження ударної в'язкості. Насамперед це пов'язано з охрупчуванням пластмас. Зниження температури має на пластмаси неоднозначний вплив. Так, для деяких зразків ударна в'язкість при -50°C більша, ніж при -30°C.

Отримані результати випробувань можна застосовувати для призначення оптимальних режимів 3D-друку з метою досягнення необхідних показників міцності деталей. Використання певної структури заповнення дозволить створити деформовані елементи, які можна використовувати як при ремонті, так і при виготовленні деталей дорожніх машин.

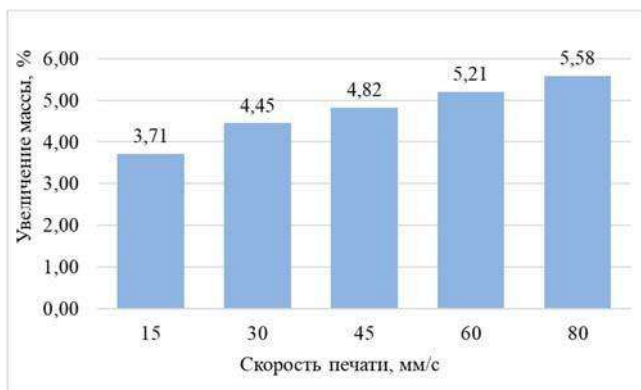
3.3. Визначення впливу технологічних параметрів друку на експлуатаційні властивості пластмасових деталей дорожніх машин

Пластмасові деталі дорожніх машин у процесі експлуатації можуть зазнавати тривалого впливу робочих середовищ (води, масла та ін.), а також додатковий вплив мають протижеледні реагенти в зимовий період. Все це негативно впливає на технічний стан деталей дорожніх машин.

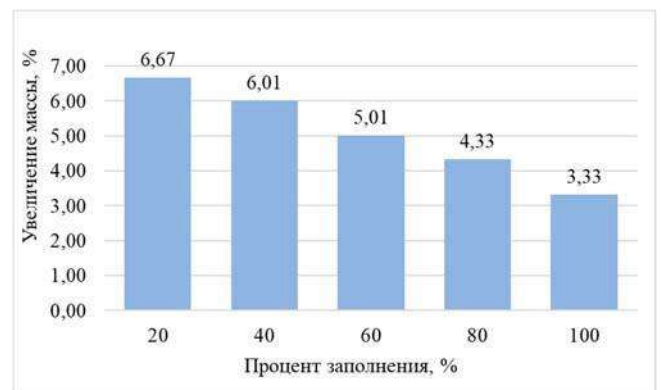
3D-друк пластмасових деталей дорожніх машин може здійснюватися з

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

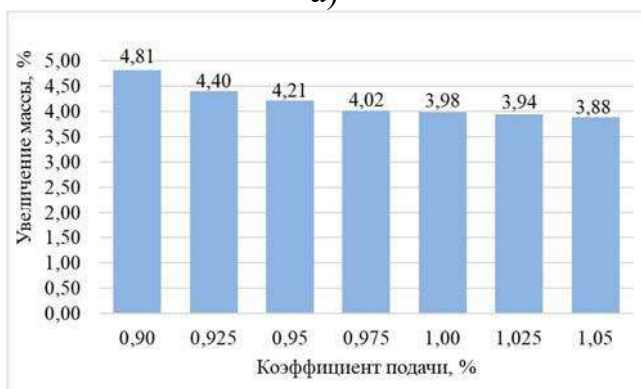
різними технологічними режимами. Залежно від цих режимів формується структура виробу. У свою чергу структура виробу впливає на вологопоглинання матеріалу. Крім вологи в структуру деталі може потрапляти й різні домішки, зокрема й хімічні протиожеледі реагенти, що у великій кількості на дорогах. Саме тому необхідно досліджувати вплив технологічних параметрів друку на водопоглинання, а також хімічну стійкість до реагентів. Зразки, надруковані з різними режимами (див. таблицю 3.1), перед початком випробувань були зважені на терезах, потім занурені у ємність з водою. Витримка зразків становила 90 діб. Після закінчення терміну витримки зразки були витягнуті з води і витримувалися на відкритому повітрі протягом доби при температурі +20°C для просушування зовнішньої поверхні. Результати зміни маси зразків у відсотковому співвідношенні представлені на рисунку 3.17.



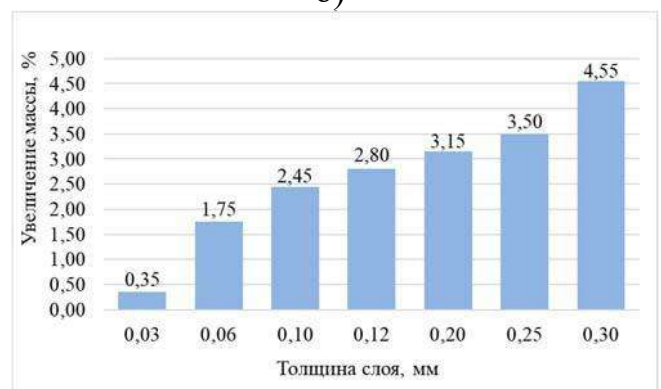
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.17 – Зміна водопоглинання зразків залежно від технологічних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); б) - відсотка заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, %(в); висоти шару, мм(г) води:

Такі закономірності у зміні водопоглинання зразків, виготовлені Ви можете пояснити впливом параметрів друку на структуру матеріалу (див. розділ 3.1).

Перед початком та наприкінці проведення експерименту було вивчено структуру зразків (рис. 3.18).

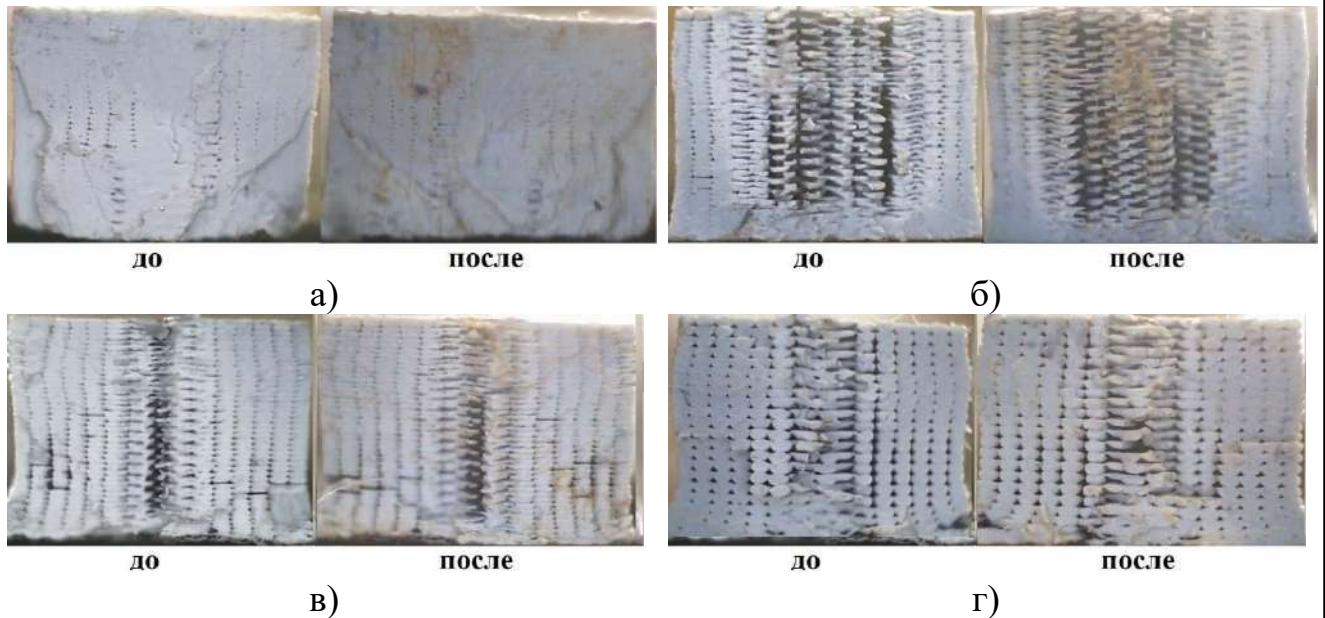


Рисунок 3.18 – Вплив хімічного середовища на структуру матеріалу залежно від різних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); відсотка заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, %(в); висоти шару, мм(г)

Отримані результати показали, що структура зразка з ABS-пластику не змінюється під впливом протижеледного реагенту, який застосовується в зимовий період на дорогах загального користування. Щодо стійкості до інших хімічних речовин, що використовуються у машинобудуванні (паливо, моторне масло, охолоджувальна рідина, рідина омивача фар) слід користуватися довідковими даними щодо матеріалу для 3D-друку.

3.4. Випробування міцності з'єднань пластмасових деталей, надрукованих за допомогою адитивних технологій

Використання 3D-принтера з невеликою робочою зоною при друку виробів дорожніх машин, габарити яких перевищують область побудови 3D-принтера, призводить до необхідності поділу моделі на трохи менші за розмірами частин. Після завершення друку окремі частини необхідно з'єднати між собою в єдину деталь. У тому випадку, коли призначення цієї деталі є виключно демонстраційним, то вимоги пред'являються насамперед до зовнішнього вигляду виробу. При друку функціональних виробів дорожніх машин велике значення мають характеристики з'єднання частин виробу між собою.

Існує кілька методів з'єднання пластмасових деталей між собою: зварювання гарячим повітрям з подачею присадного прутка та склеювання. Гвинтові з'єднання у цій роботі не розглядаються.

Зварювання гарячим повітрям є одним із найпоширеніших способів з'єднання пластмасових виробів між собою. Цей спосіб полягає в місцевому розігріві матеріалу деталей потоком гарячого повітря та одночасною подачею присадного матеріалу в зону пайки. Розплав присадного прутка проникає в розігрітий матеріал деталей і при охолодженні з'єднує їх між собою. Невисока вартість обладнання та низька трудомісткість процесу є основними перевагами цього способу. До недоліків можна віднести високі вимоги до кваліфікації виконавця для отримання якісного з'єднання, ймовірність внесення потоком гарячого повітря сторонніх частинок у розплав, а також велику зону термічного впливу на деталях, що з'єднуються.

Часто склеювання термопластів здійснюють за допомогою органічних розчинників. В результаті обробки поверхні розчинником відбувається їх розм'якшення. З'єднання здійснюється шляхом докладання незначного зусилля до

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

деталей. Витримка у фіксованому положенні має проводитися до утворення твердого поверхневого шару. Перевагами склеювання є можливість з'єднання тонкостінних виробів, економічність витратних матеріалів, відсутність дорогого обладнання, широка номенклатура органічних розчинників. Однак, цей спосіб не позбавлений недоліків: тривалий час затвердіння, токсичність розчинників, вплив розчинників на структуру деталей, що склеюються.

Пропонований у цій роботі спосіб з'єднання надрукованих деталей 3D-зварювання заснований на використанні можливостей 3D-принтера і полягає в наступному. Деталі, що з'єднуються, розміщуються в робочій зоні 3D-принтера і фіксуються. Потім програмними засобами визначаються координати та траєкторія руху друкуючої голівки по майбутньому зварному шву. Розраховується кількість матеріалу, необхідного для заповнення шва, а також вибирається швидкість переміщення друкувальної голівки. Виготовляється попередній підігрів деталей для мінімізації температурних напруг у матеріалі. Після цього здійснюється 3D-зварювання деталей.

Для визначення міцності з'єднань були надруковані на 3D-принтері Magnum Creative 2Pro половини зразків габаритними розмірами 110×30×3 мм. Для порівняння також були виготовлені цільні зразки контрольні габаритними розмірами 200×30×3 мм. Режими друку наведено у таблиці

3.3. З'єднання половин зразків між собою представлені на рисунку 3.19.

Таблиця 3.3 – Параметри друку зразків для випробувань міцності з'єднань

Параметри	Значення
Швидкість друку, мм/сек	45
Заповнення, %	100
Висота шару, мм	0,12
Температура екструдювання, °C	235
Матеріал	ABS
Діаметр сопла, мм	0,4

Отримані після друку зразки були механічно оброблені (зроблені фаски на

торцях, що з'єднуються) і потім з'єднані попарно трьома різними способами: 3D-зварюванням, зварюванням нагрітим повітрям і склеюванням.

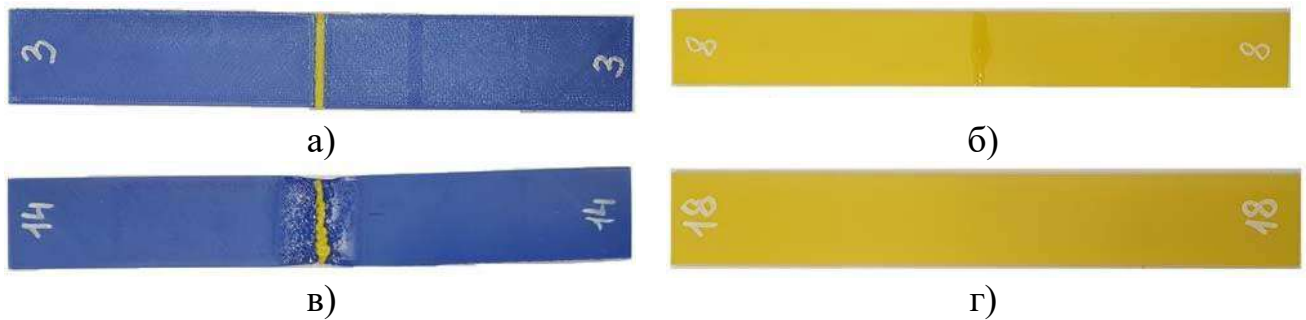


Рисунок 3.19 – Зразки, з'єднані 3D-зварюванням (а), склеєні (б), зварені нагрітим повітрям (в), цілісні (г)

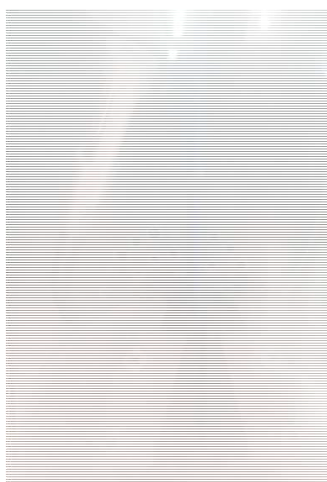
У таблиці 3.4 наведено параметри режимів з'єднання. З'єднання деталей здійснювалося за кімнатної температури навколишнього середовища.

Таблиця 3.4 – Параметри режимів з'єднання зразків

Спосіб з'єднання	Параметр режиму з'єднання	Значення параметра
Зварювання нагрітим повітрям	температура повітря, °C	300
	витрата повітря, л/хв	250
	діаметр присадного прутка, мм	1,75
Склеювання органічним розчинником	тип органічного розчинника	ацетон
	час витримки в розчиннику, с	30
	зусилля з'єднання не більше, Н	100
3D зварювання	температура екструзії, °C	235
	швидкість друку голівки, мм/хв	10
	довжина присадного матеріалу, мм	60
	температура підігріву деталей, °C	105

Оскільки умови експлуатації дорожніх машин можуть значно відрізнятися залежно від географічного розташування, то експеримент проводився за трьох різних температур: $+20^{\circ}\text{C}$, -30°C , -50°C . Для визначення впливу негативних температур на характеристики міцності з'єднань, отримані зразки були розділені на три групи. Кожна з груп зразків витримувалася протягом 30 діб за певної температури. Перша групи – контрольна температура витримки $+20^{\circ}\text{C}$ (кімнатна температура). Другу групу зразків було поміщено в морозильну камеру PozisFH-258-1 з температурою -30°C (низька температура). Третя партія зразків була завантажена в криостат LOIPFT-311-80 із температурою -50°C .

Після закінчення витримки, зразки були випробувані на розтяг на іспитовій машині УТС-110М-50 з використанням системи температурних вимірювань СТІ ТС 3 (рис. 3.20). Використання даної температурної системи дозволяє забезпечити необхідну температуру та підтримувати її у процесі випробувань.



а)



б)



в)

Рисунок 3.20 – Проведення випробувань на розтяг зразків з'єднань деталей: зразок, встановлений у захватах при температурі -30°C (а); панель управління СТІ ТС 3 (б); проведення випробувань на УТС-110М-50(в)

Випробування на розтяг зразків із пластмас, отриманих методом 3D-друку, проводилися відповідно до вимог ГОСТ 11262-2017 «Пластмаси. Метод випробувань на розтяг». Швидкість переміщення захватів випробувальної машини

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

при випробуваннях становила 2 мм/хв. Результати випробувань наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Результати випробувань міцності на розтягування зразків з різними способами з'єднання при +20°C, -30°C і -50°C

Спосіб з'єднання	Характеристики міцності з'єднань								
	Межа міцності, МПа			Модуль пружності, МПа			Відносна деформація при руйнуванні, %		
	+20°C	-30°C	-50°C	+20°C	-30°C	-50°C	+20°C	-30°C	-50°C
3D-зварювання	16,454	39,801	29,272	548,96	781,06	454,385	3,4	4,1	7,3
Зварювання нагрітим повітрям	1,794	13,65	17,521	622,38	752,69	473,925	0,3	1,6	3,45
Склеювання	11,456	22,026	23,258	445,81	725,66	514,11	2,4	2,25	4,5
Контрольні зразки	28,353	56,343	52,81	607,06	880,86	532,98	6,1	5,75	10,8

Як впливає з результатів випробувань, негативні температури в цілому зміцнюють вплив на з'єднання пластмасових деталей. Запропонований спосіб з'єднання 3D-зварюванням відрізняється найбільшою міцністю при розтягуванні порівняно з традиційними способами з'єднання. Немаловажну роль відіграє відносно низький вплив людського фактора на якість зварного з'єднання.

Зона руйнування зразків змінювалася залежно від типу з'єднання. Склеєні зразки завжди руйнувалися за місцем склеювання. Зварені нагрітим повітрям руйнувалися межі «зразок – присадочний матеріал». Для зразків, з'єднаних методом 3D-друку, зона руйнування зміщувалась у бік місця з'єднання і проходила по основному матеріалу зразка. Цілісні зразки завжди руйнувалися в довільній області між захватами машини. При цьому, руйнування мало «осколковий» характер – зразок руйнувався на кілька великих частин та безліч дрібних частинок.

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ

4.1. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей

Витратним матеріалом для FDM 3D-друку є полімерна нитка, що називається філаментом. Як правило, філамент крім основного матеріалу містить наповнювачі, що забезпечують різні фізико-механічні властивості, в тому числі колір, пластичність та міцність. В даний час на ринку витратних матеріалів представлено велику різноманітність філаментів, що відрізняються матеріалом і функціональним призначенням виробів, що виготовляються.

У разі відсутності готового філаменту для 3D-друку можна його виготовити. Для цього використовуються спеціальні екструдерні лінії, призначені для одержання філаменту каліброваного діаметра. Технологічний процес створення філаменту для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин представлений на рисунку 4.1.

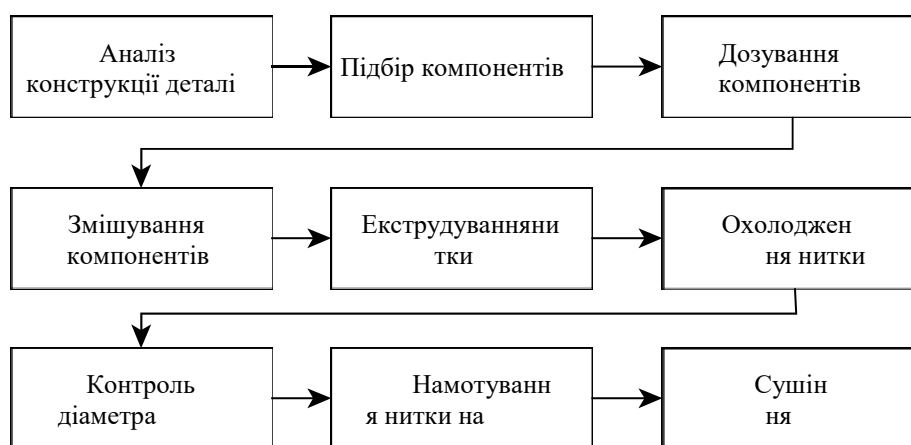


Рисунок 4.1 – Схема операцій технологічного процесу виготовлення філаменту для 3D-друку

Аналіз конструкції деталі проводиться з метою визначення марки матеріалу,

умов роботи та діючих навантажень. Умови роботи визначаються залежно від функціонального призначення та розташування деталі в конструкції дорожньої машини. Навантаження, що діють на деталь, також визначаються схемою закріплення деталі та функціональним призначенням. Залежно від раніше визначених параметрів здійснюється підбір компонентів ПКМ за допомогою програми автоматизованого вибору. Компоненти дозуються відповідно до розрахованих масових частин. Для дозування компонентів можна використовувати дозатори різної конструкції, наприклад, вагові (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Дозатор сипучих матеріалів ваговий MAGIKON WA100



Рисунок 4.3 – Лінія для екструзії філаменту

Змішування компонентів здійснюється з використанням спеціальних

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

міксерів. Безпосереднє виготовлення полімерної нитки проводиться на спеціальних екструдерних лініях, що дозволяють виконувати послідовно кілька операцій: екструдування; охолодження; сушіння; контроль діаметра нитки та намотування на котушки (рис. 4.4).

Найбільш важливими параметрами є температура розплаву та тиск. Тиск необхідно контролювати для сталості якості нитки, що екструдується через фільтру: якщо тиск буде непостійним у часі, діаметр філаменту також матиме відхилення. Температура контролюється в декількох частинах екструдера для визначення в'язкості розплаву полімеру, а також визначення швидкості екструдування.

Охолодження полімерної нитки здійснюється під час проходження нитки через ємності, заповнені водою. Температура води контролюється та підтримується постійне її значення. На виході з ванни з водою нитка обдувається потоком повітря для первинного сушіння перед контролем діаметра.

Контроль діаметра філаменту здійснюється безконтактними методами вимірювання. Найбільш поширеним методом є вимірювання лазерними тіньовими датчиками (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Лазерний вимірник діаметра EAST ALPHA LST-25
Даний принцип вимірювання заснований на тому, що пруток, що вимірюється, розташовується між випромінюючим лазерним променем та

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

фоточутливою матрицею. Лазерний пучок, проходячи через систему лінз, утворює прямокутний однонаправлений пучок світла. Оскільки філамент розташовується між випромінювачем та приймачем, він відкидає тінь на матрицю приймача. Процесор системи вимірювання розраховує значення діаметра контрольованого об'єкта за площею тіні, що відкидається об'єктом. Для більшості 3D-принтерів застосовується філамент діаметром 1,75 мм із граничним відхиленням $\pm 0,03$ мм.

Перед намотуванням на котушки полімерна нитка проходить через механізм протяжки, який більшою мірою визначає діаметр майбутньої нитки. Далі нитка заправляється в намотник і проводиться її намотування на котушки.

Після намотування котушки з полімерною ниткою відправляються в сушильну шафу для остаточного сушіння. Температура сушіння для філаменту з різних матеріалів наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Температура сушіння різних матеріалів

Найменування полімеру	Температура, °C
Акрилонітрилбутадіаенстірол (ABS)	75 ... 85
Поліпропілен (PP)	65 ... 80
Поліетилен (PE)	65 ... 80
Полікарбонат (PC)	100 ... 120
Полівінілхлорид (PVC)	65 ... 80

Після закінчення сушіння котушки з філаментом можуть бути одразу використані для друку або при необхідності тривалого зберігання упаковуються у вакуумні упаковки.

4.2. Технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин в залежності від типу відновлюваної деталі та типу дефекту

Пропонована технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин полягає у відновленні працездатності виробів з використанням методів 3D-друку. Як відомо (див. розділ 1.3), деталі в процесі експлуатації ушкоджуються і можуть бути втрачені окремі елементи. На рисунку 4.8. представлено блок-схему технології ремонту пластмасових деталей з неповною комплектністю.

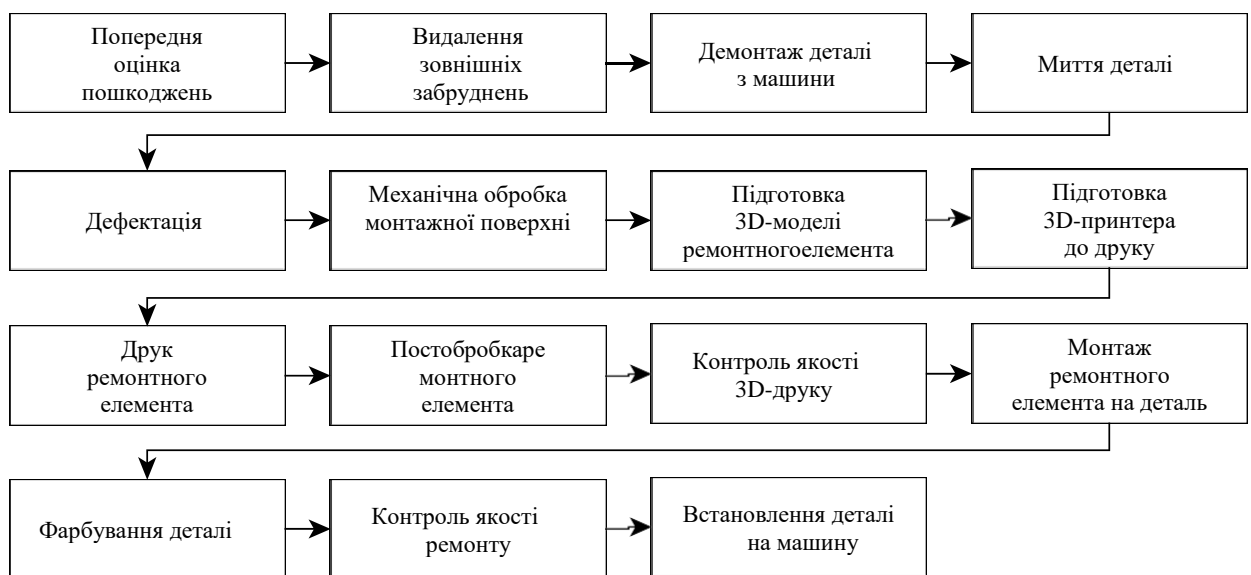


Рисунок 4.5 – Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням адитивних технологій

Відповідно до запропонованої технології, ремонт пластмасових деталей починається з попередньої оцінки пошкоджень деталі на машині. На цьому етапі вивчається конфігурація деталі, способи її кріплення, що діють у процесі експлуатації навантаження. Якщо деталь було демонтовано раніше або пошкоджено її кріпильні елементи, деталь оглядається вже окремо від машини. Якщо на деталі є сильні зовнішні забруднення, їх необхідно видалити за допомогою існуючих методів миття (наприклад, миття під тиском).

Наступним етапом є демонтаж пошкодженої деталі з машини. При цьому слід звернути увагу на наявність окремих кріпильних елементів, які могли залишитись на машині внаслідок руйнування деталі. При виявленні таких елементів слід оцінити можливість відновлення деталей з їх використанням.

Після демонтажу деталь вирушає на мийку для видалення всіх слідів експлуатаційних забруднень. Після закінчення миття потрібно провести сушіння деталі для видалення води з поверхні. Цю операцію можна виконати шляхом обдування деталі стисненим повітрям.

Дефектація деталі проводиться з метою встановлення точного переліку дефектів, їх типу, розміру та розташування. Вона виконується візуально або із застосуванням вимірювальних інструментів, якщо вони потрібні. У процесі дефектації проводиться вивчення маркувань деталі. Це необхідно виконувати з кількох причин. Перша причина полягає у складанні бази ремонтних елементів, а також визначенні номенклатурного артикула деталі, що ремонтується. Друга причина полягає у визначенні матеріалу деталі, оскільки від цього залежить правильний підбір матеріалу філаменту. Перелік встановлених дефектів, а також матеріал деталі вноситься до карти дефектації [46; 71].

Далі необхідно механічно підготувати поверхню деталі під майбутній ремонтний елемент. Підготовка виконується за допомогою пневматичного абразивного або ріжучого інструмента. При цьому слід бути уважним та не перегрівати деталь шляхом тривалої обробки. Режими механічної обробки вибираються залежно від матеріалу деталі [14].

3D-модель ремонтного елемента виробу, що відновлюється, створюється в будь-якій системі автоматизованого проектування типу Autocad 3D, SolidWorks, КОМПАС-3D і т.д. При моделюванні слід враховувати коефіцієнт усадки матеріалу та подальшу постобробку, так це вплине на дійсні розміри надрукованого виробу. Поправка на усадку матеріалу і припуск на механічну обробку визначається масштабуванням моделі по кожній з трьох осей. Після того,

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

як 3D-модель готова, її необхідно зберегти у форматі, що сприймається програмою для підготовки завдань друку (STL).

Для друку ремонтного виробу насамперед необхідно підготувати завдання друку. Для цього файл 3D-моделі у форматі STL завантажується в програму-слайсер. Вибирається оптимальна орієнтація виробу в просторі та задається опорна поверхня, яка буде базою для побудови всієї деталі. При виборі розташування деталі на столі 3D-принтера слід прагнути: до мінімізації структур, що нависають (елементів моделі які «висять» у повітрі і не мають під собою опори); до вибору як базової площини поверхня

моделі із найбільшою площею; до відсутності отворів із горизонтально розташованими осями. Режими друку визначаються через програму автоматизованого призначення режимів друку (див. розділ 2).

Після створення завдання друку необхідно підготувати 3D-принтер до друку. Підготовка полягає у завантаженні філаменту, калібруванні столу та обробці столу складами, що збільшують адгезію першого шару матеріалу до поверхні столу [89]. Завантаження філаменту та калібрування столу здійснюється відповідно до посібника з експлуатації використовуваного 3D-принтера. Калібрування столу є важливим етапом у підготовці 3D-принтера до друку, оскільки саме від цього залежить якість першого шару і всієї деталі в цілому. Як правило, калібрування столу зводиться до виставлення площини столу паралельно площині руху друкувальної голівки. Нанесення адгезійного складу на поверхню столу дозволяє забезпечити гарне прилипання полімеру до столу та мінімізувати жолоблення деталі в процесі друку. Як такий склад застосовують розчини,

Друк ремонтного виробу повинен здійснюватися за постійних режимів друку, що визначаються на стадії підготовки завдання на друк. Для друку бажано використовувати 3D-принтер із зоною друку закритого типу, оскільки це дозволяє мінімізувати температурну деформацію надрукованого виробу. Наприкінці друку виріб повинен охолонути разом зі столом 3D-принтера. Після повного остигання

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

необхідно зняти надрукований ремонтний елемент із поверхні столу 3D-принтера

Після закінчення друку ремонтного елемента необхідно провести його постобробку з метою отримання заданої якості поверхні та видалення матеріалу підтримуючих структур. Постобробка повинна проводитись у три етапи. Перший етап полягає у видаленні матеріалу підтримуючих структур. Залежно від того, який матеріал використовувався для підтримки, буде варіюватися спосіб їх видалення. Якщо підтримки виготовлялися з того ж матеріалу, що й основна деталь, видалити їх можна тільки механічно. При виготовленні підтримуючих структур з матеріалу, що відрізняється від основного матеріалу,

їх видалення можна здійснити хімічно шляхом занурення деталі в ємність зі спеціальним розчинником матеріалу підтримують структур. Другий етап полягає в механічній обробці деталі з метою зниження шорсткості зовнішніх шарів. Ця обробка проводиться абразивним інструментом, наприклад, наждачним папером з різною зернистістю в порядку зниження розміру зерен абразиву. Третій етап постобробки полягає у хімічній обробці ремонтного виробу. Прикладом такої обробки може бути витримка в ацетоновій бані виробів, надрукованих з пластику ABS.

У технологічному процесі ремонту передбачається контрольна операція після проведення постобробки. Метою цієї операції є встановлення відповідності одержаної просторової геометрії ремонтного елемента заданим технічним вимогам. Контроль може здійснюватися як за допомогою універсальних вимірювальних інструментів (мікрометрів, нутромірів, штангенциркулів тощо), так і за допомогою методів сканування геометрії виробу 3D-сканерами (рис. 4.9).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66



Рисунок 4.6 – 3D-сканер RangeVision Spectrum

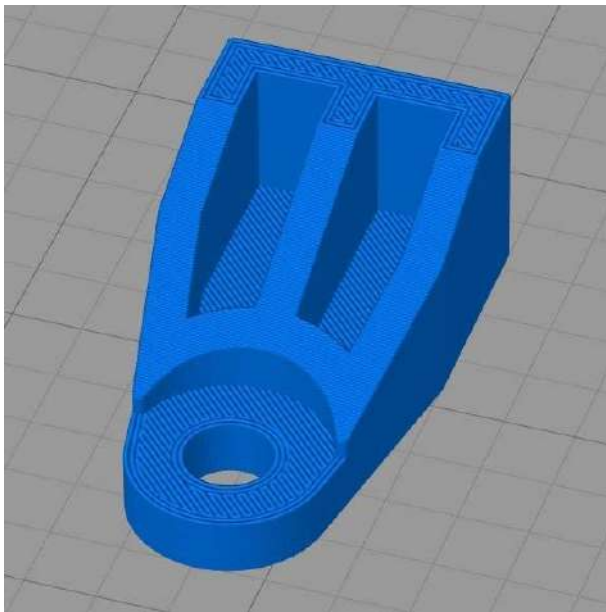
У разі відповідності ремонтного елемента технічним вимогам, він монтується на деталь, що відновлюється. Перед початком монтажу поверхні, що з'єднуються, знежирюються. Перш ніж проводити знежирення необхідно переконатися, що знежирювач хімічно нейтральний до матеріалу деталей. Знежирювач наноситься на чисту бавовняну тканину і нею обробляються поверхні. Після обробки необхідно почекати деякий час для того, щоб з поверхні деталей зникли сліди знежирювача. Потім ремонтний елемент встановлюється на попередньо підготовлений монтажний майданчик деталі та фіксується у необхідному положенні.

Завершальний контроль якості здійснюється за допомогою вимірювальних інструментів та спеціального обладнання (наприклад, 3D-сканера). Якщо проведений ремонт виконано якісно, проводиться монтаж відремонтованої деталі на машину відповідно до інструкцій заводу-виробника.

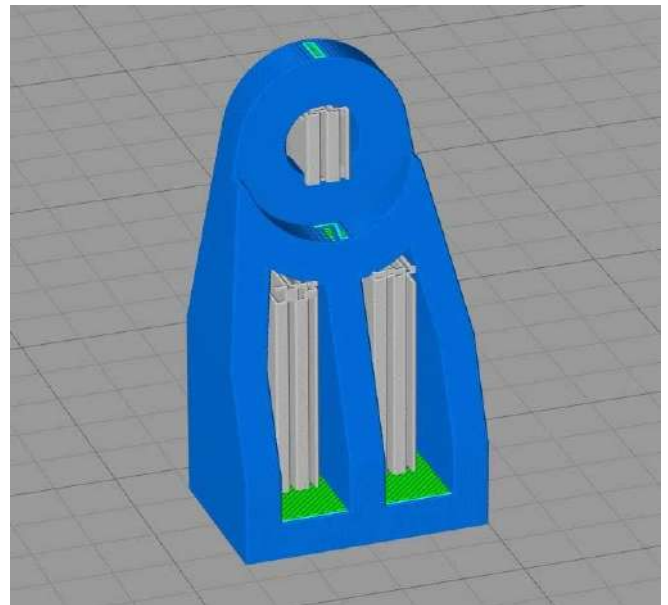
					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

4.3. Способи створення отворів та різьбових поверхонь у деталях дорожніх машин, виготовлених методами 3D-друку

На відновлюваних деталях дорожніх машин здебільшого присутні як гладкі отвори, так і з різьбленням, які у разі пошкодження необхідно відновлювати. При виготовленні методами 3D-друку деталей з гладкими отворами необхідно враховувати розташування цього отвору щодо опорної площини столу. Найбільш бажано розташовувати деталі таким чином, щоб вісь отвору була перпендикулярна площині столу 3D-принтера. У випадку, якщо таке розташування деталі неможливе з будь-яких причин, необхідно використовувати структури, що підтримують. Вони можуть будуватися автоматично або задаватися вручну. На рисунку 4.10 показано розташування деталей на стадії завдання на друк.



а)



б)

Рисунок 4.7 – Виготовлення гладких отворів: без підтримуючих структур (а); з підтримуючими структурами (б)

Різьбові поверхні на пластмасових деталях дорожніх машин можна отримати різьбонарізним інструментом або безпосередньо при 3D-друку. У прикладі показано виготовлення метричної різьблення. Вибір даного типу

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

різьблення обґрунтований його поширенням у різноманітних сполуках.

Друк на 3D-принтерах вимагає попереднього створення 3D-моделі майбутньої деталі. Для цього використовувалася САПР КОМПАС-3D, в якій були змодельовані зразки заготовок для подальшого нарізування різьблення (циліндри та втулки), а також моделі тіл обертання з внутрішніми та зовнішніми різьбовими поверхнями. Розмірні характеристики моделей, використаних в експерименті, наведено в таблиці 4.2. Моделі зразків I та II типів виконання були змодельовані спочатку з різьбовими поверхнями, а моделі III та IV призначені для нарізування різьблення. Розміри стрижнів та отворів під нарізування різьби були обрані відповідно до ГОСТ 11709-81 «Основні норми взаємозамінності. Різьблення метричне для деталей із пластмас» [24].

Таблиця 4.2 – Геометричні розміри моделей

№	Тип виконання	d, мм	P, мм	d1, мм	D1, мм	l, мм	b, мм	S, мм	z×45°
1	I	6	1,0	-	-	20	15	-	1
2		8	1,25	-	-	20	15	-	1,6
3		14	2,0	-	-	20	15	-	2,0
4	II	6	1,0	-	-	20	-	10	1
5		8	1,25	-	-	20	-	13	1,6
6		14	2,0	-	-	20	-	21	2,0
7	III	6	1,0	6	-	20	-	-	-
8		8	1,25	8	-	20	-	-	-
9		14	2,0	14	-	20	-	-	-
10	IV	6	1,0	-	4,95	20	-	10	-
11		8	1,25	-	6,7	20	-	13	-
12		14	1,5	-	11,9	20	-	21	-

На рисунку 4.8 представлено загальний вигляд моделей.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

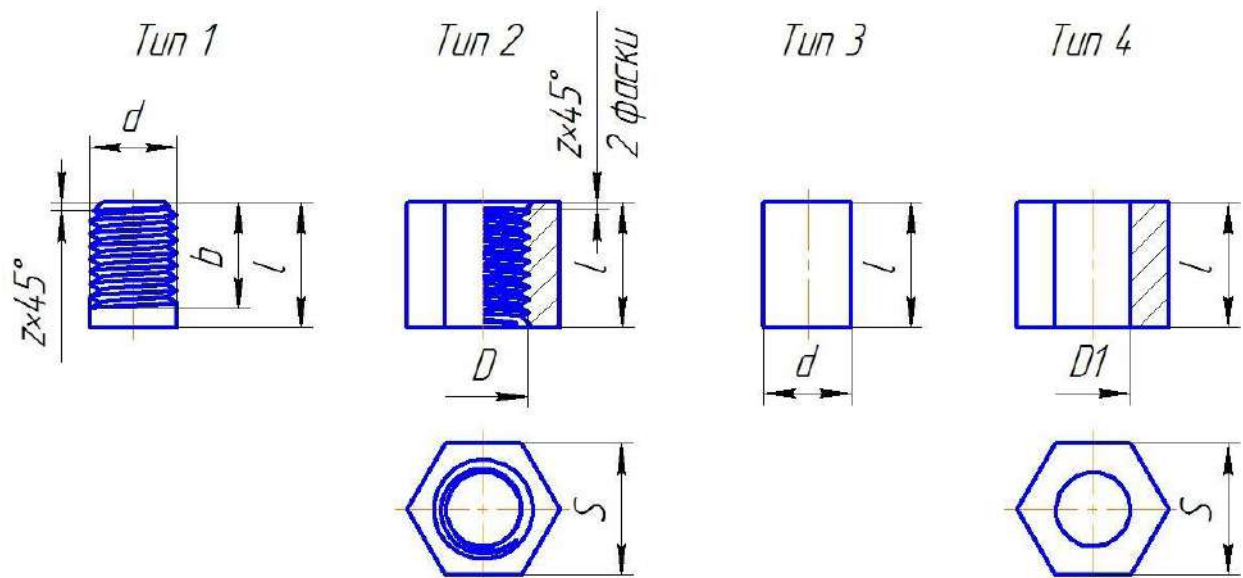


Рисунок 4.8 – Ескізи моделей: d – номінальний діаметр різьблення; P – крок різьблення; d_1 – діаметр стрижня під нарізування різьблення; D_1 – діаметр отвору під нарізування різьблення; l – висота деталі; b - Довжина різьбової частини; S – розмір під ключ; e – діаметр описаного кола; z – фаска

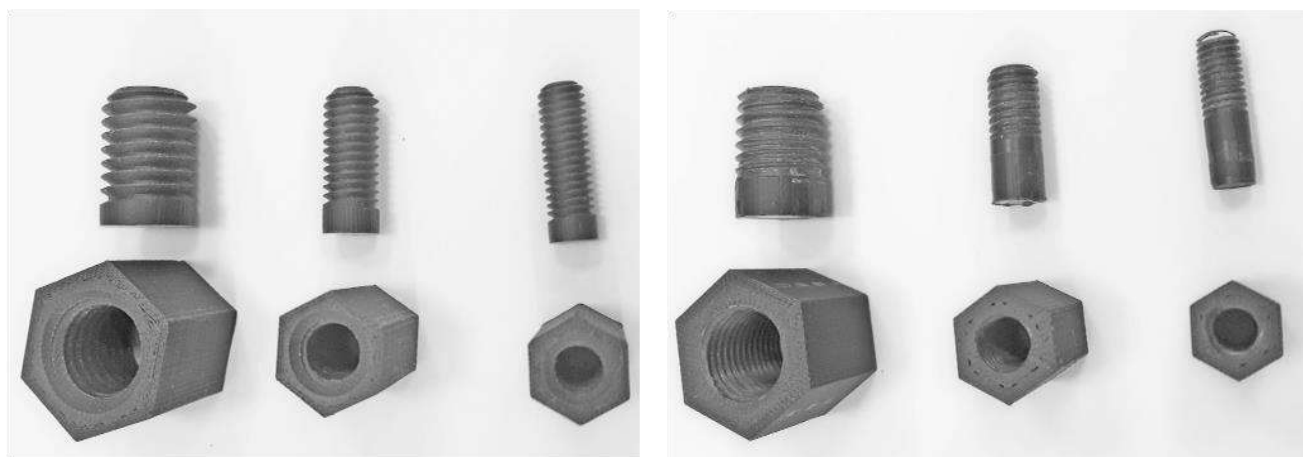
Як і в будь-якому технологічному процесі, у 3D-друку існують різні технологічні режими. Вибір цих режимів здійснюється безпосередньо у програмному забезпеченні 3D-принтера. Зразки моделей розташували таким чином, щоб основна вісь моделі була перпендикулярна до площини друкованого столу. При такому розташуванні одна з граней трикутного профілю різьблення є нависаючою поверхнею. Формування підтримуючих структур було відключено. Для компенсації можливого провисання шарів була обрана висота шару друку 0,09 мм, а також увімкнений обдув деталі, що друкується. Ключові параметри друку наведено у таблиці 4.3.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Таблиця 4.3 – Технологічний режим 3D-друку зразків

Параметр	Значення
Швидкість друку:	30 мм/сек
Температура друку:	235 °С
Температура підігріву столу:	105 °С
Охолодження:	так
Висота шару:	0,09 мм
Заповнення:	100%, концентричні лінії
Модифікатор подачі:	90%
Підтримка:	ні
Діаметр сопла:	0,4 мм

На думку низки вчених для різьбонарізування в пластмасових виробах необхідно застосовувати спеціальний інструмент та спеціальні режими. Це дозволить зменшити тертя різальних кромek інструменту про поверхню заготовки, а також компенсувати пружні явища, що виникають у матеріалі під час різання. В результаті експерименту було отримано такі вироби, загальний вигляд яких представлений на рисунку 4.9.

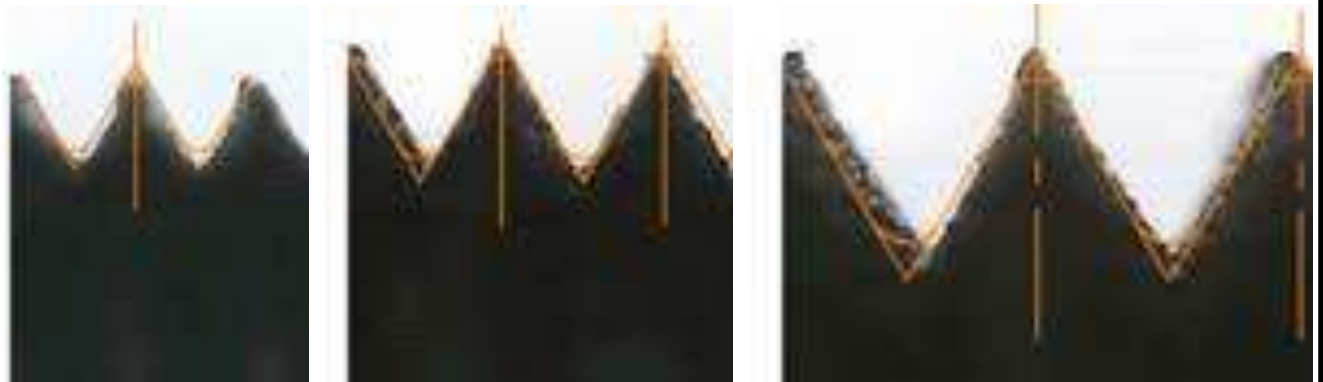


а)

б)

Рисунок 4.9 – Загальний вигляд різьбових поверхонь, одержаних: 3D-друком (а); нарізанням ручним різьбовим інструментом (б)

Для більш детального вивчення отриманих різбових поверхонь моделі були оглянуті під збільшенням (рис.4.10 і 4.11).



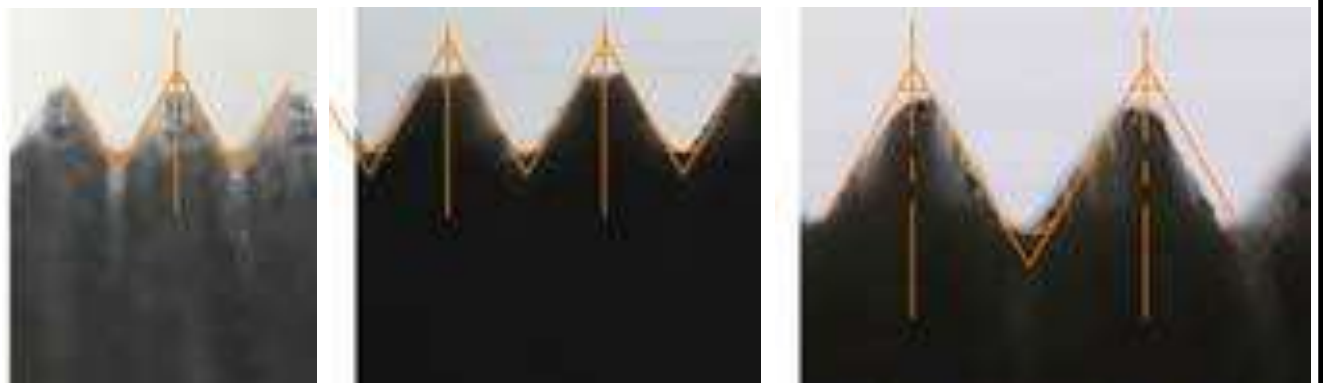
а)

б)

в)

Рисунок 4.10 – Теоретичний та надрукований профілі

різьблення: М6х1(а); М8х1, 25 (б); М14х2 (в)



а)

б)

в)

Рисунок 4.11 – Теоретичний та нарізаний профілі

різьблення: М6х1(а); М8х1, 25 (б); М14х2 (в)

Різьбові поверхні, отримані шляхом 3D-друку, звинувачуються без особливих зусиль, але при цьому мають ряд недоліків. Після проведених досліджень з'ясувалося, що оскільки ABS пластик характеризується об'ємною усадкою, то це впливає на геометричні параметри різьблення. Чим більший крок різьблення, тим більше відхилення. Це чітко видно на рисунку 4.11: при кроці різьблення $P=1$ (рис.4.11.а), профіль різьблення відповідає номінальному, при $P=2$ (рис.4.11в) відбувається зміщення профілю різьблення на величину термічної усадки пластику. Крім того, виявляється такий дефект, як провисання пластику на

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

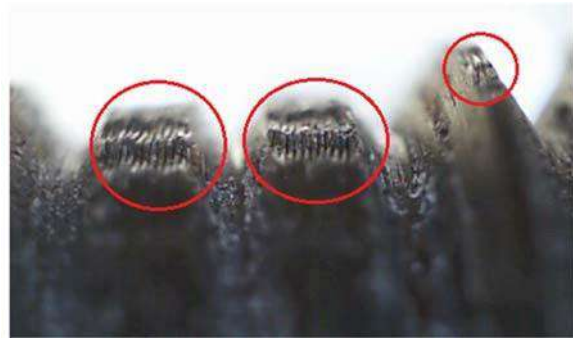
вершинах профілю різьблення внаслідок розташування деталі під час друку.

Для нарізаних різьбових поверхонь будуть справедливі наступні висновки. При нарізуванні зберігається крок різьблення незалежно від величини. Профіль різьблення збігається з номінальним за винятком вершин різьблення. Це відхилення може бути викликане такими причинами:

1. температурними деформаціями матеріалу заготовлі (рис.4.12а);
2. охрупчуванням поверхневих шарів матеріалу заготовки (рис.4.12б).



а)



б)

Рисунок 4.12 – Термічна усадка матеріалу деталі (а); крихтування поверхневого шару деталі (б)

При візуальному огляді було виявлено наявність ушкодження різьблення у вигляді рванин за профілем різьблення, що утворилися при нарізанні різьблення. Також, потрібне значно більше зусилля (порівняно з надрукованими зразками) закручування.

Згідно з отриманими даними, можна зробити такі висновки:

- створення різьбових поверхонь можливе, як за допомогою різьбового інструменту, так і шляхом моделювання профілю різьблення;
- при проектуванні деталі з різьбовими поверхнями слід приділяти особливу увагу положенню осі різьбової поверхні щодо друкарської платформи столу;
- друк різьбових поверхонь можливий навіть без матеріалу підтримки за рахунок малої величини шару друку;
- Нарізання різьблення ручним інструментом вимагає особливої уваги, так

як у разі незначного порушення режиму різання з'являються дефекти.

У цілому нині виготовлення різьбових поверхонь у деталях дорожніх машин методами 3D-печати є більш перспективним проти процесами різання [86]. Становиться можливим отримати різьблення у складно доступних місцях без застосування спеціального інструменту. Необхідно передбачати налаштування друку таким чином, щоб зони деталі з різьбленням виготовлялися з індивідуальним режимом, відмінним від режиму друку основного матеріалу деталі. Це дозволить значно скоротити час друку деталі.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз дефектів пластмасових деталей, причин їх виникнення та існуючих способів ремонту. Встановлено, що традиційні методи ремонту пластмасових деталей не дозволяють повноцінно усунути пошкодження, особливо у разі втрати елементів.

2. Розроблено програму підбору параметрів 3D-друку, що дозволяє проводити призначення параметрів залежно від заданої розрахункової характеристики міцності, а також розраховувати характеристики міцності в залежності від заданих параметрів 3D-друку.

3. Досліджено вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язко-пружні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням 3D-друку.

4. Досліджено вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених з використанням 3D-друку.

5. Проведено дослідження міцності різних способів з'єднання елементів деталей між собою, у тому числі в умовах негативних температур. зниження впливу людського фактора на технологічний процес.

6. Розроблено технологію ремонту пластмасових деталей дорожніх машин з використанням методів 3D-друку.

7. Розроблено рекомендації щодо виготовлення деталей дорожніх машин, що мають отвори, у тому числі з різьбовими поверхнями, з використанням методів 3D-друку.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балашів, А.В. Дослідження міцності виробів, отриманих методом 3D-друку / О.В. Балашов [та ін] // Повзунівський вісник. - 2016. - № 2. - С. 61-64.
2. Баловнєв, В.І. Дорожньо-будівельні машини та комплекси: підручник для вузів/В.І. Баловнєв, Г.В. Кустарєв, Є.С. Лапша. - М.: Сібаді, 2001. - 528 с.
3. Баловнєв, В.І. Аналіз тривалості ремонтно-відновлювальних робіт у системі модернізації дорожньо-будівельної техніки / В.І. Баловнєв, Н.Д. Селіверстів// Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2016. - Т. 7. - С. 44-48.
4. Баурова, Н.І. Підвищення ефективності ремонту машин за рахунок обґрунтування видів та технологічних методів застосування полімерних матеріалів : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Баурова Наталія Іванівна. - М., 2004. - 175 с.
5. Баурова, Н.І. Застосування полімерних композиційних матеріалів під час виробництва та ремонту машин: навчальний посібник / Н.І. Баурова, В.А. Зорін. - М.: Каді, 2016. - 264 с.
6. Баурова, Н.І. Визначення впливу механічної обробки кромки деталей із полімерних композиційних матеріалів на їхню водостійкість / Н.І. Баурова, Іхуанії Р.Ч. // Технологія металів. - 2019. - № 1. - С. 24-28.
7. Баурова, Н.І. Механічна обробка деталей машин із полімерних композиційних матеріалів / Н.І. Баурова, К.А. Макарів// Технологія металів. - 2017. - № 2. - С. 15-19.
8. Бобович, Б.Б. Полімерні конструкційні матеріали: (структура, властивості, застосування) / Б.Б. Бобович. - К.: ФОРУМ: ІНФРА-М, 2017. - 398 с.
9. Васильєва, Ю.І. Економіка: практикум/Ю.І. Васильєва, Є.К. Телушкіна. - 2-ге вид. - К.: Каді, 2019. - 80 с.
10. Волков, С.С. Технологічні особливості ультразвукового зварювання різномірних пластмас/С.С. Волков, Г.А. Бігус, А.Л. Ремізов// Пластичні маси. -

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

2018. - № 7-8. - С. 47-50.

11. Відновлення деталі нагрітим елементом [Електронний ресурс]. – URL: https://live.staticflickr.com/65535/48813051618_36bd823b78_h.jpg (дата звернення: 12.02.2021).

12. Відновлення деталей з армуванням [Електронний ресурс]. – URL: <https://ad-cd.net/6fcbc1u-960.jpg> (дата звернення: 09.02.2021).

13. Відновлення деталі зварюванням нагрітим газом [Електронний ресурс]. – URL: <https://stroy-podskazka.ru/images/article/orig/2020/03/metody-i-tehnologiya-svarki-plastika-5.jpg> (дата звернення: 10.02.2021).

14. Все для ремонту пластмас: Vamperus [Електронний ресурс]. - URL: <http://remont-plastmass.ru/catalog> (Дата звернення: 18.01.2021).

15. Майстер-модель, що виплавляється [Електронний ресурс]. - URL: <https://3d.globatek.ru/images/tasks/cast12s.jpg> (дата звернення: 10.02.2021).

16. ГОСТ 11262-2017 Пластмаси. Метод випробування на розтяг. - К.: Стандартінформ, - 2018. - 24 с.

17. ГОСТ 11709-81 Основні норми взаємозамінності. Різьблення метричне для деталей із пластмас. - К.: Державний комітет СРСР зі стандартів, - 1981. - 14 с.

18. ГОСТ 12020-2018 Пластмаси. Методи визначення стійкості до впливу хімічних середовищ. - К.: Стандартінформ, - 2018. - 28 с.

19. ГОСТ 4647-2015 Пластмаси. Метод визначення ударної в'язкості по Шарпі. - К.: Стандартінформ, - 2016. - 23 с.

20. ГОСТ 4650-2014 Пластмаси. Методи визначення водопоглинання. – К.: Стандартінформ, – 2014. – 19 с.

21. ГОСТ Р 57558-2017 Адитивні технологічні процеси. Основні принципи. Частина 1. Терміни та визначення. – К.: Стандартінформ, – 2018. – 16 с.

22. ГОСТ Р 57588-2017 Устаткування для адитивних технологічних процесів. Загальні вимоги. – К.: Стандартінформ, – 2017. – 12 с.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

23. ГОСТ Р 57589-2017 Адитивні технологічні процеси. Базові принципи – частина 2. Матеріали для адитивних технологічних процесів. Загальні вимоги. – К.: Стандартінформ, – 2019. – 12 с.

24. Дворянкін, А.О. Оцінка вологостійкості виробів, виготовлених на різних режимах 3D-друку / О.О. Дворянкін, І.С. Нефелов, Н.І. Баурова // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. – 2022. – [друк].

25. Дозатор MAGIKON WA100 [Електронний ресурс]. - URL:https://www.7874260.ru/upload/resize_cache/iblock/bd3/400_400_140cd750bba9870f18aada2478b24840a/bd37a430ace8c5c44dcae1dd32f54600.jpg (дата звернення: 18.02.2021).

26. Дорохів, А.С. Застосування адитивних технологій при технічному сервісі садової техніки/О.С. Дорохів, А.С. Свиридов// Агроінженерія. - 2020. - № 6. - С. 39-44.

27. Зленко, М.А. Адитивні технології в машинобудуванні/М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбиш. - К.: ДНЦ РФ ФГУП «НАМІ», 2015. - 220 с.

28. Зорін, В.А. Моделювання властивостей ремонтних матеріалів за тривалого впливу експлуатаційних факторів / В.А. Зорін, Н.І. Баурова / / Механізація будівництва. - 2012. - № 1. - С. 15-17.

29. Карагодін, В.І. Ремонт автомобілів та двигунів: підручник для студ. установ середовищ. проф. освіти/В.І. Карагодін, Н.М. Митрохін. - К.: Видавничий центр "Академія", 2013. - 496 с.

30. Кондрашов, С.В. Вплив технологічних режимів FDM-друку та складу використовуваних матеріалів на фізико-механічні характеристики FDM-моделей (огляд) / С.В. Кондрашов [та ін] // Праці ВІАМ. - 2019. - № 10. - С. 34-39.

31. Костіна, Є.С. Розробка технології точного лиття заготовок деталей із застосуванням FDM-технології / О.С. Костіна // Міжнародний академічний вісник. - 2019. - № 10. - С. 99-102.

32. Крайнов, М.С. Економіка випробувань продукції із пластмас / М.С.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Крайнов// Пластичні маси. - 2021. - № 3-4. - С. 57-63.

33. Лазерний вимірник діаметра EAST ALPHA LST-25 [Електронний ресурс]. - URL:<https://www.indiamart.com/proddetail/laser-diameter-gauge-lst-25-jib-n-21122167473.html> (дата звернення: 18.02.2021).

34. Лінія для екструзії філаменту [Електронний ресурс]. - URL:https://www.boco-ekstrudery.ru/data/filecache/87/stroj-A_30x20.jpg. (Дата звернення: 18.02.2021).

35. Ливарна полімерно-піщана форма [Електронний ресурс]. – URL: https://static.wixstatic.com/media/8ef136_c840ee7544ff46389e0fc9e2431c84d9~mv2.jpg/v1/fill/w_478,h_271,al_c,q_80,usm_0.66_1.00_0.01/PHOTO-2018-09-20-16-42-34.webp (дата звернення: 10.02.2021).

36. Мамонтов, К.І. Дослідження ABS пластику різних виробників / К.І. Мамонтов // Збірник статей LI Міжнародної науково-практичної конференції "World science: problems and innovations". - Пе, 2021. - С. 35-38.

37. Міхлін, В.М. Прогнозування технічного стану машин/В.М. Міхлін. - К.: Колос, 1976. - 287 с.

38. Мотовілін, Г.В. Автомобільні матеріали: довідник/Г.В. Мотовілін, М.А. Масіно, О.М. Суворов. - 3-тє вид. - К.: Транспорт, 1989. - 464 с.

39. Нойман, А. Зварювання, пайка, склейка та різання металів та пластмас / А. Нойман, Е. Ріхтер. - 3. - К.: Металургія, 1985. - 480 с.

40. Друк ливарних форм [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.add-technology.com/uslugi> (дата звернення: 18.01.2021).

41. Друк майстрів-моделей для лиття на 3D-принтері [Електронний ресурс]. – URL: https://3d.globatek.ru/3d-printers/casting_models/ (дата звернення: 18.01.2021).

42. Попович, А.А. Адитивні технології як новий спосіб створення перспективних функціональних матеріалів/А.А. Попович // Металознавство та термічна обробка металів. - 2020. - № 1. - С. 19-25.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

43. Попович, А.А. Застосування лазерно-ультразвукового методу на дослідження характеристик виробів, отриманих адитивними технологіями / О.О. Попович [та ін] // Дефектоскопія. - 2016. - № 6. - С. 3-10.

44. Раувендаль, К. Основи екструзії/К. Раувендаль. - СПб.: ЦОП "Професія, 2011. - 280 с.

45. Ремонтний комплект фари [Електронний ресурс]. – URL: <https://ad-cd.net/iMAAAgFjrOA-960.jpg> (дата звернення: 11.02.2021).

46. Рішення для авторемонту: ремонт пластикових бамперів [Електронний ресурс]. - URL:https://www.3mrussia.ru/3M/ru_RU/Collision-Repair-RU/how-to/plastic-repair/ (дата звернення: 17.01.2021).

47. Рощупкін, С.І. Аналіз технології та обладнання для виготовлення металополімерних філаментів для 3D-друку за технологією Fused Deposition Modeling (FDM) / С.І. Рощупкін, А.Г. Колесов, А.Ю. Тараховський // Мехатроніка, автоматика та робототехніка. - 2021. - № 7. - С. 25-27.

48. Сканер тривимірний RangeVision Spectrum [Електронний ресурс]. - URL: <https://www.ofitrade.ru/upload/iblock/507/5076f442026c24717a767beбca4156cf.jpg> (Дата звернення: 18.02.2021).

49. Склеювання пластмас [Електронний ресурс]. – URL: <https://ad-cd.net/6892c12s-960.jpg> (дата звернення: 10.02.2021).

50. Скрябін, В.А. Оброблюваність полімерних матеріалів деякими способами лезової обробки / В.А. Скрябін // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. - 2016. - № 5. - С. 41-48.

51. Схіртладзе, А.Г. Відновлення зношених поверхонь отворів у деталях технологічного обладнання/О.Г. Схіртладзе, В.А. Тімірязєв // Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2016. - № 5. - С. 3-9.

52. Технологія виробництва піщаних форм [Електронний ресурс]. – URL: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/tech-sand/ (дата звернення: 18.01.2021).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

53. Топологічна оптимізація [Електронний ресурс]. - URL:
https://habrastorage.org/webt/q6/ky/jq/q6kyjqaexwipa_cpfu_0z_7mpao.jpeg

(дат

азвернення: 11.02.2021).

54. Установка ремонту кронштейна фари [Електронний ресурс]. – URL:
<https://ad-cd.net/K0AAAqFjrOA-960.jpg> (дата звернення: 10.02.2021).

55. Шестопал, О.М. Довідник із зварювання та склеювання пластмас / О.М. Шестопал [та ін]; за ред. за заг. ред. О.М. Шестоपालа. - К.: Техніка, 1986. - 192 с.

56. Шилдз, Д. Ключі матеріали: довідник / Д. Шилдз; пров. Ю. Гаращенко. – пров. з англ. - К.: Машинобудування, 1980. - 368 с.

57. Шмельова, А.А. Аналіз способів автоматичного зняття та вилучення надрукованих виробів з камери 3D-принтера / О.О. Шмельова [та ін.] // Вісті Волгоградського державного технічного університету. - 2019. - № 9. - С. 76-78.

58. Barnatt, C. 3D Printing: Third Edition / C. Barnatt. - ExplainingTheFuture.com, 2016. - 191 p.

59. Berg, B. van den. 3D Printing: Legal, Philosophical and Economic Dimensions / B. van den Berg, E. Kosta. - TMC ASSER PRESS, 2016. - 212 p.

60. Davies, G. Materials for Automobile Bodies / G. Davies. - Oxford: Elsevier Ltd., 2012. - 426 p.

61. Horvath, J. 3D Printed Science Projects. Vol. 2. 3D Print. Sci. Proj. /J. Horvath, R. Cameron. - Pasadena: MatterHackers Apress, 2017. - 181 p.

62. Lipson, H. Fabricated: The New World of 3D Printing / H. Lipson, M. Kurman. - Wiley, 2013. - 320 p.

63. Redwood, B. The 3D printing handbook / B. Redwood, F. Schöffner, B. Garret. – Amsterdam: 3D Hubs, 2017. - 304 p.

64. Smyth, C. Functional Design для 3D Printing / C. Smyth; ed. A. Smyth. – 2. – 2015. – 135 p.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81