

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

Кафедра механічної інженерії та автомобільного транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

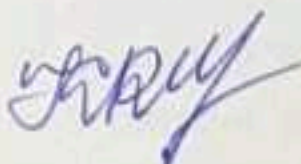
Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Технологія ремонту полімерних деталей автомобілів з
використанням 3D друку»

Виконав: студент групи ААГ-22м

 Дмитро ДЗЮБА

Керівник:

 Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Завідувач кафедри:

 /Олександр МЕЛЬНИК

Рецензент:

 Дмитро Богачук

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: механічної інженерії та автомобільного транспорту

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІ та
АТ

/ **Олександр МЕЛЬНИК**

«06» жовтня 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»

Дзюби Дмитра Вячеславовича

1.Тема роботи: «Технологія ремонту полімерних деталей автомобілів з використанням 3D друку» затверджена наказом вищого навчального закладу від 06 жовтня 2025 р. № 569-с

Керівник роботи: к.т.н., доц. Руслана КОЛОДНИЦЬКА

2. Строк подання студентом завершеної роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела, інтернет джерела, результати досліджень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Теоретичні основи розвитку новітніх технологій в автомобільному транспорті. 2. Розвиток новітніх технологій в автомобільному транспорті. 3. Вплив новітніх технологій в автомобільному транспорті на природне середовище. Загальні висновки та рекомендації.

5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 14 слайдів.

Дата видачі завдання «06» жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

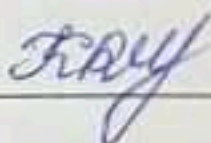
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Розділ 1. Теоретичні основи розвитку новітніх технологій в автомобільному транспорті	17.09.2025	виконано
2.	Розділ 2. Розвиток новітніх технологій в автомобільному транспорті	22.10.2025	виконано
3.	Розділ 3 Вплив новітніх технологій в автомобільному транспорті на природне середовище	19.11.2025	виконано
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.11.2025	виконано
5.	Рецензування	01.12.2025	виконано
6.	Попередній захист	04.12.2025	виконано
7.	Захист	08.12-31.12.2025	виконано

Студент



Дмитро ДЗЮБА

Керівник роботи



Руслана КОЛОДНИЦЬКА

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН	7
1.1. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей дорожніх машин	7
1.2. Аналіз дефектів пластмасових деталей дорожніх машин та причин їх виникнення	9
1.3. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей дорожніх машин	13
1.4. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин	26
2. АНАЛІЗ ПРОГРАМ ДЛЯ 3D-друку ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ	30
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РЕМОНТІ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН	36
3.1. Міцність матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D-друку	36
3.2. Визначення пружних характеристик матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням методів 3D- друку	49
3.3. Визначення впливу технологічних параметрів друку на експлуатаційні властивості пластмасових деталей дорожніх машин	50
4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНІХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ	53
4.1. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей	53
4.2. Технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин в залежності від типу відновлюваної деталі та типу дефекту	57
4.3. Приклад використання 3D друку для створення деталі автомобіля	63
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	73

ВСТУП

У сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машинах значну кількість деталей виготовляють із пластмас. Вони знаходять застосування як в елементах екстер'єру та інтер'єру, так і в захисних кожухах, деталях різних систем техніки та інших дрібногабаритних компонентах. Призначення таких виробів варіюється від декоративних функцій до виконання чисто технічних завдань. Наприклад, облицювальні панелі бамперів не лише надають машині естетичний вигляд, а й виконують роль частини системи пасивної безпеки, поглинаючи енергію удару під час ДТП. Використання пластмас у машинобудуванні забезпечує полегшення конструкції кузова, зменшення рівня шуму, продовження терміну служби деталей, спрощення виробничих процесів, а також дозволяє працювати з матеріалами, що мають унікальні фізико-механічні властивості.

Виробництво деталей для машин проводиться із пластмас на основі термопластичних та термореактивних полімерів. У цій роботі особливу увагу приділено деталям, виготовленим із термопластів. Їхні переваги полягають у відносній стабільності розмірів та низькому рівні усадки, тоді як недоліки включають невисоку жорсткість і обмежену стійкість до атмосферного впливу.

Одним із найбільш популярних полімерів у машинобудуванні є акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). Його застосовують для виробництва вентиляційних ґраток, корпусів приладових панелей, облицювання радіаторних елементів та бамперів, які встановлюються на комунальних і дорожніх машинах.

Під час експлуатації техніки пластмасові деталі нерідко зазнають пошкоджень. Причинами можуть бути аварії, вплив агресивних хімічних речовин, температурні зміни тощо. Особливо часто страждають зовнішні елементи машин. У сучасних умовах працездатність таких деталей відновлюють шляхом їх заміни, склеювання або зварювання гарячим повітрям.

Заміна пошкодженої деталі є найпоширенішим способом ремонту. Однак цей метод може бути трудомістким через необхідність чекати виготовлення або доставлення нової деталі до місця ремонту. Виконання ремонтних робіт без

повної заміни дозволяє зменшити витрати й скоротити час простою техніки, при цьому якість відремонтованого елемента зазвичай не поступається новому.

Традиційні методи відновлення деталей, такі як зварювання чи склеювання, вивчені досить добре. Проте вони мають свої недоліки: значний вплив температури чи хімічних речовин, висока трудомісткість і необхідність демонтажу пошкодженої деталі перед ремонтом.

Однією з найпоширеніших проблем пластмасових деталей є пошкодження або втрата кріпильних елементів. У деяких випадках неможливо повторно закріпити деталь через втрату цих елементів або серйозні пошкодження конструкції. У таких ситуаціях традиційні методи ремонту стають малоефективними або значно підвищують трудовитрати та собівартість роботи.

Сучасні адитивні технології (АТ), зокрема 3D-друк, відкривають нові перспективи в області виготовлення і ремонту деталей з термопластів. Завдяки їм можна створювати вироби різної геометричної складності із необхідними фізико-механічними характеристиками. Попри широке використання адитивних технологій у різних галузях промисловості, їх впровадження у ремонт деталей машин поки ще недостатньо опрацьоване.

Таким чином, питання розробки способів ремонту пластмасових елементів дорожніх, комунальних і транспортних машин на основі 3D-дру

Метою дослідження є підвищення надійності компонентів дорожніх машин, виготовлених із пластмас, через застосування методів 3D-друку під час їх ремонту.

Основні **завдання** роботи:

1. Дослідити вплив технологічних чинників на міцність і в'язко-пружні властивості пластмасових деталей дорожніх машин, які були відновлені із використанням технологій 3D-друку.
2. Аналізувати вплив технологічних параметрів на експлуатаційні показники таких відновлених деталей.
3. Розробити удосконалену технологію відновлення пластмасових компонентів дорожніх машин із застосуванням 3D-друку.

1. 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 дедалі частіше поряд із металами використовуються численні полімерні матеріали. Залежно від хімічної природи такі матеріали поділяють на термопластичні та термореактивні. Термопластичні полімери (термопласти) є високомолекулярними сполуками, які розм'якшуються або плавляться під дією високих температур. Натомість термореактивні матеріали (реактопласти) проходять незворотне перетворення низькомолекулярної базової смоли в полімерну структуру за рахунок процесу полімеризації.

Термопласти поділяються на аморфні та кристалічні залежно від способу структурної організації молекул. В аморфних термопластах молекули розташовані хаотично. Прикладами таких матеріалів є поліфеніленоксид (PPO), полікарбонат (PC) і акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). Серед переваг аморфних термопластів можна виділити такі характеристики:

- стабільні розміри виробів;
- мінімальна усадка форм у порівнянні з кристалічними термопластами;
- можливість застосування у вигляді конструкційних піноматеріалів.

Втім, вони мають і певні недоліки:

- низьку стійкість до зношування, стирання та динамічних навантажень;
- погану втомну стійкість;
- довший цикл обробки порівняно з кристалічними аналогами.

Кристалічні термопласти характеризуються зонами з впорядкованою організацією молекул, а їх структура формується залежно від технології обробки, швидкості охолодження тощо. До типових представників цього класу належать нейлон (PA), поліпропілен (PP) та поліетилен (PE). Головними перевагами кристалічних термопластів є:

- відмінна зносостійкість, висока втомна стійкість і механічна міцність;
- здатність до більш значної деформації порівняно з аморфними термопластами;
- високі термостійкі властивості, які можна підвищити за рахунок армування волокнами.

Недоліки кристалічних термопластів включають:

- значну і варіативну усадку під час виробництва;
- труднощі у процесі склеювання;
- більшу тенденцію до повзучості порівняно з аморфними матеріалами.

Загалом впровадження пластмас у конструкції машин має низку вагомих переваг. Це дозволяє зменшити матеріалоємність конструкцій, підвищити їхню безпеку та надійність, а також спростити та здешевити процес виготовлення деталей завдяки високій технологічності таких матеріалів. Сучасні автомобілі, залежно від комплектації, містять від 250 до 380 кг деталей із пластмас.

У виробництві певних елементів автомобілів широко використовуються специфічні полімери. Наприклад, для виготовлення підлогових килимів, шумо- і теплоізоляції, а також оббивок застосовують формований пінополіуретан (ФППУ). Інтегральний пінополіуретан використовується для створення поручнів, рульових коліс і підлокітників. Жорсткий пінополіуретан слугує матеріалом для виготовлення протисонячних козирків, панелей дверей і кришок люків.

Поліпропілен використовується при виготовленні вентиляційних каналів, повітрозабірників, а також у внутрішньому оздобленні дверей, панелей приладів і різноманітного облицювання. Полієфірний склопластик, полідициклопентадієн (ПДЦПД) та компаунди SMC знаходять застосування в екстер'єрі.

Поліметилметакрилат широко застосовується у виробництві компонентів для світлотехніки. Термопластичні еластomers використовуються для виготовлення ковпачків, прокладок та чохлів, які забезпечують захист електротехнічних пристроїв.

Полівінілхлорид знаходить своє застосування у виробництві трубок, а також для виготовлення оздоблювальних плівок.

Основна частина використання пластмас припадає на матеріали, такі як поліуретан (ПУ) та пінополіуретан (ППУ), поліпропілен (ПП), а також листові компаундні матеріали SMC.

На сучасній техніці, включаючи транспортні, комунальні та дорожні машини, встановлюється велика кількість деталей із пластику, які можуть бути як фарбованими, так і нефарбованими. Фарбовані деталі зазвичай використовуються для зовнішньої обробки, зокрема для виготовлення бамперів, обтікачів та декоративних накладок. Нефарбовані елементи, розташовані у видимих зонах, переважно мають текстуровану поверхню. До таких деталей належать, наприклад, бампери, корпуси дзеркал, оббивка дверей і бокових частин салону, облицювання стояків даху, панель приладів тощо.

Це підтверджує, що в сучасних машинах різного призначення використовується значна кількість різноманітних пластмасових матеріалів.

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

Дефекти, що виникають у деталях із пластмас, переважно мають непродуктивний характер і спричинені неналежними умовами експлуатації, зокрема, недотриманням правил технічного обслуговування. Більшість таких ушкоджень трапляється саме в процесі використання деталей через експлуатаційні фактори, тому конструктивні та виробничі дефекти в цьому аналізі не розглядаються. Вирішення цих питань належить до сфери компетенції конструкторських і технологічних відділів виробників.

За загальноприйнятою класифікацією, дефекти пластмасових деталей поділяють на ті, що виникають під впливом механічних, термічних та хімічних факторів. Постійна дія високих температур на пластмасові елементи машин може стати причиною появи таких ушкоджень, як оплавлення чи теплова деформація (див. рис. 1.1).



а)

б)

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

Джерела термічного впливу можуть включати відкрите полум'я, що виникає, наприклад, під час пожежі, безпосередню близькість сильно нагрітих елементів конструкції машини, зокрема компонентів системи випуску відпрацьованих газів, а також недотримання технологічних норм під час ремонту деталей. Деформація пластикових компонентів може виникати внаслідок нагрівання елементами електропроводки за умов протікання електричного струму, сила якого перевищує допустимий номінальний рівень.

Взаємодія з агресивними хімічними середовищами може спричиняти появу таких дефектів як загальна деформація деталі або локальні пошкодження її окремих ділянок. У випадку пофарбованих пластикових елементів хімічна дія є причиною пошкодження шару лакофарбового покриття. Проявами таких ушкоджень є утворення відшарувань, тріщин і здуття на поверхні. За умов тривалого впливу розчинників відбувається набухання матеріалу, що призводить до спущення й відшаровування лакофарбового шару, а також значного зниження його твердості. Зовнішній вигляд таких дефектів зображено на рисунку 1.2.



а)

б)

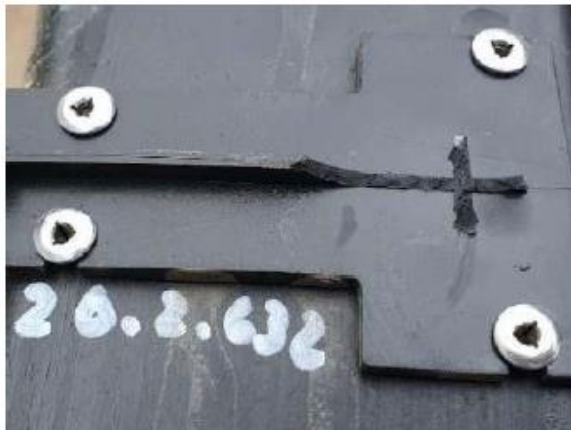
Рисунок 1.2 – Хімічне пошкодження пластмасових деталей: сліди від хімічної речовини (а) і розплавлення матеріалу (б), що не видаляються.

Одним із найбільш розповсюджених типів пошкоджень є механічні дефекти, які виникають через контакт машини із зовнішніми об'єктами. Це можуть бути нерухомі перепони, інші рухомі машини чи різноманітні предмети. Такі пошкодження включають подряпини, тріщини, сколи (втрата маленьких чи великих фрагментів), руйнування елементів кріплень, загальну або поверхневу деформацію деталей (див. рис. 1.3).



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 пластикових елементах є типовими для зовнішніх компонентів, таких як бампери, накладки, молдинги, корпуси зовнішніх дзеркал заднього виду, спойлери. Їхні характеристики варіюються за глибиною, формою, довжиною та місцем утворення. Глибокі подряпини можуть призводити до пошкодження не лише зовнішнього лакофарбового шару, але й базового матеріалу деталі. Як правило, такі дефекти виникають внаслідок динамічного контакту з предметом, який має гострі кромки і твердість, що перевищує твердість пластику. Якщо ж дія має розподілений характер (наприклад, тертя), то виникають потертості — сукупність подряпин, які супроводжуються зміщенням та вилученням частинок поверхневого шару.

Найчастішим місцем локалізації потертостей є нижня частина обшивки дверей зі сторони водія або оператора транспортного засобу.

Тріщини є наслідком статичних або динамічних ударних впливів і зазвичай виникають у результаті дорожньо-транспортних пригод; рідше вони з'являються через недотримання технологічних вимог під час ремонту чи технічного обслуговування. Відділення фрагментів деталей є наступним етапом розвитку тріщин. Найчастіше це трапляється в місцях кріплення елементів до конструкції. У випадках, коли деталь розділяється на кілька окремих частин різного розміру і форми внаслідок механічного впливу, вона вважається повністю зруйнованою.

Перераховані вище дефекти можуть викликати низку негативних наслідків:

- зниження або повну втрату функціональних властивостей деталі;
- порушення технічних параметрів виробу;
- погіршення естетичних характеристик;
- появу корозійних уражень металевих елементів через втрату захисних властивостей пластикового компонента;
- втрату комплектності транспортного засобу.

Подібні дефекти можуть проявлятися на деталях транспортних, комунальних та дорожніх машин у різних комбінаціях. Найбільш поширеними є подряпини, потертості та механічні пошкодження кріпильних елементів. Термічні й хімічні пошкодження зустрічаються рідше, проте мають найбільш руйнівний вплив, оскільки серйозно деформують структуру матеріалу й ускладнюють можливість ремонту.

1.3. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей дорожніх машин

При виявленні дефектів на пластикових елементах машин необхідно негайно вживати заходів для їх усунення та запобігання подальшому руйнуванню деталі. Ігнорування проблеми може стати причиною відмови

техніки або пошкодження важливого вузла.

На сьогодні у сфері експлуатації та ремонту дорожніх машин поширена наступна практика: власник техніки у разі пошкоджень звертається до страхової компанії, яка проводить оцінку заподіяних збитків. На основі результатів експертизи здійснюється компенсація шкоди у вигляді грошової виплати або організація ремонту на сервісному підприємстві, з яким страхова компанія має договірні відносини. Якщо ситуація підпадає під умови страхових зобов'язань або машина перебуває на гарантійному обслуговуванні, пошкоджену деталь замінюють на нову оригінальну. Виняток становлять пофарбовані деталі у випадках, коли ушкоджено тільки лакофарбове покриття. У таких ситуаціях здійснюється відновлення покриття. Нефарбовані пластикові елементи натомість повністю замінюють через неможливість точної реставрації фактурної поверхні. Наявні технології відновлення текстури не забезпечують ідентичності з оригіналом.

У деяких випадках конструкція вузлів машини включає кілька пластикових деталей, які постачаються виробником як одна цілісна деталь. Наприклад, це характерно для вузла нагрівника кабіни дорожньої машини: при пошкодженні будь-якої складової цього блоку він замінюється повністю.

Згідно з чинними правилами, усі демонтовані деталі в процесі комерційного ремонту мають бути передані замовнику — як власнику машини, так і представникові страхової компанії. Водночас страхові компанії налагодили співпрацю зі спеціалізованими організаціями вторинного ринку запчастин, які відбирають на ремонтних підприємствах придатні для відновлення елементи для подальшого продажу. Інші ж браковані деталі утилізуються без їх повторного використання.

Якщо випадок не підпадає під категорію страхового, подальші роботи з ремонту автомобіля залежать насамперед від рішення власника. Залежно від його вибору, пошкоджену деталь можуть замінити на нову (оригінальну або аналогову), поставити справну деталь із вторинного ринку або відновити існуючу. Для ремонту пластикових елементів автомобіля використовуються різноманітні методи: заміна на нову деталь, шпаклювання з фарбуванням, різні

види зварювання, а також склеювання. Оскільки шпаклювання та фарбування виходять за межі даного дослідження, їх детальний розгляд опускається.

Зварювання є найбільш популярним методом відновлення пластикових деталей автомобіля. Цей процес передбачає з'єднання термопластичних матеріалів за допомогою теплової енергії, тиску та присадного матеріалу. Залежно від конкретного методу, комбінація перелічених факторів може змінюватися. Як правило, зварювання проводиться в межах температури нагрівання матеріалу до його термопластичного стану. Класифікація методів зварювання представлена на рисунку 1.4. Для автомобільних деталей цей спосіб використовується переважно при ремонті тріщин і пробоїв на бамперах та інших елементах зовнішнього оформлення.

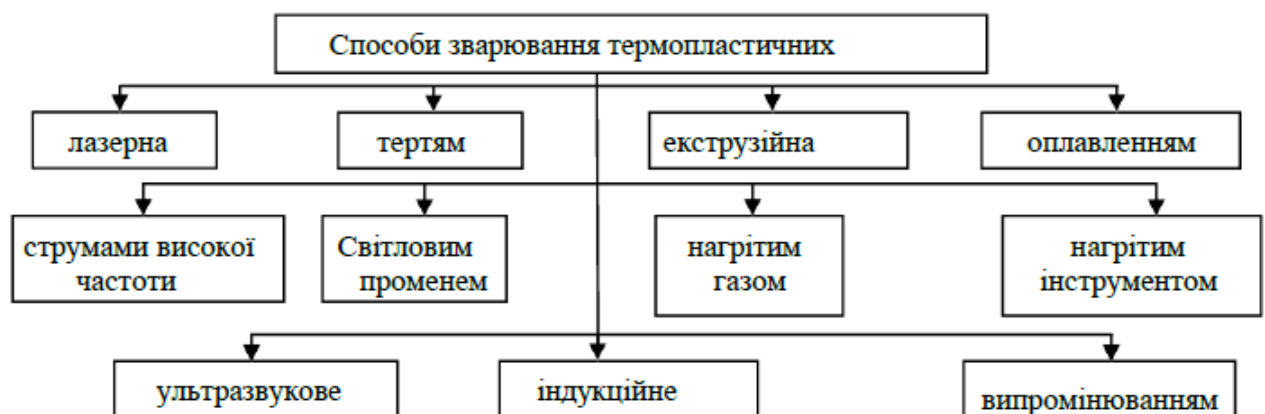


Рисунок 1.4 – Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів здійснюватись лише при застосуванні теплової енергії або тепла та тиску тощо.

Сьогодні, незважаючи на широкий спектр методів зварювання пластмас, у ремонтних роботах дорожньої техніки використовуються переважно два основних способи: зварювання гарячим газом (рисунок 1.5) та з використанням нагрітого інструменту.



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 шва присадного матеріалу (рис. 1.8, а).

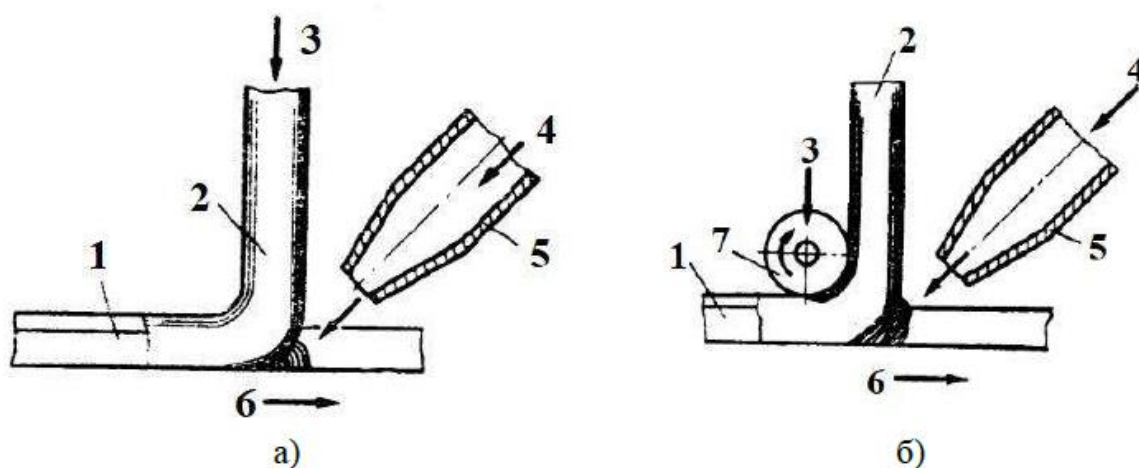


Рисунок 1.6 – Зварювання нагрітим газом з присадним прутком (а) та прикочуванням (б): 1 – деталь, що зварюється; 2 - присадковий пруток; 3 – зусилля; 4 – нагрітий газ; 5 – сопло; 6 – напрямок зварювання; 7 – натискний ролик газу.

Процес виконання переходів виглядає таким чином:

1. Попереднє нагрівання з'єднувальних поверхонь за допомогою струменя нагрітого газу.

2. Введення присадкового матеріалу у зону зварювання через струмінь розігрітого газу із застосуванням незначного осьового зусилля та прикочування присадкового прутка роликком (див. рисунок 1.6б).

У випадку, коли присадковий прутки не може витримувати осьове навантаження, проводиться накочування.

Існує два методи здійснення зварювання: ручний і механізований. У процесі ремонту дорожньо-будівельних машин застосовується виключно ручний метод зварювання. Це обумовлено складною просторовою конфігурацією деталей, яку неможливо врахувати при використанні механізованих апаратів.

Ручний спосіб має високий рівень трудомісткості та не забезпечує отримання швів із достатньо якісними характеристиками. Через те, що подавання присадкового матеріалу і управління зварювальним соплом виконується безпосередньо зварювальником, шов виходить неоднорідним і нерівномірним, що негативно позначається на міцності готового сполучення.

Метод зварювання нагрітим газом ефективний для деталей із товщиною від 1,5 до 10 мм. Він підходить для термопластичних матеріалів, таких як ABS, PP, PE, PC і PVC. Основні технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом наведені в 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, °C	на 50...100 °C вище температури стану зварюємого матеріалу
Кут нахилу осі присадного прутка до площини 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.

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 із застосуванням присадного матеріалу зазвичай виконується за допомогою ручних нагрівальних пристроїв, які поділяються на газові (прямого та непрямого нагрівання) та електричні. Найбільшого поширення у сфері ремонту пластикових виробів набули електричні нагрівачі, що функціонують як промислові фени з можливістю цифрового регулювання температури та інтенсивності подачі повітря. Основними перевагами цих пристроїв перед газовими нагрівачами є їхня забезпечена безпека та точність налаштування параметрів нагрітого повітря.

Разом із тим, зварювання нагрітим газом має низку суттєвих недоліків, серед яких варто виділити такі:

- висока трудомісткість процесу;
- залежність якості виконання роботи від рівня кваліфікації оператора;
- значна зона термічного впливу на деталь;
- неможливість обробки фасонних деталей;
- низька продуктивність процесу.

Метод зварювання нагрітим інструментом полягає у розплавленні контактних поверхонь елементів з'єднання шляхом їх безпосереднього контакту із гарячим інструментом. Цей метод поділяється на два різновиди: перший передбачає використання інструменту, який видаляється з місця шва після закінчення процесу, другий — зварювання із включеним у конструкцію інструментом, який залишається у шві протягом усього процесу.

У першій варіації методики нагрітий інструмент контактує з поверхнями з'єднуваних елементів, передаючи їм тепло через теплопровідність, після чого він видаляється із робочої зони. Подальше затвердіння матеріалу відбувається за відсутності джерела тепла. Схематичне зображення цього способу наведено на рисунку 1.9.

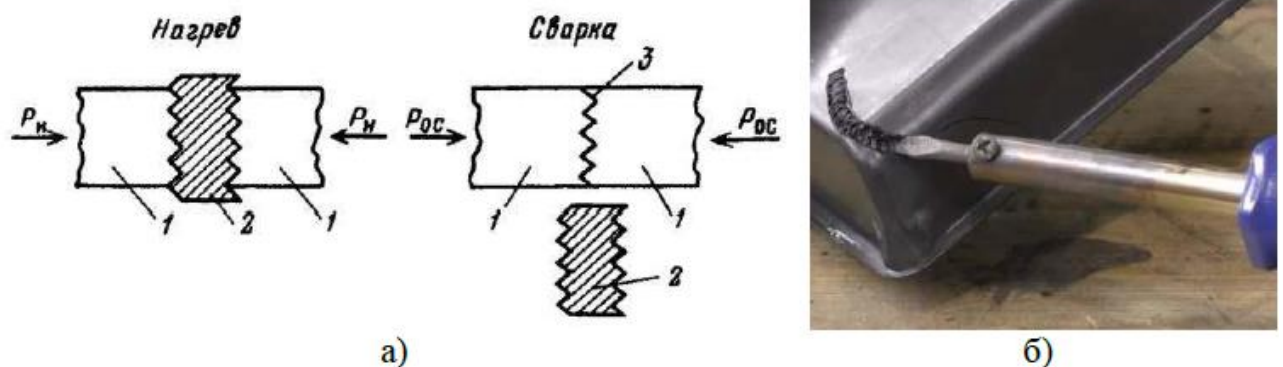


Рисунок 1.7 – Схема зварювання нагрітим інструментом (а) та відновлена деталь (б): 1 - деталі, що з'єднуються; 2 – інструмент; 3 – шов

Процес зварювання із використанням елемента, що залишається в зварному шві (рис. 1.8–1.9), передбачає застосування металевого компонента, який характеризується низьким електроопором. Цей елемент розміщується безпосередньо на зоні зварного шва, через яку проходить електричний струм. Унаслідок пропускання струму виникає локальне нагрівання, що приводить до

плавлення матеріалу в місці контакту з нагрівальним елементом. Потім цей елемент занурюється в глибину зварюваного матеріалу під впливом невеликого осьового зусилля, прикладеного до інструменту.

Після завершення нагрівання електричний струм відключається, і матеріал деталі застигає, формуючи зварне з'єднання. Нагрівальний елемент після охолодження механічно відокремлюється від джерела живлення, однак залишається у структурі деталі, виконуючи функцію армуючого компонента.

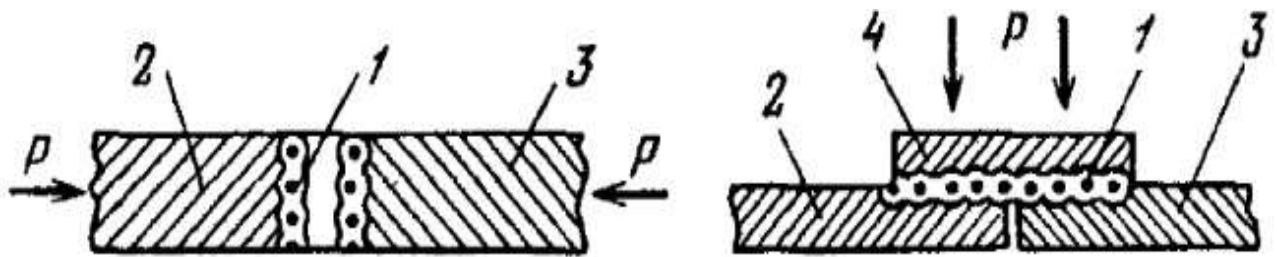


Рисунок 1.8 – Схема зварювання нагрітим елементом, що залишається у деталі: 1 – нагрівальна спіраль, що залишається у зварному шві; 2, 3 - деталі, що зварюються; 4 – накладка



Рисунок 1.9 – Відновлення деталі нагрітим елементом

Зварювання методом залишеного нагрітого елемента не забезпечує створення повністю цілісного виробу, а слугує переважно для армування ділянки дефекту. До ключових переваг цього методу належать низькі вимоги до рівня кваліфікації персоналу, мінімальний вплив термічної обробки на деталь, а також можливість одночасного виконання армування. Водночас існують і певні

обмеження: недостатня міцність з'єднання, необхідність механічної обробки для усунення виступаючих фрагментів нагрівального елемента, а також неможливість застосування методу для відновлення деталей, що потребують герметичності.

Окрім зазначеного, існує інший спосіб зварювання – із використанням органічних розчинників, який за своїми технологічними ознаками є подібним до склеювання. Цей підхід ефективний у тих випадках, коли інші методи нерентабельні через імовірність порушення геометричних параметрів деталі. Зварювання з використанням розчинників демонструє найбільшу ефективність для з'єднання деталей із таких матеріалів, як PVC і ABS. Для покращення міцності шва та прискорення процесу його утворення застосовуються розчини, що включають поєднання зварюваного матеріалу в розчиннику, так звані лакові композиції. У таких випадках роль розчинника полягає в пластифікації навколошовної зони. Як правило, до складу лакового розчину додається до 15% зварюваного матеріалу.

Технологічний процес зварювання органічними розчинниками складається з таких етапів:

1. Підготовка поверхонь деталей, що з'єднуються.
2. Нанесення розчинника або лакового складу на поверхні.
3. Витримка деталей для забезпечення проникнення розчинника.
4. З'єднання деталей із застосуванням тиску.
5. Очікування затвердіння шва.

Кількість нанесеного розчинника визначається експериментальним шляхом, враховуючи, що його надлишок сприяє зниженню міцності шва та подовженню технологічного циклу. Тривалість витримки компонентів до їх фіксації становить кілька хвилин, рекомендоване значення тиску лежить у межах 0,1–1,0 МПа, а повне затвердіння шва триває від 2 до 24 годин. Вибір конкретного розчинника ґрунтується на характеристиках його здатності розчиняти полімери: різниця між параметрами розчинності полімеру та обраного розчинника не повинна перевищувати 2,5 (МДж/м³).

Для підвищення міцності деталі та запобігання її подальшому

руйнуванню в зоні зварювання проводиться армування цього місця. На рисунку 1.10 наведено приклад ремонту деталі із застосуванням армуючої сітки.



Рисунок 1.10 – Відновлення деталей з армуванням

Зазвичай як армуючий матеріал використовують сталеву дрібнокомірчасту сітку, нарізану на невеликі смужки. Шматки, що з'єднуються, фіксують разом у потрібному положенні, викладають сітку на поверхню і розпочинають процес нагрівання. У ході нагрівання матеріал під сіткою стає м'яким, після чого за допомогою додаткового інструменту сітка занурюється у розплавлений шар. Важливо стежити за тим, щоб не допустити перегріву матеріалу чи сітки, оскільки окислена сталева сітка може стати джерелом корозії, а перегрітий пластик втрачає міцність і набуває крихкості.

Процес склеювання пластмас полягає в утворенні нероз'ємного зв'язку між елементами деталі за допомогою клею. Залежно від цього здатність пластмас до склеювання поділяють на три основні категорії: легкосклеювані (поліакрилати, ABS, полікарбонат, жорсткий полівінілхлорид), умовно склеювані (поліаміди, полістирол, пластифікований полівінілхлорид) та важкосклеювані (удароміцний полістирол, поліпропілен, поліаміди).

Для забезпечення якісного з'єднання необхідно дотримуватись таких умов:

- поверхні елементів повинні бути рівномірно змочені клеєм;
- у зоні склеювання слід створити тиск, що запобігатиме зміщенню деталей під час затвердіння клею;

– вибір клею має відповідати характеристикам матеріалів.

Найпоширенішим методом є склеювання через липкість. На з'єднувані поверхні наносять клей, витримують до утворення липкого шару, після чого елементи стискають для забезпечення якісного клейового шва.



Рисунок 1.11 – Ремонт за допомогою клейової сполуки

Часто в результаті пошкоджень порушується цілісність компонентів, особливо кріпильних елементів бамперів і фар. Втрата обламаних частин вимагає їхнього відновлення з урахуванням первісної форми, розмірів і функціонального призначення. Зазвичай для цього застосовуються два методи: використання заводського ремонтного елемента або відтворення втраченого компонента деталі за допомогою спеціальних матеріалів.

Установка заводських ремонтних комплектів можлива, якщо виробник передбачив такий спосіб ремонту. В основному ремонтні набори для кріпильних вузлів випускаються саме для фар, оскільки їхні кронштейни найбільш схильні до пошкоджень через механічні впливи.

Ремонтний комплект включає набір кріплень і металовиробів, призначених для заміни обламаних деталей новими. У деяких випадках корпус деталі передбачає спеціальні посадкові місця для монтажу нового кронштейна.



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

Описана технологія ремонту передбачає механічне видалення залишків пошкодженого кріплення, монтаж ремонтного кронштейна та його закріплення шляхом використання гвинтів чи спеціальних клеючих матеріалів.

До переваг цього методу можна віднести:

- 1) – низьку трудомісткість виконання робіт;
- 2) – нескладність, що дозволяє залучати персонал із мінімальним рівнем кваліфікації;
- 3) – невисоку вартість ремонтних заходів.

Однак існують і певні недоліки:

- 1)– необхідність очікування доставки ремонтного комплекту;
- 2)– обмежений асортимент деталей, які можна таким чином відновити;
- 3)– відсутність сумісних ремонтних комплектів для всіх марок і моделей виробів.

Ремонт за допомогою спеціальних складів ЗМ використовується в ситуаціях, коли немає можливості провести відновлення методом зварювання, склеювання або застосування ремонтного елемента з причини значної втрати деталей або відсутності відповідних ремонтних комплектів.

Технологічний процес ремонту виглядає наступним чином (див. рис. 1.13):

- 1) очищення пошкодженої поверхні від забруднень;
- 2) шліфувальне механічне оброблення;
- 3) свердління додаткових отворів для покращення адгезії складу;

- 4) очищення поверхні за допомогою засобу для видалення залишків клею;
- 5) нанесення адгезивного активатора з витримкою протягом 10 хвилин;
- 6) формування нової деталі за допомогою полімерного складу та захисної плівки;
- 7) зняття плівки та механічне доопрацювання деталі до необхідних параметрів;
- 8) свердління отворів для закріплення.



Рисунок 1.13 – Технологія відновлення пластмасових деталей складами 3М

Даний метод має суттєві обмеження, які полягають у неможливості відновлення втрачених кріпильних елементів складної геометричної форми. Окрім цього, він передбачає значні витрати на супутні матеріали, такі як очищувачі, активатори адгезії, формувальні плівки тощо. Для забезпечення правильного вибору витратних матеріалів і налаштування параметрів технологічних процесів ремонту необхідно перед його початком провести ідентифікацію марки матеріалу, з якого виготовлена деталь. Як правило, визначити матеріал можна за допомогою маркування, що нанесене на поверхні пластмасових деталей (див. рис. 1.14).



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)

Традиційні методи ремонту пластикових деталей характеризуються обмеженим функціоналом, який не дозволяє ефективно відновлювати пошкодження, пов'язані з втратою частин, що мають складну просторову геометрію. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки інноваційних підходів до ремонту, які відповідали б сучасним тенденціям розвитку машинобудівної галузі.

1.4. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин

Існуючі методи з'єднання пластмас передбачають залучення різноманітних матеріалів для реалізації відповідних технологічних процесів. Наприклад, для зварювання за допомогою нагрітого газу використовуються спеціальні прутки; для зварювання нагрітим інструментом необхідні нагрівальні компоненти; при роботі з розчинниками застосовують органічні

речовини, а для склеювання потрібні спеціальні клеї. Ці матеріали мають різні властивості, які визначають ефективність кожного з методів ремонту.

У сфері машинобудування для виробництва пластмасових деталей, що підлягають ремонту, застосовують такі матеріали, як ABS, PP, PA, PE, PC та інші. Зазвичай при використанні зварювальних технологій для ABS, PP, PE, PC вибір присадочних матеріалів обмежується прутками, що мають ідентичні характеристики до матеріалу самої деталі. Основні фізико-механічні параметри присадочних матеріалів представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Фізико-механічні властивості присадних матеріалів

Матеріал	Щільність, г/см ³	Межа міцності при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, %	Температура плавлення, °C
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

У технічній практиці розрізняють прутки за формою поперечного перерізу на круглі, плоскі та трикутні. Трикутний переріз найчастіше застосовується для зварювальних робіт під кутом, тоді як плоский зручний для стикових швів, виконуваних у єдиній площині. Круглі прутки вважаються універсальними завдяки своїй багатофункціональності. Геометричні характеристики прутків включають діаметр (для круглих прутків він варіюється в межах від 2 до 5 мм), ширину (для плоских і трикутних прутків — від 3 до 10 мм), а також форму постачання. Зокрема, плоскі та трикутні матеріали зазвичай постачаються у вигляді бухт, тоді як круглі прутки доступні у вигляді окремих елементів довжиною від 200 до 300 мм.

Окрім форми і розмірів, прутки класифікуються за кольором, серед яких

зустрічаються чорні, білі, сірі, сині тощо. Ця різноманітність кольорової палітри дає можливість гнучко обирати матеріали відповідно до застосування.

У виробничих процесах для зварювання термопластичних матеріалів активно використовуються розчинники різних складів, а також їх суміші. Рекомендовані формули розчинників для зварювання таких матеріалів детально відображені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Рекомендовані склади розчинників для зварювання пластмас

Полімери	Рекомендовані розчинники
ABS	Ацетон; епілацетат; метилацетат; ацетон/етилактат (90/10); ацетон/метолксіет-лацетат (80/20); ацетон/метилацетат (70/30); бутилацетат/ацетон/метилацетат (50/30/20)
PA	Концентрована мурашина кислота; розплавлені фенол та резорпін; спир-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 за технологіями компанії ЗМ здійснюється із залученням високотехнологічних матеріалів спеціального призначення. До основних засобів, що застосовуються в цьому процесі, належать:

- очищувач поверхонь ЗМТМ VNB, який забезпечує ефективну підготовку матеріалу;
- поліолефіновий активатор адгезії 05917 ЗМТМ, що сприяє покращенню зчеплення компонентів;
- зміцнювальна сітка ЗМТМ 04903 для додаткового підсилення конструкції;
- клей для швидкої реставрації елементів ЗМТМ 55045, що дозволяє оперативно відновлювати пошкодження;
- ремонтний склад FPRM ЗМТМ 05901, призначений для надійного усунення дефектів;
- плівка для формування ЗМТМ Automix, яка забезпечує точність і зручність у створенні необхідних форм.

2. АНАЛІЗ ПРОГРАМ ДЛЯ 3D-друку ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Метод пошарового наплавлення (FDM), що є однією з провідних адитивних технологій, передбачає формування виробу за допомогою екструзійного нанесення термопластичних матеріалів на підкладку друкованого столу. Ця методика має аналогічну назву в англomовній літературі — Fused Filament Fabrication (FFF). Завдяки таким технологіям можливим стає отримання виробів із термопластів з різноманітними наповнювачами, що залежить від характеристик конкретного 3D-принтера.

На етапі розробки завдання для друку оператор має змогу задавати широкий спектр параметрів, що впливають не лише на тривалість процесу та витрати матеріалу, але й на якість кінцевого виробу. Одним із найпросунутіших програмних рішень для таких налаштувань є Simplify3D (рис. 1.15). Цей програмний продукт забезпечує можливість встановлювати індивідуальні параметри для кожного об'єкта за умови багатокomпонентного друку, регулювати зони параметрів всередині одного виробу, а також виконувати 3D-візуалізацію процесу друку.

Серед ключових налаштувань Simplify3D варто відзначити висоту кожного шару, швидкість друку, величину заповнення внутрішнього простору, температуру екструзійного нагріву та коефіцієнт подачі матеріалу. Додатково до цього критично важливим є створення підтримуючих структур у ручному режимі, що дозволяє значно збільшити якість та стабільність друкованих виробів.

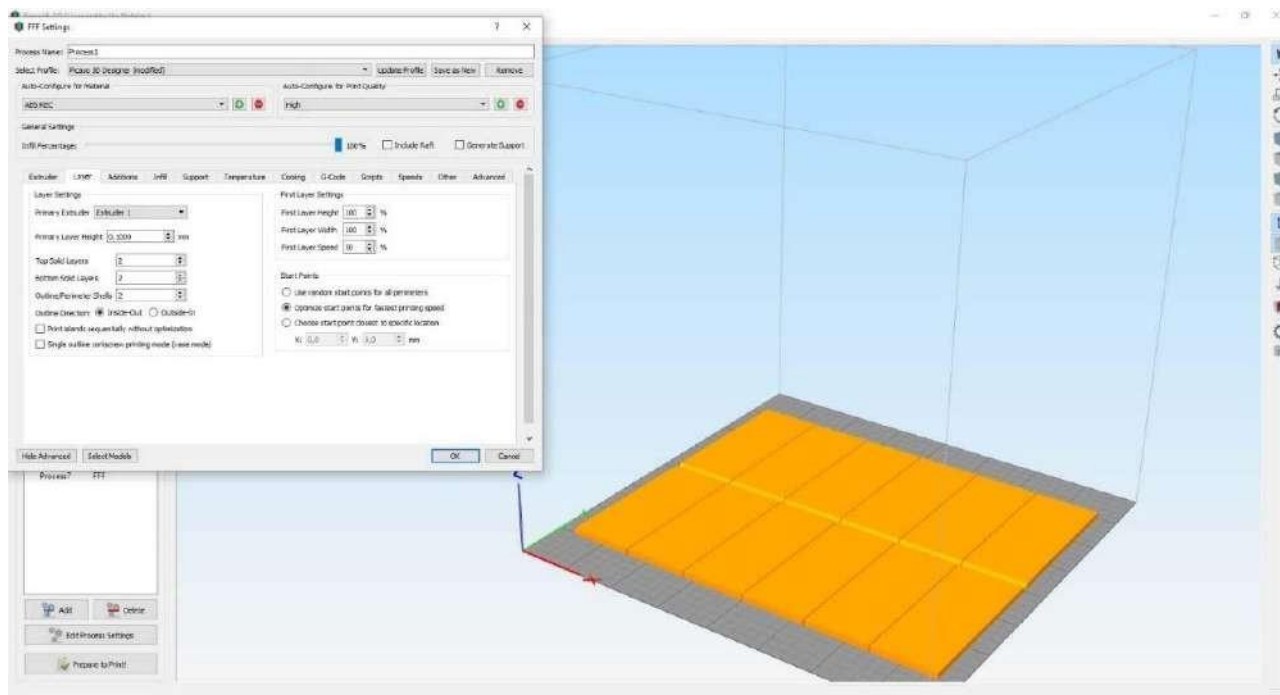
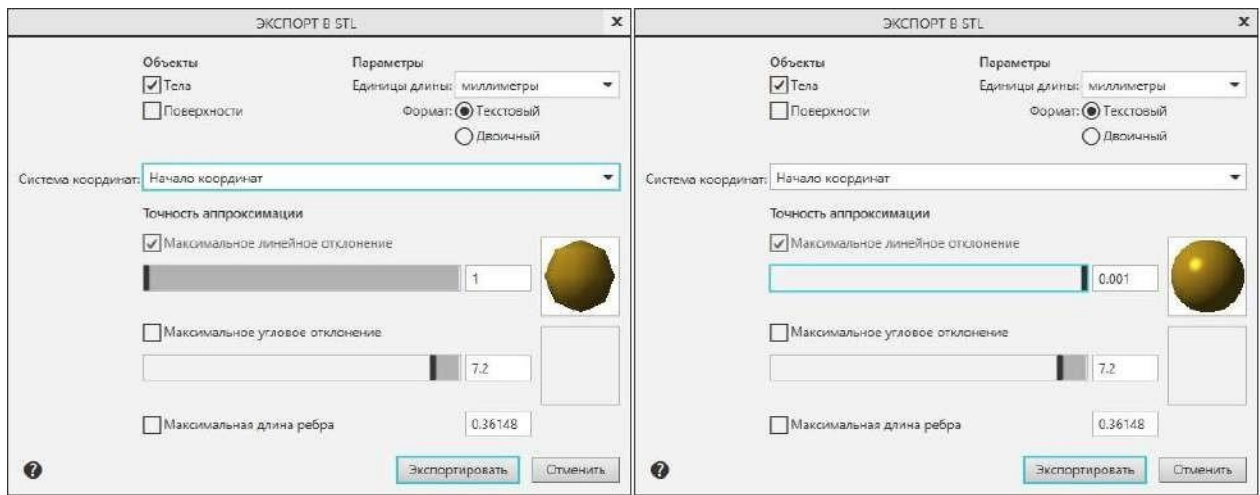


Рисунок 2.1 – Програма-слайсер Simplify3D

Для створення об'єктів за допомогою технології 3D-друку необхідно використовувати два основних типи програмного забезпечення: системи автоматизованого проєктування (САПР) та програми-слайсери. САПР застосовують для розробки тривимірної моделі майбутнього виробу, проведення конструктивно-міцнісного аналізу, а також для експорту готової моделі у формат STL (від англійського stereolithography). До найпоширеніших прикладів програм САПР належать КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCAD 3D, Fusion360 тощо. Використання функцій налаштування параметрів експорту у таких програмах сприяє покращенню точності геометрії надрукованої деталі, що підтверджується даними ілюстративного матеріалу (див. Рис. 2.2).

Системи автоматизованого проєктування мають специфічні відмінності у своєму інтерфейсі, а також у спектрі функціональних можливостей, які забезпечують виконання аналізу чи оптимізацію конструкцій. Однак ключовим фактором, що значною мірою впливає на якість надрукованого виробу, є саме використання програм-слайсерів.



а)

б)

Рисунок 2.2 – Налаштування точності апроксимації при експорті 3D-моделі: а) – лінійне відхилення 1 мм; б) – лінійне відхилення 0,001 мм

На сучасному етапі розвитку ринку представлено значну кількість програмного забезпечення типу слайсерів. Деякі з таких програм інтегруються у комплект постачання разом із 3D-принтерами. Подібні програми зазвичай містять попередньо визначений набір шаблонів для параметрів друку, спрямованих на досягнення різних рівнів якості (низький, середній, високий тощо). Однак можливість користувача самостійно встановлювати детальні параметри 3D-друку у таких слайсерах є вкрай обмеженою або взагалі відсутня. Як приклад, можна навести програму Picaso Polygon, ілюстровану на рисунку 2.3.

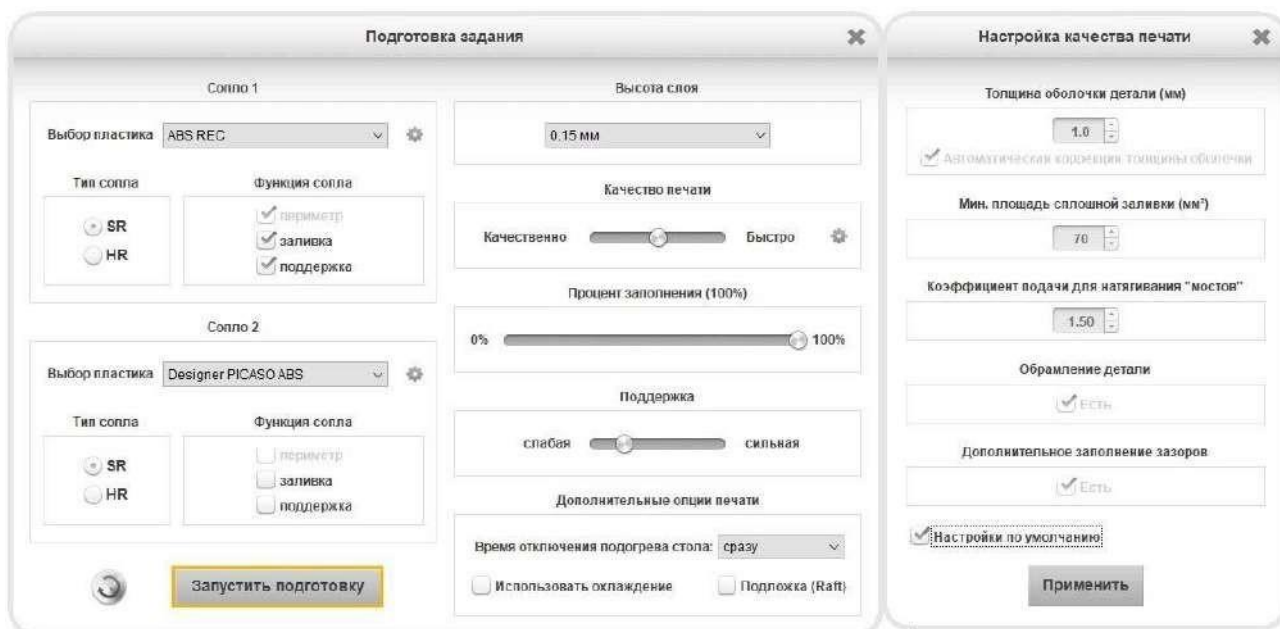


Рисунок 2.3 – Меню установок слайсера Picaso Polygon

Універсальні слайсери, які не обмежені використанням з якоюсь конкретною моделлю 3D-принтера, відзначаються більш широкими можливостями. До таких програм можна віднести Repetier, Simplify3D, Cura та інші.

Ці інструменти надають змогу детально налаштовувати параметри друку, самостійно створювати підтримуючі структури, а також задавати індивідуальні настройки для друку на кожному окремому шарі (див. рис. 2.4).

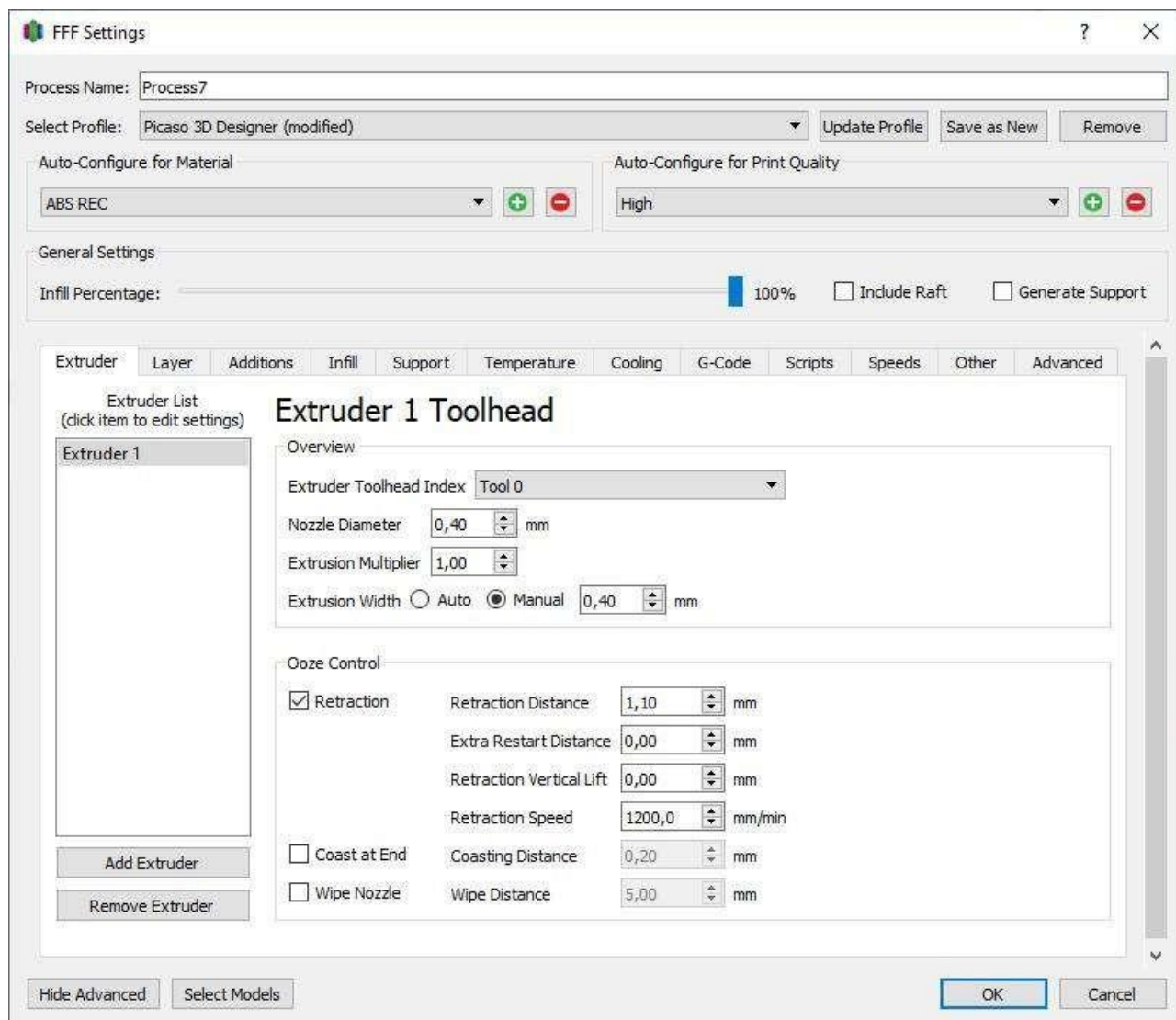


Рисунок 2.4 – Меню установок слайсера Simplify3D

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	-	-	-	-	-

На підставі проведеного аналізу встановлено, що жодна з наявних програм-слайсерів не надає можливості автоматично налаштовувати параметри друку відповідно до вимог щодо міцності готового 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

Під час перевірки якості деталей, виготовлених за допомогою 3D-друку, нерідко обмежуються лише візуальним оглядом робочих поверхонь надрукованих виробів. Такий підхід може бути достатнім для моделей, призначених виключно для візуалізації. Проте, якщо деталі використовуються у вузлах дорожніх машин, які працюють під значним навантаженням, важливо розуміти, які параметри друку найбільше впливають на експлуатаційні характеристики надрукованої продукції.

Задля вирішення цього питання було проведено серію випробувань, спрямованих на вивчення залежності показників міцності матеріалу деталей від технологічних параметрів FDM 3D-друку. Під час експериментів використовувалося обладнання 3D-принтера Magnum Creative 2 Pro разом із програмним забезпеченням-слайсером Repetier Host. Налаштування принтера та їхні значення представлені у таблиці 3.1.

Швидкість друку характеризується темпом робочого руху друкуючої голівки у процесі пошарового нанесення матеріалу. Вона може значно варіюватися залежно від розмірів і форми деталі, а також визначається технічними можливостями обладнання.

Друк кожної моделі здійснюється пошарово, знизу догори. Висота шару відповідає товщині матеріалу, що наноситься екструдером за один прохід (вимірюється по вертикальній осі). При цьому мінімальна величина висоти шару часто залежить від точності механічних компонентів 3D-принтера.

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 екструдуювання, °C	240; 250; 260; 270

Модифікатор подачі, або коефіцієнт подачі, відповідає за об'єм матеріалу, що подається під час роботи друкувальної голівки 3D-принтера. Іншими словами, він визначає співвідношення між реальним об'ємом пластику, який подається, та теоретичним обсягом матеріалу, необхідним для створення деталі.

$$KM = V_{п.п.}/V100\% \quad (3.1)$$

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

Рівень заповнення відіграє ключову роль у спрощенні конструкції деталі і досягається шляхом коригування відстані між рядками або зміни схеми заповнення. Це особливо актуально, коли немає потреби виготовляти цільну монолітну деталь. Приклади існуючих структур заповнення наведено на рисунку 3.1.

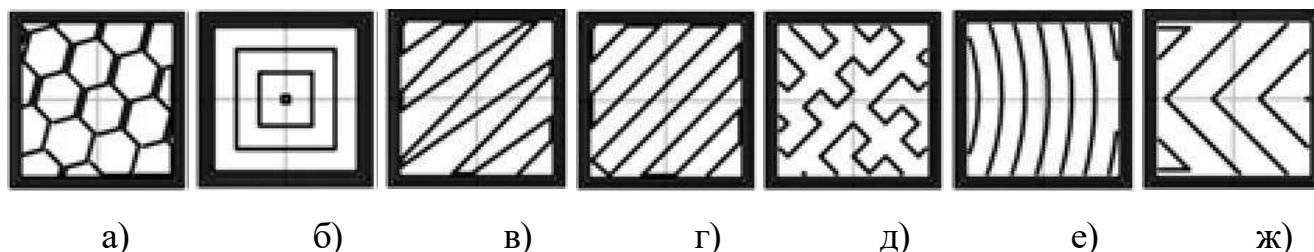


Рисунок 3.1 – Типи заповнення тіла деталі матеріалом: honeycomb(а), concentric (б), line (в), rectilinear (г), Hilbert Curve (д), Archimedean Chords (е), Octagram Spiral (ж)

Зразки були виготовлені із матеріалу акрилонітрилбутадієнстиролу (ABS). Геометричні параметри та конфігурація зразків зображені на рисунку 3.2. Випробування зразків, створених методом тривимірного друку, на механічні характеристики під час розтягування виконувались за допомогою універсальної випробувальної машини моделі УТС-110М-5-0У. Ця процедура відповідала встановленим вимогам стандарту ГОСТ 11262-2017 "Пластмаси. Методи випробування на розтяг".

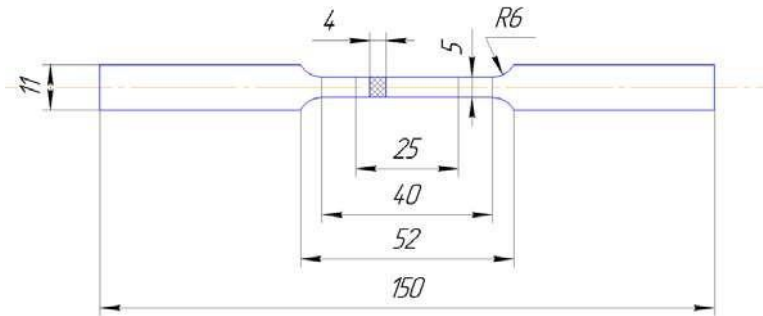


Рисунок 3.2 – Зразок для випробувань на міцність під час розтягування

Для оцінки впливу кожного з параметрів 3D-друку на міцнісні характеристики зразків було прийнято рішення здійснювати послідовний експеримент. У рамках цього підходу експеримент проводився у формі серії випробувань, де умови для наступної серії визначалися на основі результатів попередньої. Схематичне зображення процесу експерименту наведено на рисунку 3.3.

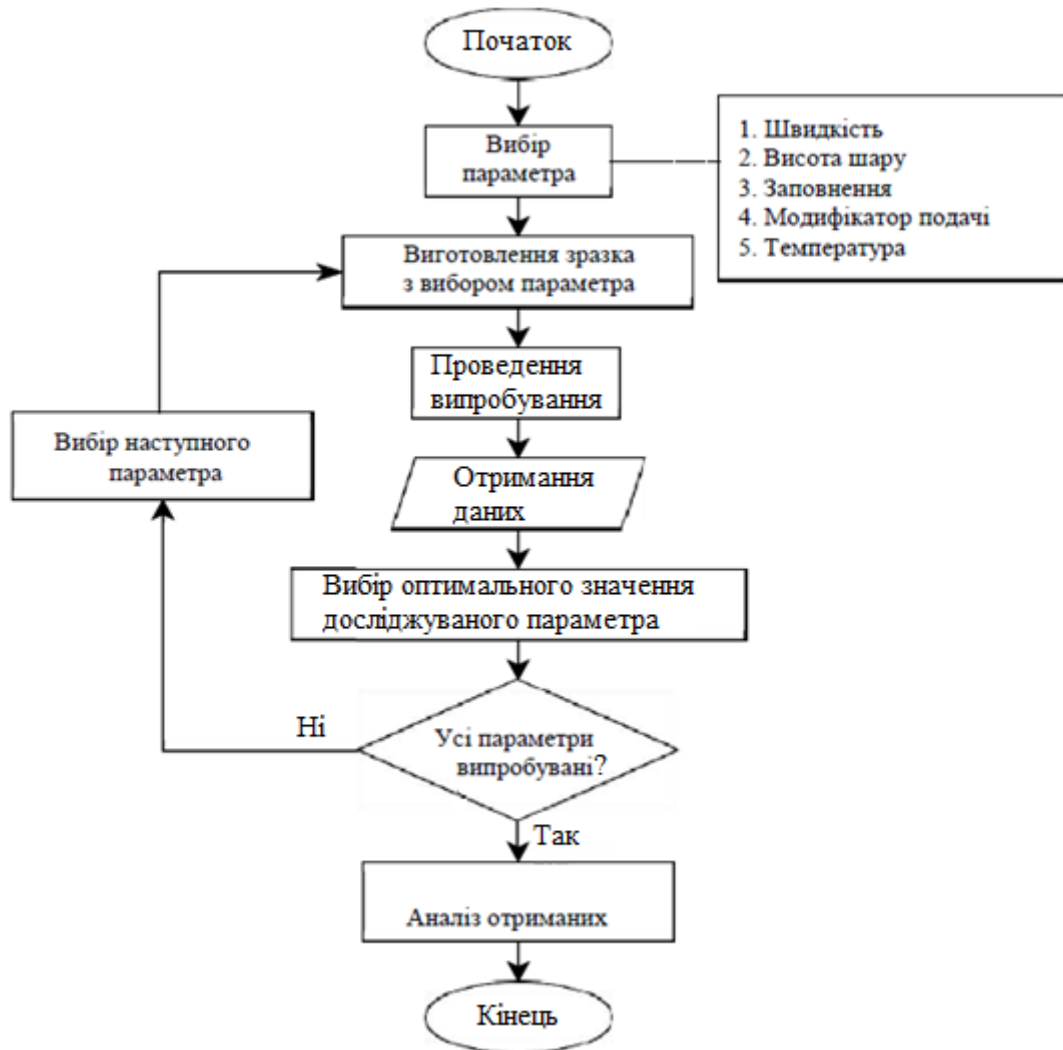


Рисунок 3.3 – Блок-схема процесу послідовності випробувань

Для початкового параметра було обрано швидкість друку. Процес друку здійснювався з висотою шару 0,1 мм, повним (100%) заповненням та коефіцієнтом подачі, що дорівнює 1. Температура екструзування становила 240°C. Графіки, отримані в результаті проведених випробувань, представлені на рисунку 3.4.

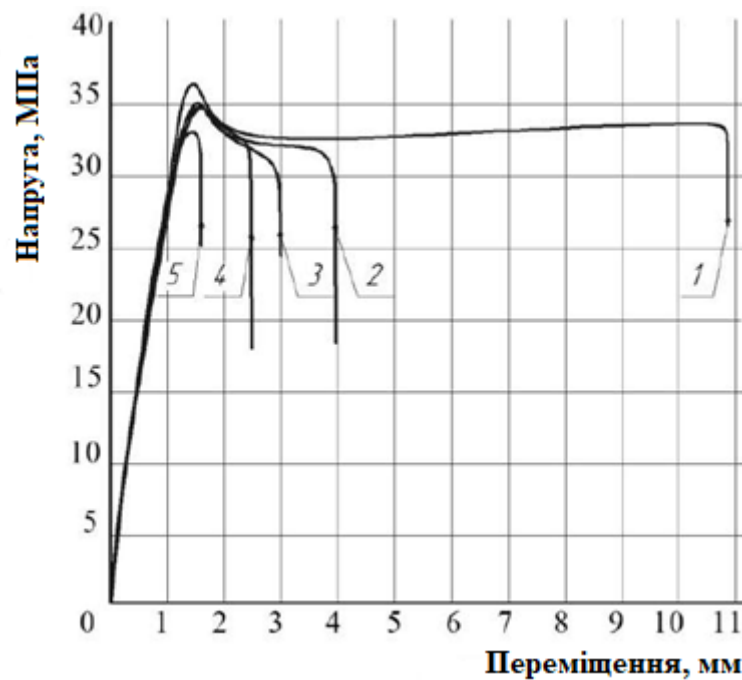


Рисунок 3.4 – Вплив швидкості друку на характеристики міцності: 1 - 15мм/с; 2 – 30мм/с; 3 – 45мм/с; 4 – 60мм/с; 5 – 80мм/с

Як показують отримані результати, максимальна міцність зразків досягається при найменших швидкостях друку. Аналогічна залежність спостерігається і для відносного подовження зразків: зі зменшенням швидкості друку подовження збільшується. Це можна пояснити тим, що при повільнішому переміщенні друкуючої головки створюється значне локальне нагрівання матеріалу, що забезпечує краще з'єднання між попереднім і наступним шарами в структурі деталі.

Для проведення подальших експериментів підготували зразки з різною висотою шару. Друк здійснювався зі швидкістю 45 мм/с, при заповненні 100% і коефіцієнті подачі, рівному 1. Температура екструдуювання становила 240°C. Така швидкість друку була обрана як оптимальний компроміс між якістю виконання та тривалістю процесу. Отримані результати продемонстровані на рисунку 3.5.

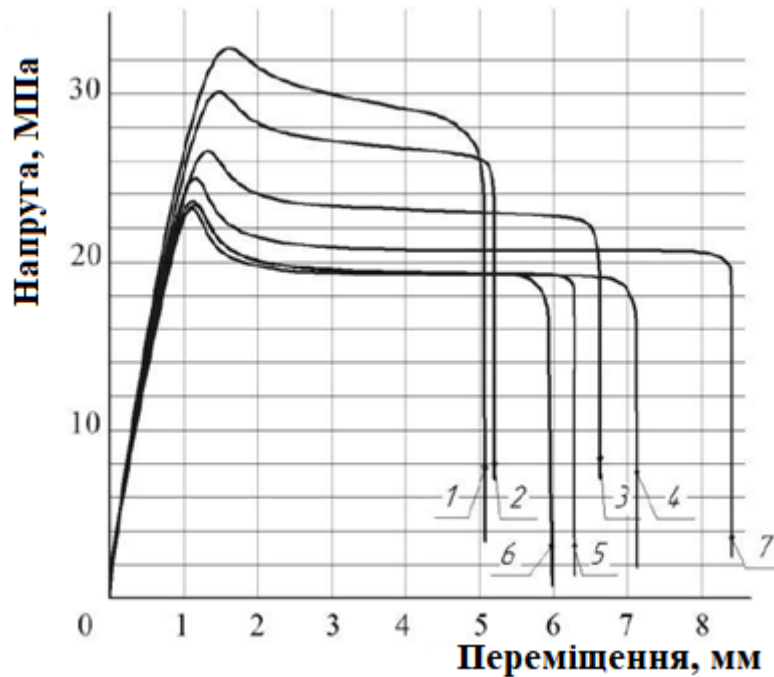


Рисунок 3.5 – Вплив висоти шару на характеристики міцності: 1- 0,03мм;
2-0,06 мм; 3-0,1 мм; 4-0,12 мм; 5-0,2 мм; 6-0,25 мм; 7-0,3 мм

Чим менша висота шару під час 3D-друку, тим вища міцність матеріалу та нижче відносне подовження зразка. Ця особливість пояснюється тим, що при мінімальній висоті шару екструзія пластику із сопла здійснюється поблизу вже надрукованих шарів, формуючи плоский шар у поперечному зрізі. Це сприяє зменшенню порожнин між шарами, що підвищує міцність виробу.

Для дослідження впливу модифікатора подачі на механічні властивості були створені зразки з такими параметрами друку: швидкість 45 мм/с, заповнення 100%, висота шару 0,1 мм, температура екструдкування 240°C. Висота шару була обрана як оптимальне співвідношення між часом друку та якістю поверхні. Результати експерименту наведені на рисунку 3.6.

Під час роботи з модифікатором подачі слід враховувати, що зі зменшенням його значення падають як міцність деталі, так і відносне подовження. Однак підвищення модифікатора понад значення 1,1 (110%) не гарантує подальшого росту міцності за збереження інших характеристик, зокрема якості поверхні. Надлишкове подавання матеріалу може призводити до деформацій деталі. Крім того, збільшення коефіцієнта подачі впливає на подовження: воно зростає до певного значення модифікатора (1,05), після чого

починається зниження цього показника.

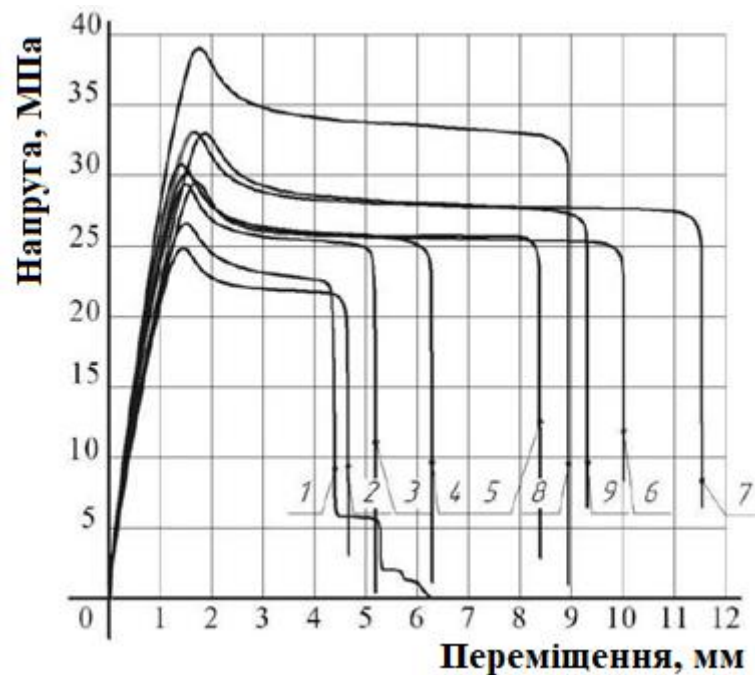


Рисунок 3.6 – Вплив модифікатора подачі на характеристики міцності: 1 – 0,9; 2 - 0,925; 3 – 0,95; 4 – 0,975; 5 – 1,0; 6 - 1,025; 7 - 1,05; 8 - 1,075; 9 – 1,1

У процесі виготовлення зразків для оцінювання коефіцієнта заповнення були визначені наступні параметри режиму 3D-друку: швидкість друку складала 45 мм/с, висота шару — 0,1 мм, значення модифікатора подачі дорівнювало 1, а температура екструзії становила 240°C. Графічне представлення отриманих результатів наведено на рисунку 3.7.

Підвищення відсоткового значення заповнення матеріалу сприяє зростанню його міцності та збільшенню показників подовження. Важливо зазначити, що до певного рівня заповнення (60%) цей параметр переважно впливає лише на подовження, тоді як приріст міцності матеріалу є незначним. Таке явище пояснюється тим, що основну частину механічного навантаження сприймає зовнішня оболонка (стілки) зразка.

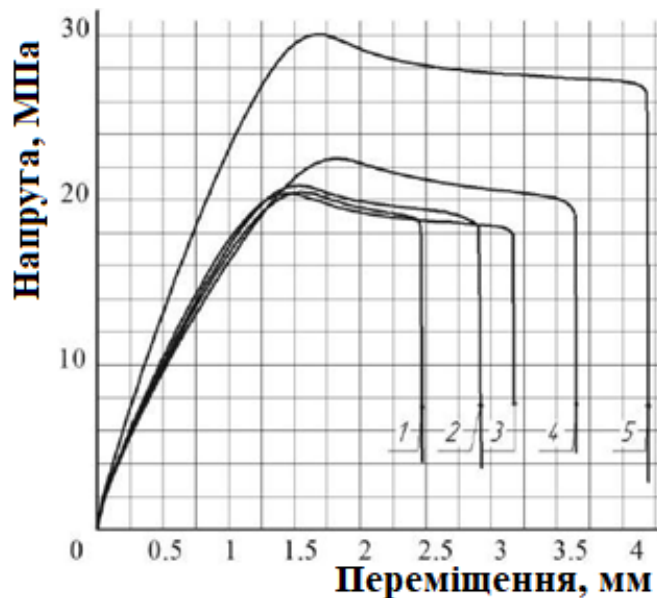


Рисунок 3.7 – Вплив відсотка заповнення на характеристики міцності: 1 - 20%; 2 – 40%; 3-60%; 4 – 80%; 5 – 100%

З метою оцінки впливу температури екструзії на міцнісні властивості матеріалу було виготовлено серію зразків із використанням визначених параметрів 3D-друку: швидкість друку становила 45 мм/с, рівень заповнення складав 100%, висота шару – 0,1 мм, а значення модифікатора подачі дорівнювало 1. На рисунку 3.8 наведено відповідні графіки, що ілюструють отримані результати.

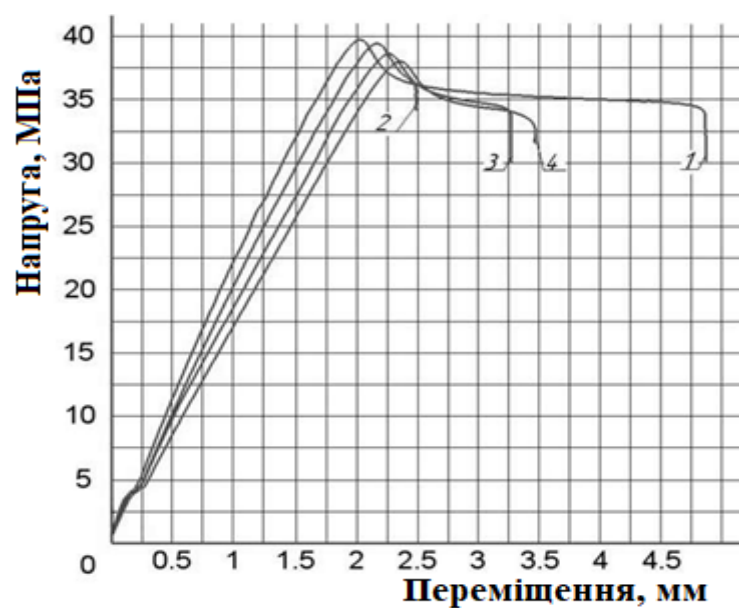


Рисунок 3.8 – Вплив температури екструдювання на характеристики міцності: 1 – 240 °C; 2 - 250 °C; 3-260 °C; 4 - 270 °C

Збільшення температури екструзування викликає незначне зниження міцності при розтягуванні та зменшення відносного подовження матеріалу. Порівнюючи фізико-механічні властивості матеріалу, отриманого від виробника (міцність при розтягуванні – 45,1 МПа, модуль пружності – 2079 МПа), з властивостями, досягнутими після застосування технології 3D-друку, встановлено, що характеристики міцності знижуються на 20–30%.

Оскільки процес 3D-друку використовує спеціальний філамент, який окремо екструзується при виробництві, це зумовлює додаткове погіршення фізико-механічних характеристик. Визначення міцності філаменту проводилося шляхом нарізання його на зразки завдовжки 180 мм із поперечним перерізом 1,75 мм. Випробування показали, що середнє значення міцності на розтяг філаменту становило 40,8 МПа. Це свідчить про те, що у процесі виготовлення філаменту міцнісні характеристики сировини знижуються приблизно на 10%.

Для навантажених деталей умови експлуатації висувають високі вимоги до їхньої мікроструктури, адже дефекти можуть створювати концентратори напруги або служити осередками негативного впливу агресивного середовища. Матеріал у реальності містить певну кількість неоднорідностей, причини виникнення яких визначаються особливостями виготовлення, типом матеріалу та іншими чинниками. Навіть у межах одного матеріалу структура може варіювати залежно від умов його виробництва.

Випробування на розтяг дали можливість дослідити вплив різних режимів 3D-друку на утворену структуру матеріалу. Результати підтвердили, що незалежно від технологічних параметрів процесу друку структура матеріалу залишається шарувально-комірчастою. Шаруватість є наслідком самої технології та практично не піддається усуненню. Пористість матеріалу виникає через кілька факторів; основним із них є форма розплаву пластику в поперечному перерізі. При проходженні розплаву через отвір круглого перерізу, а потім його нанесенні на плоску поверхню кожен надрукований ряд має овалоподібний переріз. Зі збільшенням швидкості переміщення друкарської голівки спостерігається місцеве витягування матеріалу та деформація його форми, що у кінцевому результаті призводить до утворення пір між

паралельними рядами та накладеними шарами.

Іншою важливою причиною, яка впливає на структуру виготовлюваної деталі та безпосередньо пов'язана зі швидкістю 3D-друку, є тривалість температурного впливу. Встановлено, що зменшення швидкості друку спричиняє збільшення передачі тепла через розплавлений пластик до вже сформованих шарів. Це сприяє утворенню кращої рівності поверхонь матеріалу, зменшенню кількості дефектів, зокрема пор. Навпаки, підвищення швидкості друку зменшує ступінь адгезії між шарами і рядами матеріалу, що негативно позначається на його цілісності.

Висота шару також відіграє значну роль у формуванні структури матеріалу. Зі збільшенням висоти шару зростає й об'єм утворюваних пор, що пов'язано з особливостями формування поперечного перерізу матеріалу. Мінімальна висота шару визначається розміром зазору між соплом друкарської головки і вже сформованим шаром. Під час екструзії розплавлений пластик заповнює цей зазор, причому збільшення висоти шару призводить до того, що поперечний переріз ряду наближається за формою до кола.

Зміна коефіцієнта подачі пластику також суттєво впливає на структуру матеріалу. Значення коефіцієнта менше 1,0 сприяє збільшенню розміру пор у матеріалі, тоді як підвищення цього коефіцієнта вище за 1,0 допомагає зменшити їх розміри. Водночас слід враховувати, що значення коефіцієнта, яке суттєво відрізняється від 1,0, може призводити до відхилень від заданої геометричної форми деталі.

Регулювання відсотка заповнення дозволяє суттєво змінювати масу деталі. Зниження цього параметра спричиняє утворення більших пор у структурі матеріалу, причому таке формування відбувається ще на етапі математичного моделювання завдання для друку. При цьому варто враховувати, що зазначений параметр впливає лише на внутрішню структуру наповнення, не зачіпаючи властивостей зовнішніх стінок деталі.

Температура екструзії відіграє ключову роль у формуванні структури виробу. Вищі температури сприяють зменшенню кількості та розмірів пор у матеріалі. Зазвичай виробники філамента зазначають рекомендований діапазон

робочих температур (наприклад, для ABS це може бути 240–270 °C). Вихід за межі цього діапазону може суттєво погіршити якість друку. Знижена температура може спричинити утворення пробок у тракті подачі пластику, тоді як надмірно висока температура викликає утворення повітряних бульбашок через закипання пластику. Крім того, перевищення рекомендованих температур може призводити до деформації деталі через надмірно низьку в'язкість розплаву.

На графічних матеріалах (рисунки 3.9 – 3.13) наведено приклади структури зразків, виготовлених із використанням різних режимів 3D-друку.

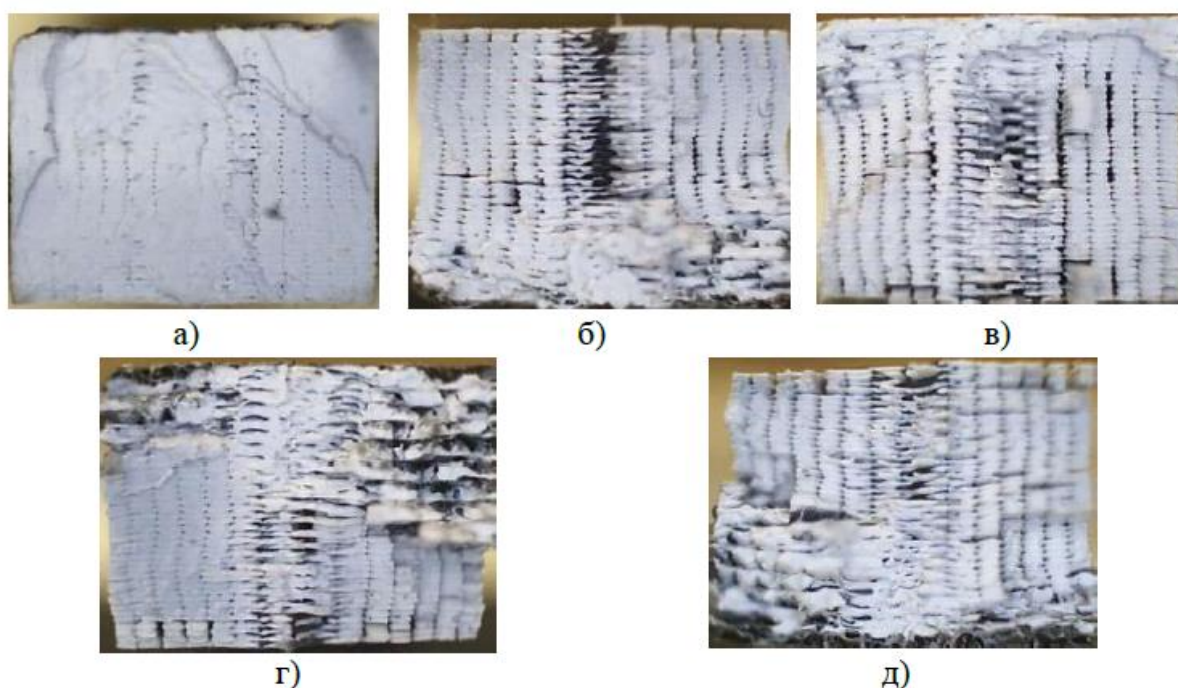


Рисунок 3.9 – Структура матеріалу, залежно від швидкості друку: 15 мм/с(а); 30 мм/с (б); 45 мм/с (в); 60 мм/с (г); 80 мм/с (д)

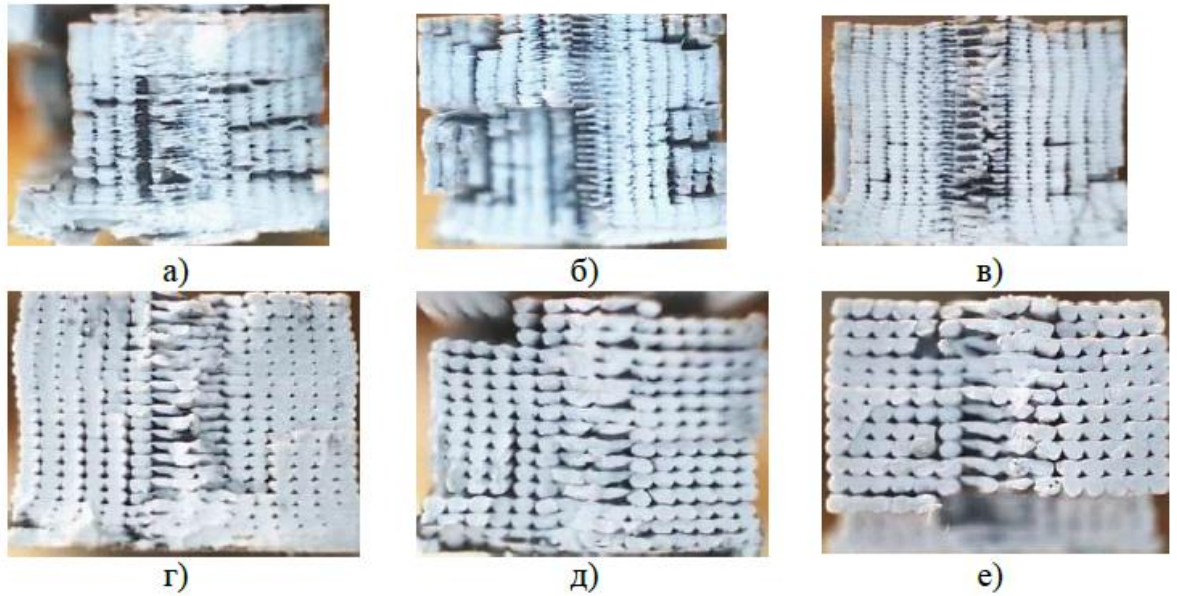


Рисунок 3.10 – Структура матеріалу, залежно від висоти шару: 0,03 мм(а); 0,06 мм (б); 0,1 мм (в); 0,2 мм (г); 0,25 мм (д); 0,3 мм(е)

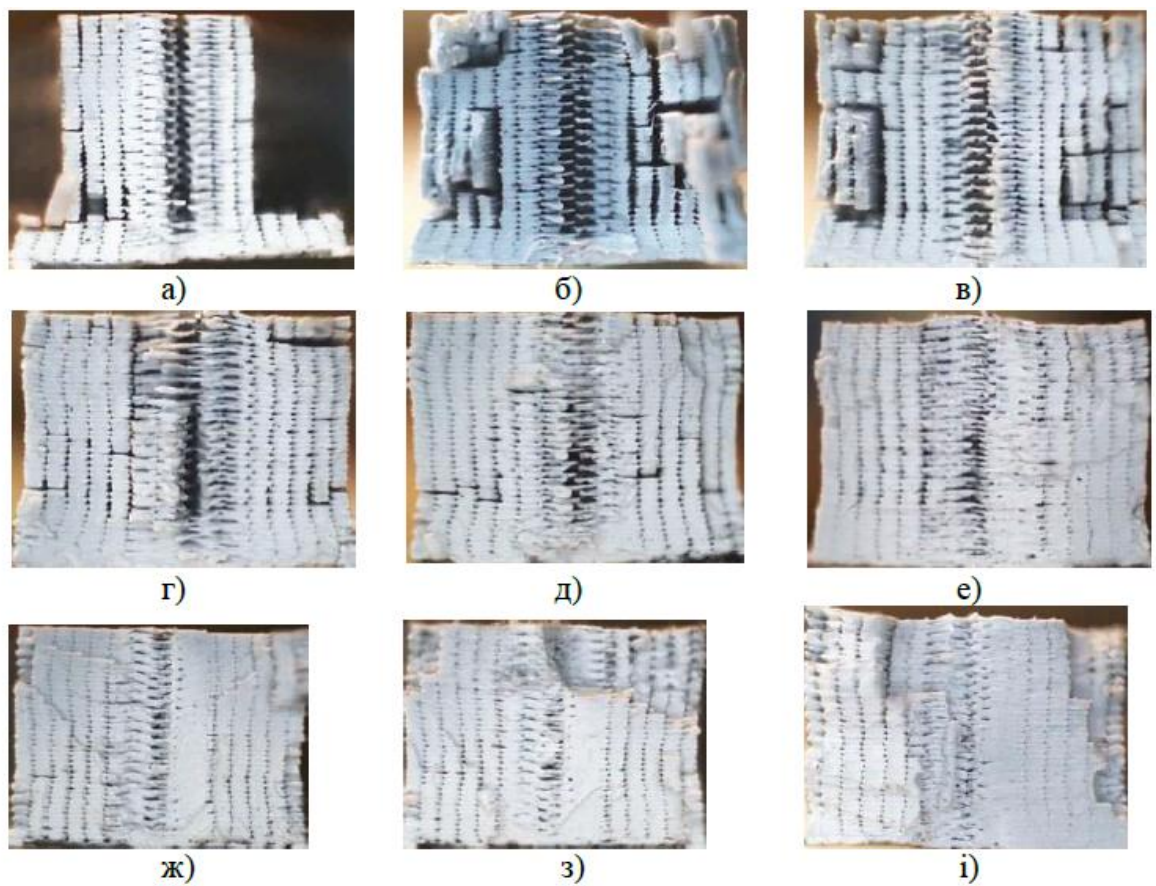


Рисунок 3.11 – Структура матеріалу залежно від коефіцієнта подачі: 0,9 (а); 0,925 (б); 0,95 (в); 0,975 (г); 1,0 (д); 1,025(е); 1,05 (ж); 1,075 (з); 1,1 (і)

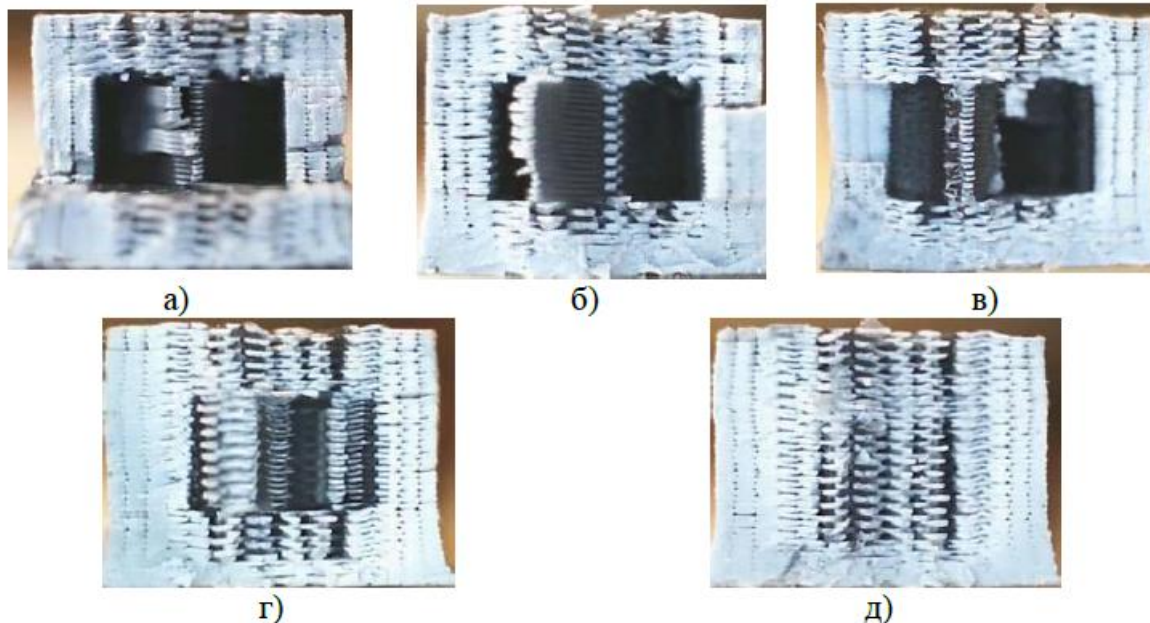


Рисунок 3.12 – Структура матеріалу залежно від відсотка заповнення: 20% (а); 40% (б); 60% (в); 80% (г); 100% (д)

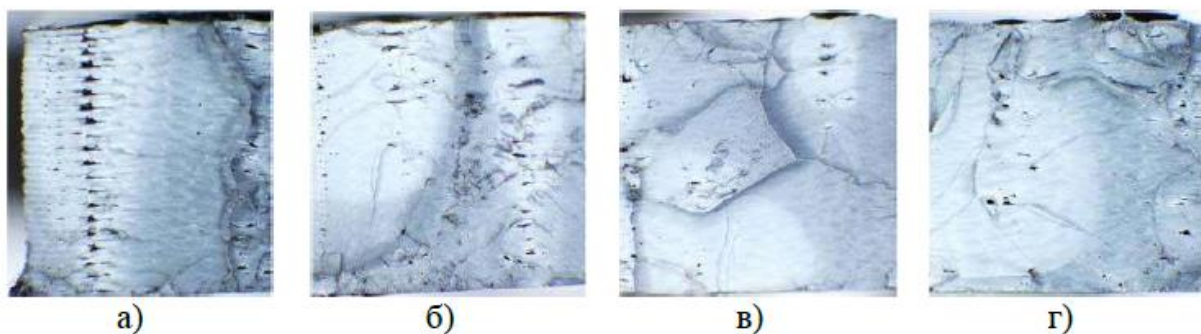


Рисунок 3.13 – Структура матеріалу, залежно від температури екструзії: 240 ° C (а); 250 ° C (б); 260 ° C (в); 270°С (г)

Формування структури деталей, виготовлених за допомогою адитивних технологій, можна здійснювати ще на етапі проєктування завдання. Важливо при цьому враховувати особливості процесу 3D-друку: параметри, які впливають на структуру всієї деталі загалом, а також ті, що змінюють лише окремі її елементи. Ретельний вибір цих параметрів дає змогу створювати компоненти зі специфічними властивостями та високою повторюваністю характеристик.

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

Коли перевищуються допустимі рівні динамічних навантажень, деталі дорожніх машин можуть зазнавати пошкоджень. З огляду на це слід дослідити вплив технологічних параметрів 3D-друку на в'язкопружні властивості пластмасових компонентів машин, створених за допомогою адитивних технологій.

Для аналізу в'язкопружних характеристик були виготовлені зразки на 3D-принтері Magnum Creative 2 Pro. Їхні розміри склали $50 \times 15 \times 10$ мм, а режими друку детально описані у таблиці 3.1.

Під час підготовки завдання на друк зразки розташовувалися на платформі принтера у двох різних орієнтаціях (див. рисунок 3.14). Такий підхід забезпечив варіативність у розташуванні шарів всередині надрукованих елементів.

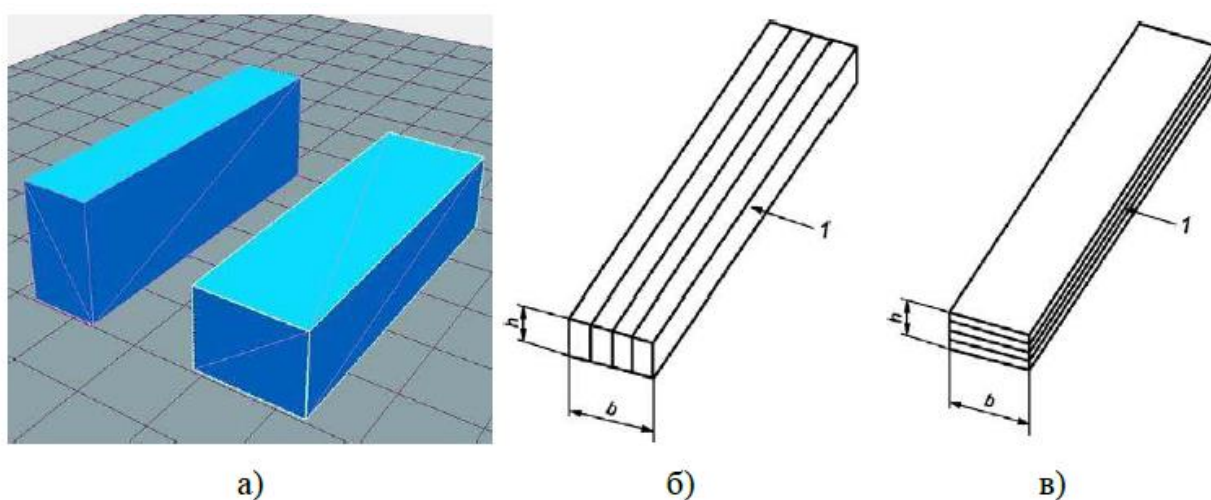


Рисунок 3.14 – Орієнтація зразків: під час друку (а); при ударі в ребро перпендикулярно шарам (б); при ударі в ребро паралельно шарам (в); 1 - напрям удару; h – висота зразка; b – ширина зразка

Під час вибору комбінацій параметрів друку враховувалися результати попередніх випробувань. Виготовлені зразки були розподілені на три групи.

Перша група складалася з контрольних зразків. До другої групи увійшли зразки, які зберігалися протягом 30 діб за температури -30°C у морозильній камері. У третій групі були зразки, витримані 30 діб за температури -50°C у кріостаті.

Результати аналізу показників ударної в'язкості дозволяють зробити наступні висновки. Висота шару має мінімальний вплив на зміну ударної в'язкості. Зростання швидкості друку спричиняє зменшення цього показника. Мала щільність заповнення (до 40%) сприяє зростанню ударної в'язкості, тоді як щільність у межах 60-80% знижує її. Максимальні значення цього параметра досягаються при повному (100%) заповненні. Найвищі показники ударної в'язкості були отримані при коефіцієнті подачі, рівному 1,0. Зменшення або збільшення цього коефіцієнта відносно 1,0 призводить до його зниження, хоча при коефіцієнтах подачі 1,05 і 1,1 ударна в'язкість вища, ніж при коефіцієнтах 0,9 або 0,95.

Застосування низьких температур (-30°C і -50°C) негативно впливає на ударну в'язкість, що пояснюється підвищеною крихкістю пластмас. Температурне зниження впливає неоднозначно: у деяких випадках ударна в'язкість за температури -50°C виявляється вищою, ніж за -30°C .

Отримані результати дозволяють визначити оптимальні параметри 3D-друку для досягнення необхідних показників міцності деталей. Використання певних структур заповнення сприятиме створенню деформованих елементів, придатних як для ремонту, так і для виготовлення деталей дорожньої техніки.

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

Полімерні компоненти дорожньо-будівельних машин під час їх експлуатації зазнають тривалого впливу робочих середовищ, таких як вода, мастила та інші рідини. У зимовий період додатковим фактором впливу стають протиожеледні реагенти, широко використовувані на дорогах. Сукупність цих чинників призводить до погіршення технічного стану деталей машин.

Виробництво пластмасових елементів для дорожніх машин методом тривимірного друку здійснюється за різними технологічними режимами, що безпосередньо впливає на формування структури виробу. Характеристика утвореної структури визначає здатність матеріалу до поглинання води, а також сприяє проникненню сторонніх домішок, зокрема хімічних речовин протижеледних реагентів, присутніх у значних концентраціях в дорожньому середовищі. З огляду на це, важливо вивчати вплив технологічних параметрів друку на водопоглинання виробів і їх хімічну стійкість до агресивних реагентів.

З метою дослідження були виготовлені зразки за різними технологічними режимами (див. таблицю 3.1). На етапі перед проведенням випробувань зразки зважували на високоточних вагах, після чого занурювали їх у ємності, заповнені водою. Тривалість витримки у водному середовищі становила 90 діб. Після завершення експериментального строку зразки витягували з ємності та залишали на відкритому повітрі протягом доби при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ для видалення поверхневої води. Зміни маси зразків порівняно із початковими показниками, виражені у відсотковому співвідношенні, наведено на рисунку 3.17.

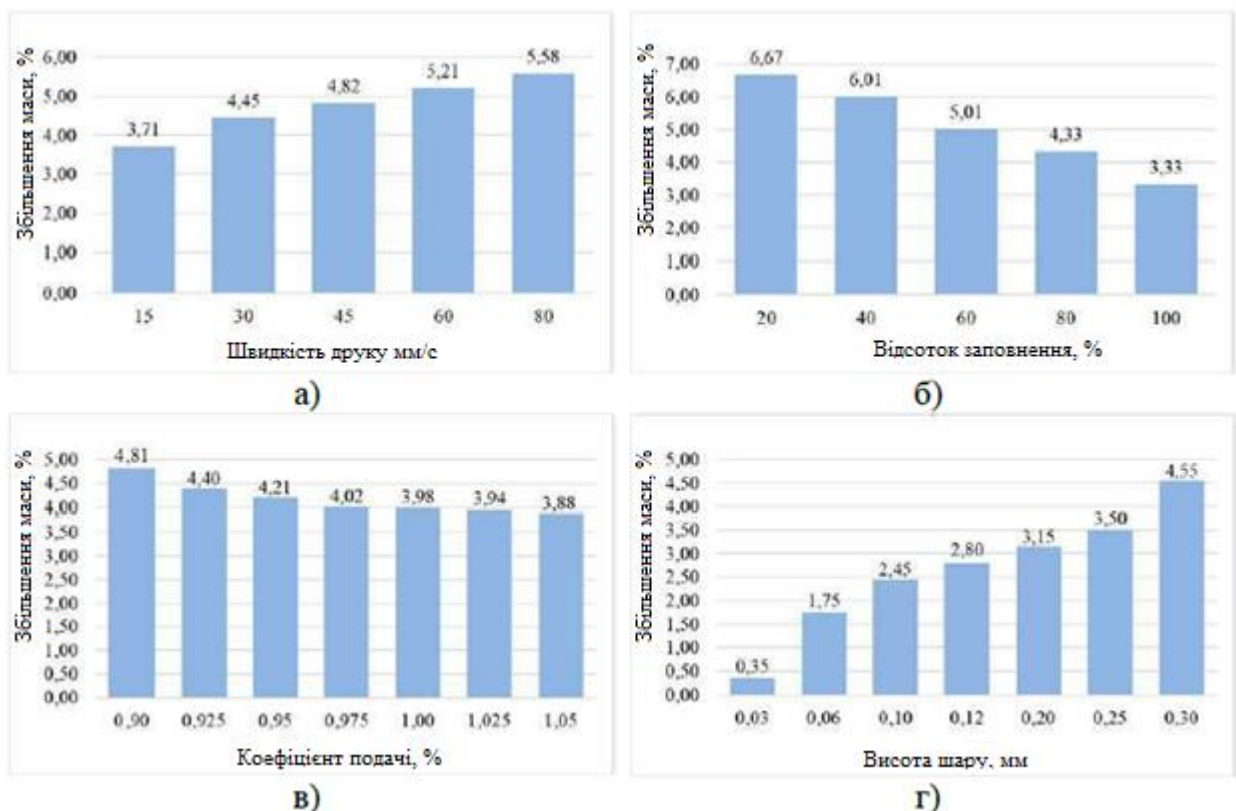


Рисунок 3.17 – Зміна водопоглинання зразків залежно від технологічних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); б) - відсотку заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, %(в); висоти шару, мм(г) води:

Такі закономірності змін водопоглинання зразків можна пояснити впливом параметрів друку на формування структури матеріалу, що детально розглянуто у розділі 3.1. Перед початком експерименту, а також після його завершення, було здійснено детальне вивчення структури досліджуваних зразків, результати якого наведено на рисунку 3.18.

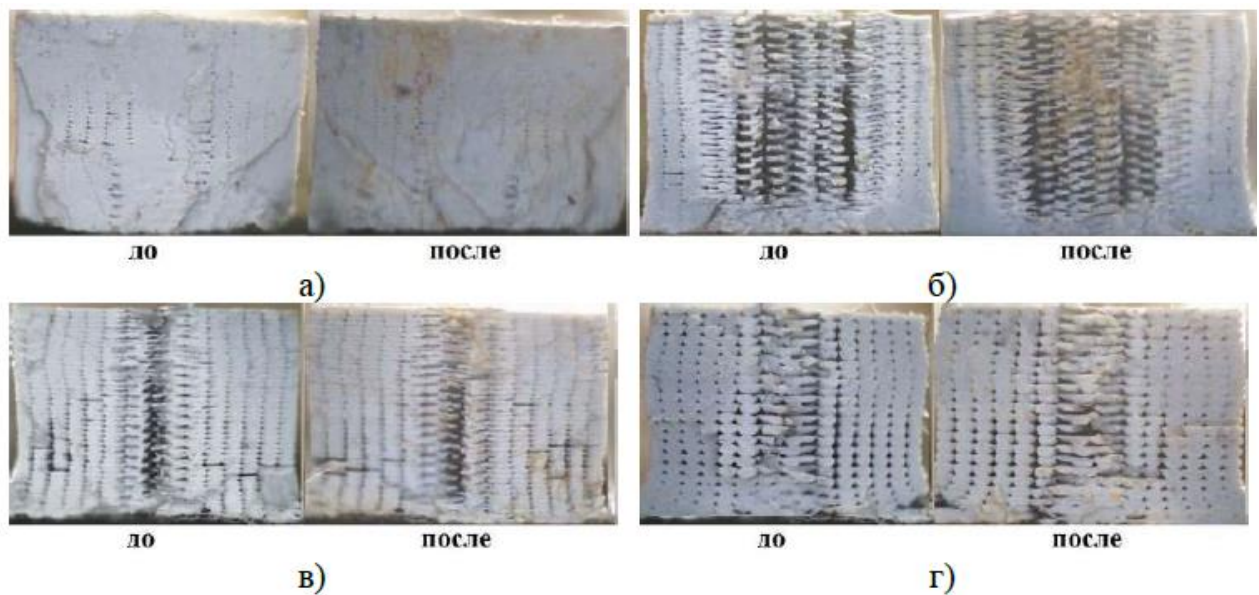


Рисунок 3.18 – Вплив хімічного середовища на структуру матеріалу залежно від різних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); відсотка заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, %(в); висоти шару, мм(г)

Дослідження засвідчили, що структура зразка з ABS-пластику не зазнає змін під впливом протижеледного реагенту, який використовується в зимовий період на автомобільних дорогах загального користування. У контексті ж стійкості до дії інших хімічних речовин, які широко застосовуються в машинобудівній галузі (зокрема, палива, моторного масла, охолоджувальних рідин та рідин для очищення фар), рекомендується спиратися на технічні характеристики матеріалів, надані в довідковій літературі з 3D-друку.

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

4.1. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей

Матеріалом, що використовується для технології FDM 3D-друку, є полімерна нитка, відома як філамент. У більшості випадків склад філаменту, окрім основного полімеру, включає різноманітні наповнювачі, які сприяють формуванню необхідних фізико-механічних характеристик, таких як колір, пластичність та міцність. На сучасному ринку 3D-друку представлена значна кількість варіацій філаментів, які розрізняються типом матеріалу та функціональним призначенням виготовлених виробів.

За відсутності готового філаменту для 3D-друку існує можливість його самостійного виробництва. Ця задача виконується за допомогою спеціалізованих екструдерних систем, які забезпечують отримання нитки з каліброваним діаметром, придатної для використання у процесах 3D-друку. Детальний технологічний процес створення філаменту для відновлення пластмасових деталей дорожніх машин зображено на рисунку 4.1.

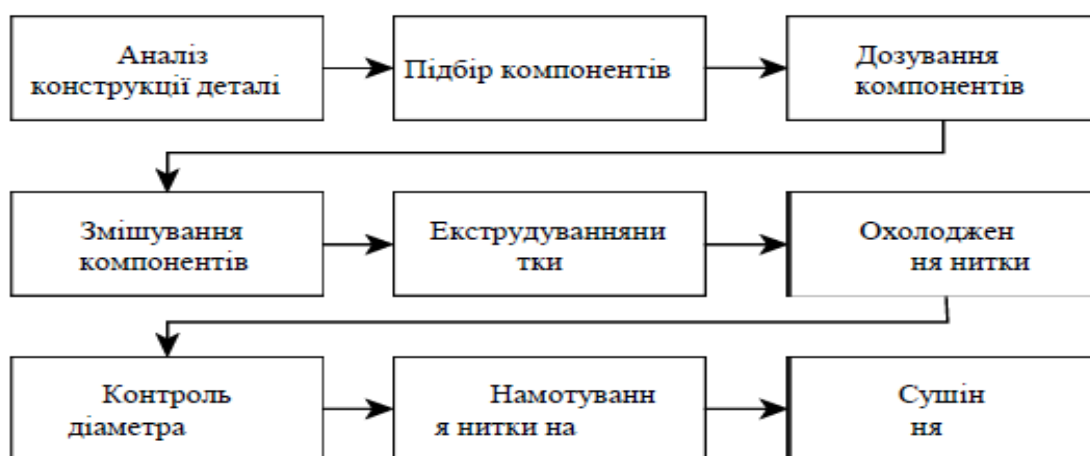


Рисунок 4.1 – Схема операцій технологічного процесу виготовлення філаменту для 3D-друку

Аналіз конструктивних особливостей деталі виконується з метою визначення відповідної марки матеріалу, умов її експлуатації та чинних навантажень. Характеристики умов роботи встановлюються на основі функціонального призначення деталі та її місця розташування у конструкції дорожньої машини. Навантаження, що впливають на деталь, визначаються за допомогою аналізу схеми її закріплення та виконуваних функцій. Усі визначені параметри служать основою для вибору складу полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), що здійснюється із застосуванням програмного забезпечення для автоматизованого підбору. Кожен компонент ПКМ дозується згідно з попередньо розрахованими масовими частками. З метою дозування можливо застосування різноманітних конструкцій дозаторів, таких як, наприклад, вагові пристосування (див. рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Дозатор сипучих матеріалів ваговий MAGIKON WA100



Рисунок 4.3 – Лінія для екструзії філаменту

Процес змішування складових полімерної композиції реалізується шляхом застосування спеціалізованих міксерів, що забезпечують рівномірний розподіл компонентів у середовищі. Наступним важливим етапом є безпосереднє виробництво полімерної нитки, що здійснюється на екструдерних лініях, які організовані таким чином, щоб послідовно виконувати низку технологічних операцій, зокрема екструдування, охолодження, сушіння, контроль геометричних параметрів нитки та намотування на бобіни (див. рис. 4.4).

Серед найбільш значущих технологічних параметрів, які істотно впливають на якість кінцевого продукту, особливу увагу приділяють температурі розплаву та тиску. Контроль тиску є критично важливим для забезпечення стабільності якості витягнутої нитки: коливання цього показника з часом призводять до небажаних змін діаметра філаменту. Температурний контроль виконується окремо для різних ділянок екструдера, що дозволяє оптимізувати параметри в'язкості розплаву полімеру та регулювати швидкість процесу екструдування.

У ході охолодження полімерна нитка проходить через спеціальні резервуари, наповнені водою, температура якої суворо регулюється та підтримується на постійно заданому рівні для забезпечення стабільності процесу тверднення матеріалу. Після виходу з водяної ванни нитка піддається обдуву повітряним потоком, що сприяє первинному сушінню перед проведенням наступного етапу — контролю діаметра.

Вимірювання геометричних параметрів філамента здійснюється завдяки безконтактним методам, які характеризуються високою точністю та надійністю. Найбільш розповсюдженим є використання лазерних тінювих датчиків — технології, що забезпечує швидкий і точний аналіз параметрів нитки (див. рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Лазерний вимірник діаметра EAST ALPHA LST-25

Зазначений принцип вимірювання базується на розміщенні досліджуваного прутка у проміжку між лазерним випромінювачем і фоточутливою матрицею. Лазерний промінь, проходячи крізь систему оптичних лінз, формує прямокутний односпрямований пучок світла. Оскільки філамент розташований поміж випромінюючим елементом та приймачем, він створює тінь на чутливій матриці приймача. Вбудований у систему вимірювання процесор аналізує площу утвореної тіні для визначення діаметра контрольованого об'єкта. В сучасних 3D-принтерах зазвичай застосовується філамент із номінальним діаметром 1,75 мм із допустимим відхиленням $\pm 0,03$ мм.

Перед процесом намотування на котушки полімерна нитка проходить крізь механізм протяжки, який суттєво впливає на формування її діаметра. Потім нитка спрямовується в намотувальний механізм, де здійснюється її укладання на котушки.

Після завершення намотування котушки з полімерною ниткою

піддаються кінцевому сушінню у спеціалізованій сушильній шафі. Оптимальна температура сушіння залежить від матеріалу філамента; відповідні дані представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Температура сушіння різних матеріалів

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

Після завершення сушіння філаментні котушки можна одразу використовувати для друку. Якщо ж потрібно зберігати їх тривалий час, вони запаковуються у вакуумну упаковку.

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

Розроблена технологія відновлення пластмасових компонентів дорожніх машин базується на використанні прогресивного методу 3D-друку для забезпечення їх подальшої експлуатаційної функціональності. Як зазначено в попередній частині дослідження (розділ 1.3), під час експлуатації подібних деталей спостерігається їх часткове пошкодження або втрата окремих конструктивних елементів. У розділі, що супроводжується схемою, наведено блок-схему процесу ремонту пластмасових елементів із неповним складом, яка ілюструє ключові етапи запропонованої технології.

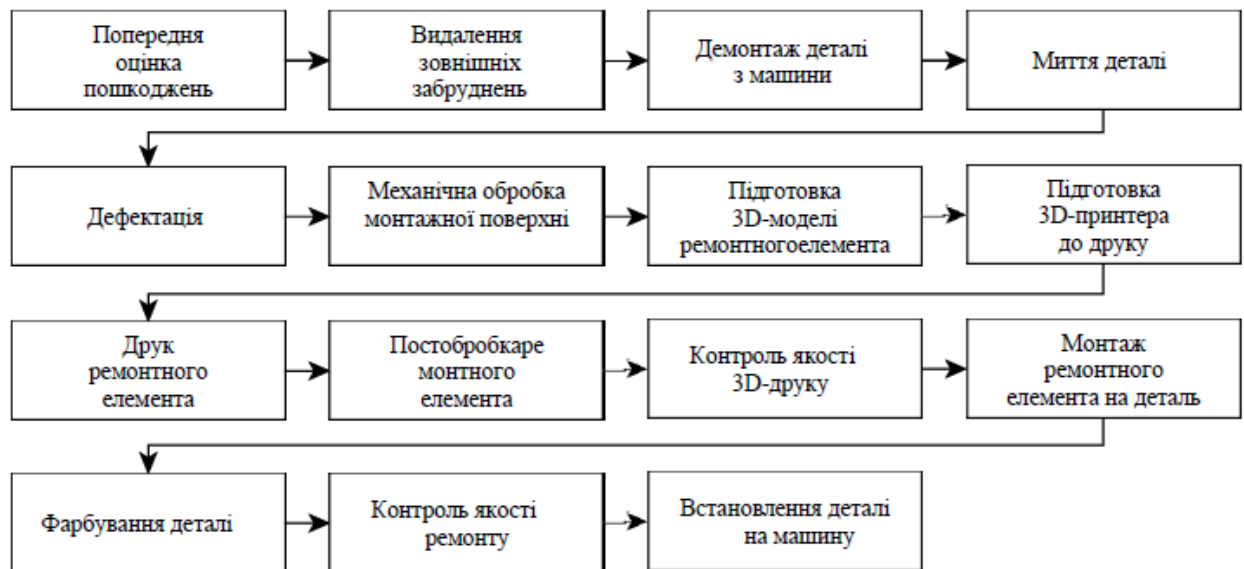


Рисунок 4.5 – Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням адитивних технологій

Згідно із запропонованою методикою, процес ремонту пластикових деталей розпочинається з попереднього аналізу пошкоджень деталі в умовах її установки на автомобілі. На цьому етапі проводиться вивчення конфігурації деталі, методів її закріплення, а також оцінка механічних навантажень, які виникають під час експлуатації. У випадках, коли деталь була попередньо демонтована або її кріпильні елементи зазнали пошкоджень, огляд здійснюється окремо, без врахування її інтеграції з машиною. У разі виявлення значних забруднень на поверхні деталі, рекомендується їх усунення із застосуванням відповідних методик очищення, включаючи, наприклад, миття під високим тиском.

Наступний етап передбачає демонтаж ушкодженої деталі з транспортного засобу. Особливу увагу слід приділити ідентифікації та вилученню окремих кріпильних компонентів, які можуть залишатися на конструкції автомобіля через руйнування деталі. У разі виявлення таких елементів необхідно здійснити оцінку можливостей їх подальшого використання під час відновлення пошкодженої деталі.

Після процедури демонтажу деталь піддається ретельному очищенню з метою повного видалення експлуатаційних забруднень. Завершивши процес

миття, необхідно виконати сушіння виробу для забезпечення повної відсутності вологи на його поверхнях, що може бути досягнуто шляхом обробки стисненим повітрям.

Наступним етапом у процесі відновлення деталі є її дефектація, що виконується з метою ідентифікації точного переліку наявних дефектів, визначення їх типів, розмірів та місця розташування. Ця процедура може проводитися візуально або з використанням спеціалізованого вимірювального обладнання, коли це необхідно. Окрім виявлення дефектів, у цьому ж етапі здійснюється аналіз маркувань, наявних на деталі. Проведення дефектації є важливим у двох аспектах: по-перше, воно дозволяє створити облік ремонтних компонентів та точно ідентифікувати номенклатурний артикул деталі; по-друге, аналіз матеріалу виготовлення є необхідним для вибору відповідного відновлювального матеріалу, зокрема філаменту. Уся отримана інформація щодо дефектів та властивостей матеріалу фіксується у спеціальній карті дефектації.

Наступним критичним етапом є механічна підготовка поверхні деталі під подальше застосування ремонтного елемента. Ця підготовка виконується з використанням пневматичного абразивного або ріжучого інструменту. Під час механічної обробки важливо уникати перегріву деталі через надмірну тривалість впливу, оскільки це може негативно вплинути на її властивості. Параметри обробки обираються відповідно до типу матеріалу деталі.

Проектування 3D-моделі ремонтного елемента здійснюється за допомогою програмних засобів автоматизованого проектування, таких як AutoCAD 3D, SolidWorks, КОМПАС-3D тощо. У процесі моделювання необхідно враховувати коефіцієнт усадки матеріалу та вимоги до наступної постобробки, оскільки вони впливають на фактичні розміри готового виробу. Коригування моделі на стадії проектування для врахування усадки матеріалу та подальшої механічної обробки виконується шляхом масштабування геометрії моделі за кожною з координатних осей. Остаточну створену 3D-модель зберігають у форматі STL, який сумісний із програмами для підготовки завдань друку.

Перед друком ремонтного елемента здійснюється підготовка завдання друку. Файл моделі у форматі STL імпортується до слайсер-програми, де визначається найбільш оптимальна орієнтація виробу в просторі та обирається опорна поверхня, яка слугуватиме базою для формування всієї деталі. При цьому важливо мінімізувати наявність моделей із висотно-висячими елементами, віддавати перевагу максимальній за площею базовій поверхні та уникати горизонтально розташованих отворів. Робочі параметри друку визначаються відповідними комп'ютерними системами для автоматизованого налаштування режимів друку.

Після формування завдання друку потрібна ретельна підготовка 3D-принтера до експлуатації. На цьому етапі здійснюється завантаження філаменту, калібрування робочого столу та нанесення спеціальних адгезійних складів для покращення зчеплення першого шару матеріалу зі столом [89]. Завантаження матеріалу та калібрування здійснюються згідно з інструкціями до конкретної моделі обладнання. Калібрування столу відіграє ключову роль, оскільки воно визначає якість друку першого шару і впливає на якісні характеристики всієї деталі. Процедура калібрування спрямована на встановлення паралельності площини столу та траєкторії руху друкуючої голівки. У свою чергу, нанесення адгезійного складу забезпечує необхідне прилипання полімерного матеріалу і зменшує ризик деформацій виробу під час друку. Як адгезійні склади зазвичай використовуються розчини.

Друк ремонтного виробу має здійснюватися в умовах стабільних параметрів, які визначаються на етапі підготовки завдання для друку. Рекомендується використовувати 3D-принтер із закритою зоною друку, оскільки це сприяє мінімізації термічних деформацій у процесі створення виробу. Після завершення друку необхідно дозволити виробу охолонути разом із платформою принтера. Тільки після повного охолодження слід знімати надрукований детальний елемент із поверхні робочої платформи 3D-принтера.

Після завершення процесу 3D-друку ремонтного компонента необхідно виконати постобробку з метою досягнення заданих параметрів якості поверхні та видалення матеріалів підтримуючих структур. Постобробка передбачає

виконання трьох основних етапів. На першому етапі здійснюється видалення підтримуючих структур. Спосіб їх видалення залежить від матеріалу, використаного для створення цих структур. Якщо підтримки виготовлені з матеріалу, ідентичного основному, процес видалення виконується виключно механічним шляхом. У випадку застосування іншого матеріалу для підтримуючих структур, їх усунення може бути реалізовано хімічним методом шляхом занурення виробу у спеціальний розчинник.

Другий етап постобробки передбачає механічне оброблення з метою зниження рівня шорсткості поверхні ремонтного елемента. Ця стадія включає використання абразивних засобів, наприклад, наждачного паперу з поступовим зменшенням розміру зернистості абразиву до досягнення необхідної якості поверхні.

Завершальний етап полягає у хімічній обробці ремонтного елемента. Наприклад, вироби, надруковані з пластику ABS, обробляються випаровуванням у середовищі ацетону, що сприяє покращенню зовнішнього вигляду та забезпеченню рівнішої поверхні.

У завершальній частині технологічного процесу ремонту передбачається проведення контрольної операції після постобробки. Основною метою цього етапу є перевірка відповідності параметрів отриманого виробу заданим технічним вимогам. Контроль просторової геометрії може проводитися за допомогою універсальних вимірювальних інструментів, таких як мікрометри, нутроміри та штангенциркулі. Також можливе застосування сучасних методів сканування геометрії виробу за допомогою 3D-сканерів, що дозволяє отримати точні дані про форму й розміри виготовленої деталі.



Рисунок 4.6 – 3D-сканер RangeVision Spectrum

У разі підтвердження відповідності ремонтного елемента встановленим технічним вимогам, він інтегрується до деталі, що підлягає відновленню. Перед здійсненням монтажу необхідно провести процес знежирення поверхонь, які підлягають з'єднанню. З метою забезпечення безпеки процедури обробки, слід попередньо переконатися в хімічній нейтральності використаного знежирювального засобу щодо матеріалу елементів, які ремонтуються. Знежирювальний розчин наноситься на чисту тканину бавовняного типу, після чого нею ретельно обробляють усі поверхні. Після завершення процедури обробки необхідно витримати певний період часу, щоб залишки знежирювача повністю випарувалися з обробленої поверхні.

Підготовлений ремонтний елемент встановлюється на попередньо підготовлений монтажний майданчик деталі, що ремонтується, і фіксується у визначеному положенні згідно з технологічними вимогами. Завершальний етап контролю якості проводиться за допомогою високоточних вимірювальних приладів та спеціалізованого обладнання, такого як 3D-сканери. У разі підтвердження якісного виконання ремонту, деталь монтуються на обладнання згідно з інструкціями, що надаються заводом-виробником.

4.3. Приклад використання 3D друку для створення деталі автомобіля

У якості прикладу наведено побудову моделі та етапи підготовки до друку деталі «Кришка». Для побудови 3д моделі використовуємо програму Solidworks.

1.1 Обираємо фронтальну площину для побудови ескізу (рис. 4.7)

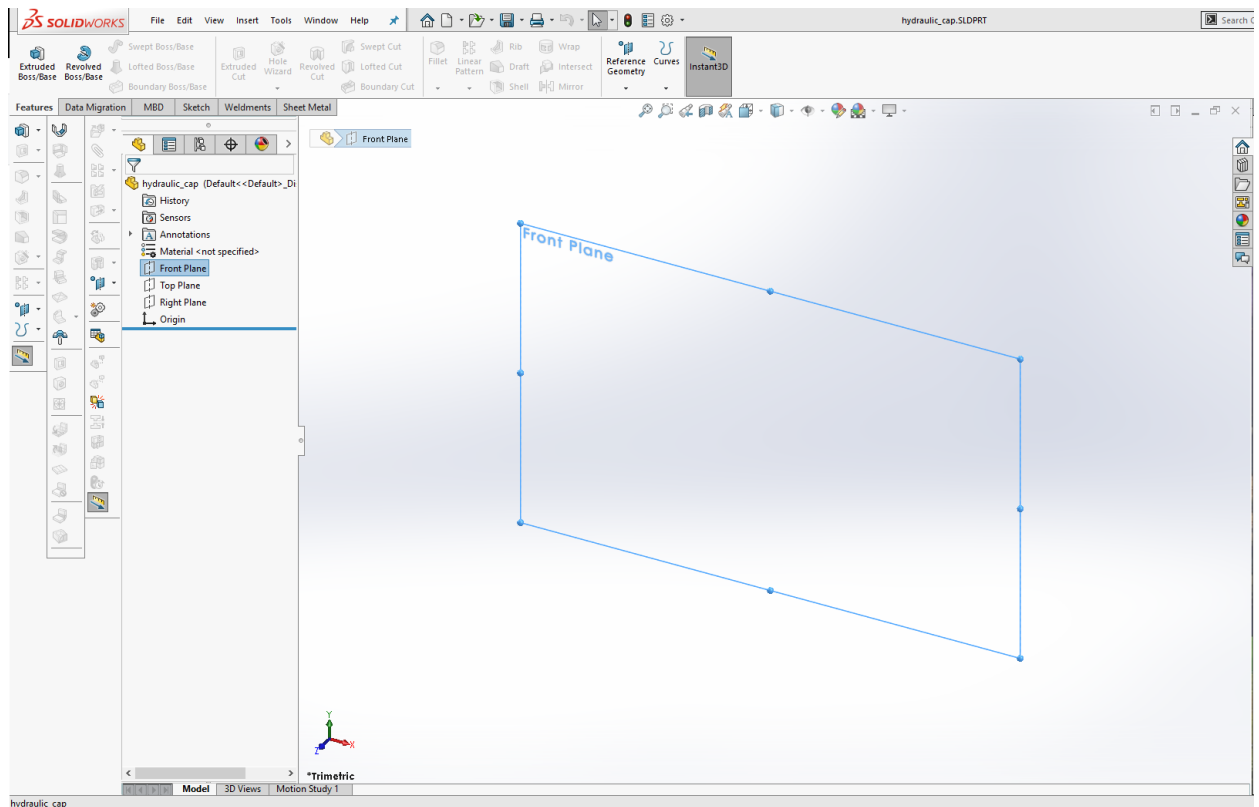


Рис. 4.7. Вибір площини для побудови ескізу деталі.

1.2 Використовуючи інструменти побудови ескізів будуємо ескіз моделі (рис. 4.8)

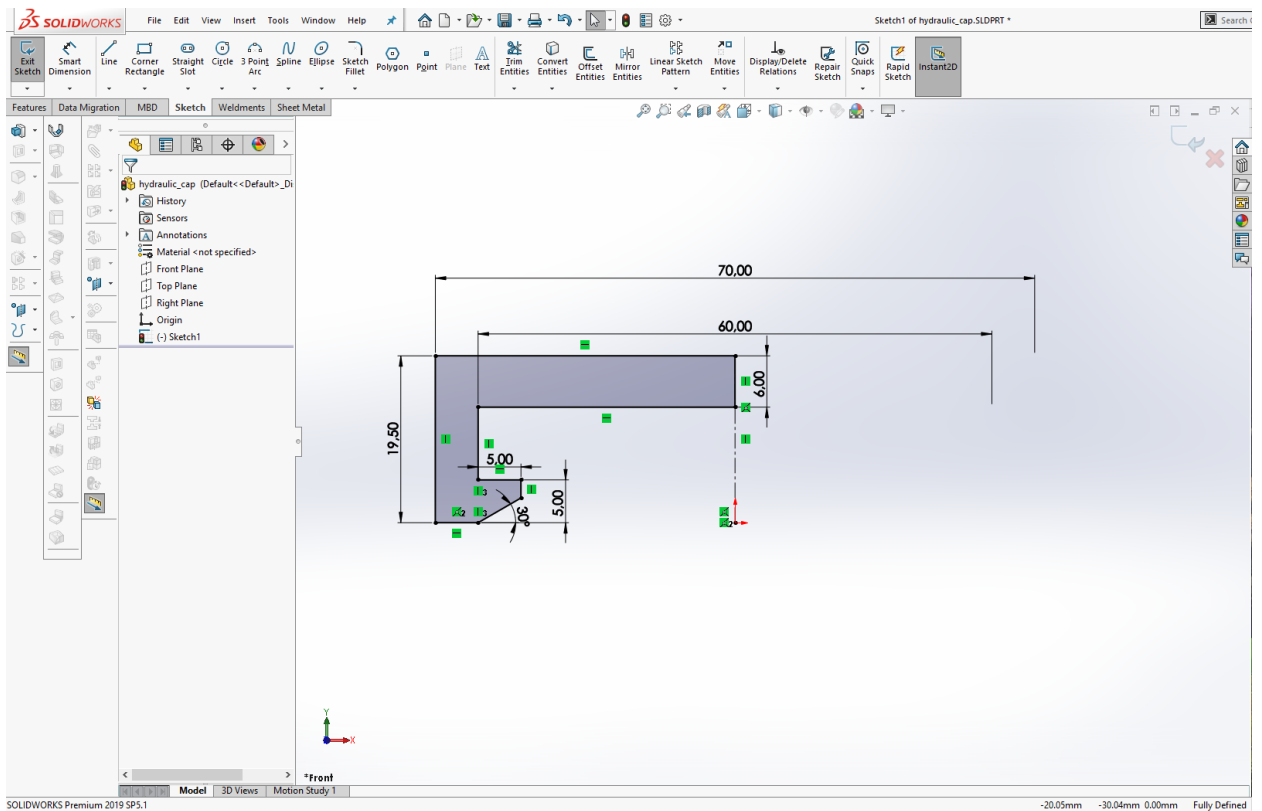


Рис. 4.8. Побудова ескізу деталі

1.3 За допомогою інструменту «повернута бобишка» робимо твердотільну деталь (рис. 4.9).

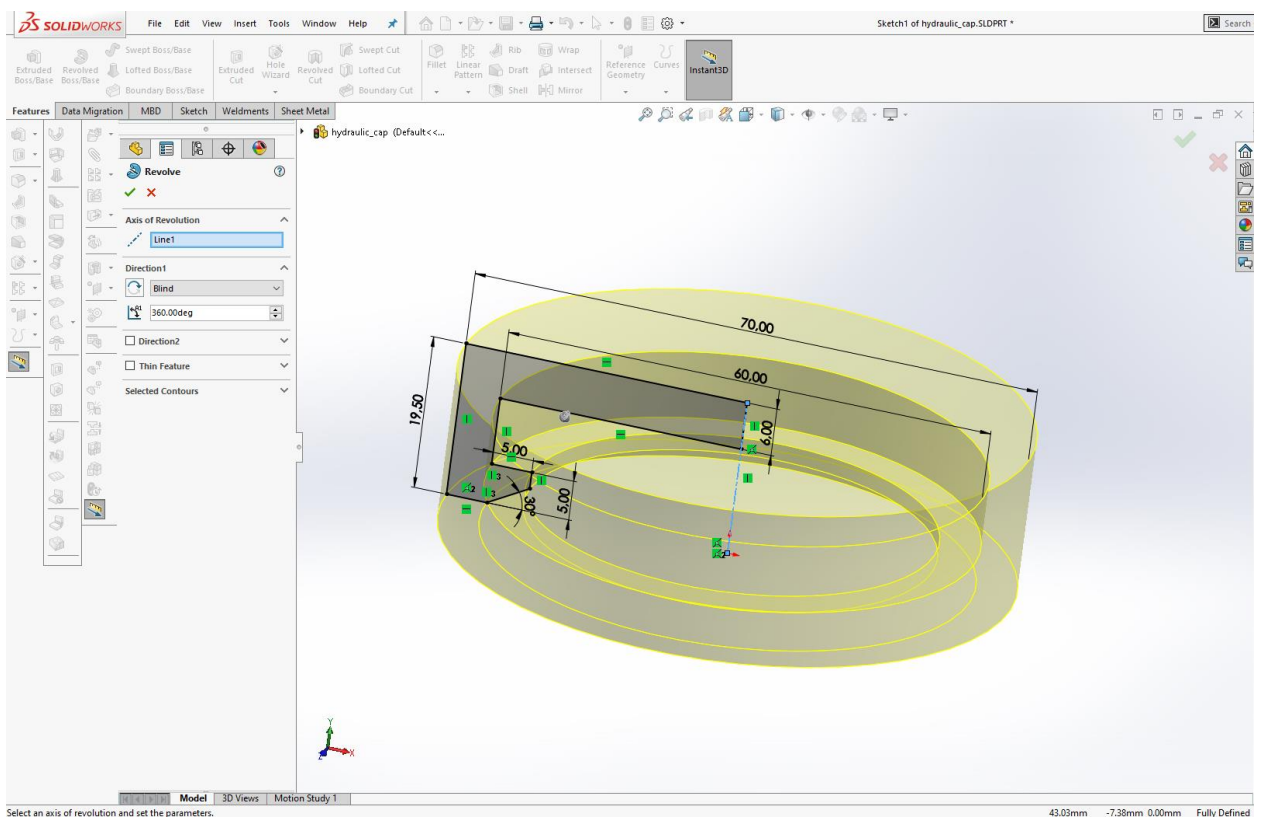


Рис. 4.9. Побудова твердотільної моделі

1.4 На утворені нижній площині будуємо ескіз для гачків фіксації (рис. 4.10).

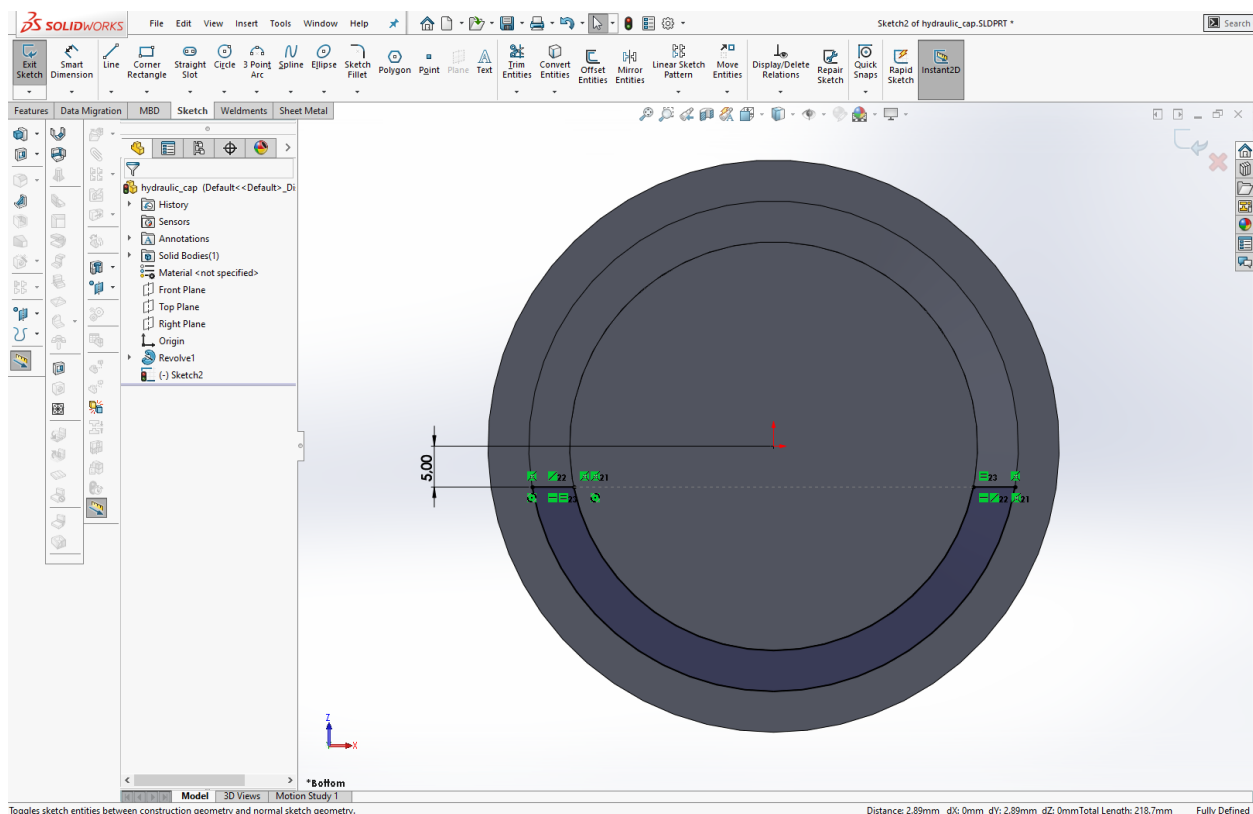


Рис. 4.10. Побудова ескізу гачків

1.5 За допомогою інструменту «віддзеркалення ескізу» робимо дзеркальне відображення ескізу (рис. 4.11).

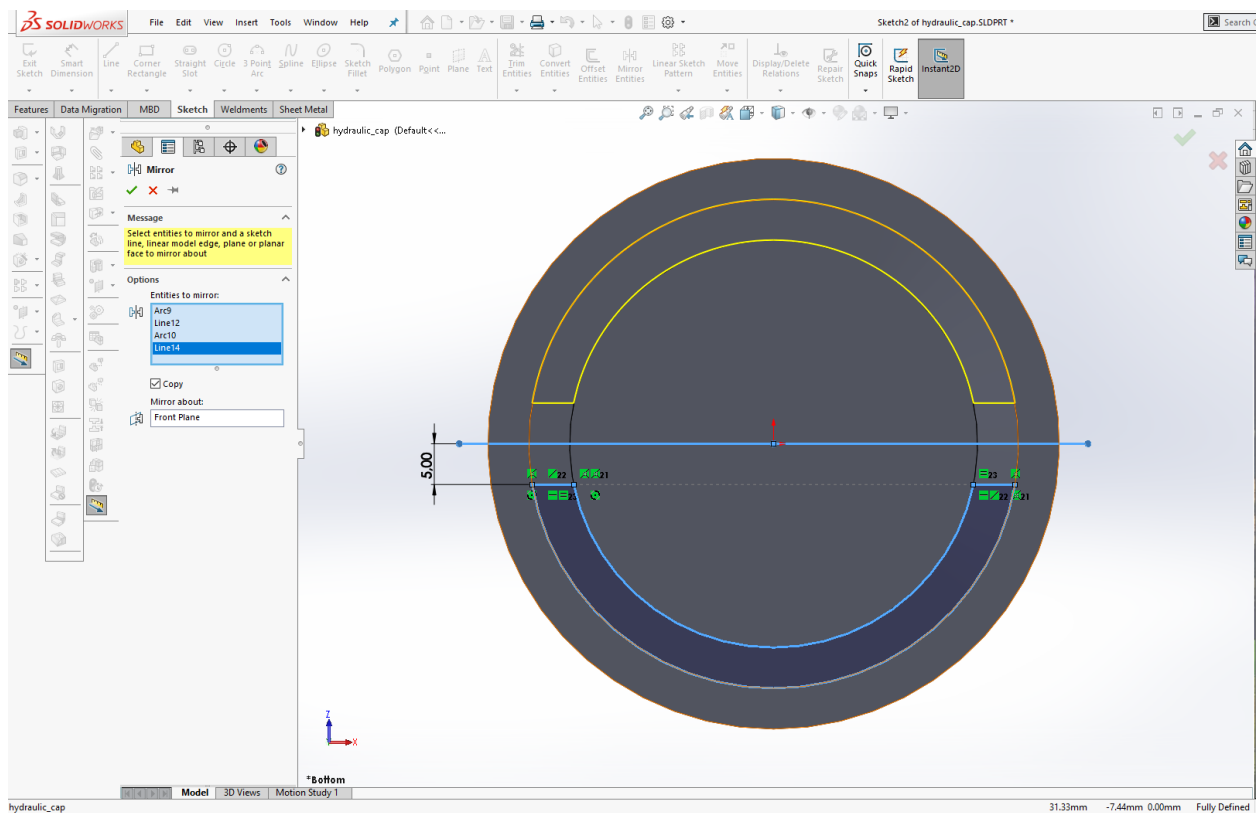


Рис. 4.11. Дзеркальне відображення ескізу

1.6 Вирізаємо ескіз за допомогою інструменту «витягнутий виріз» (рис. 4.12)

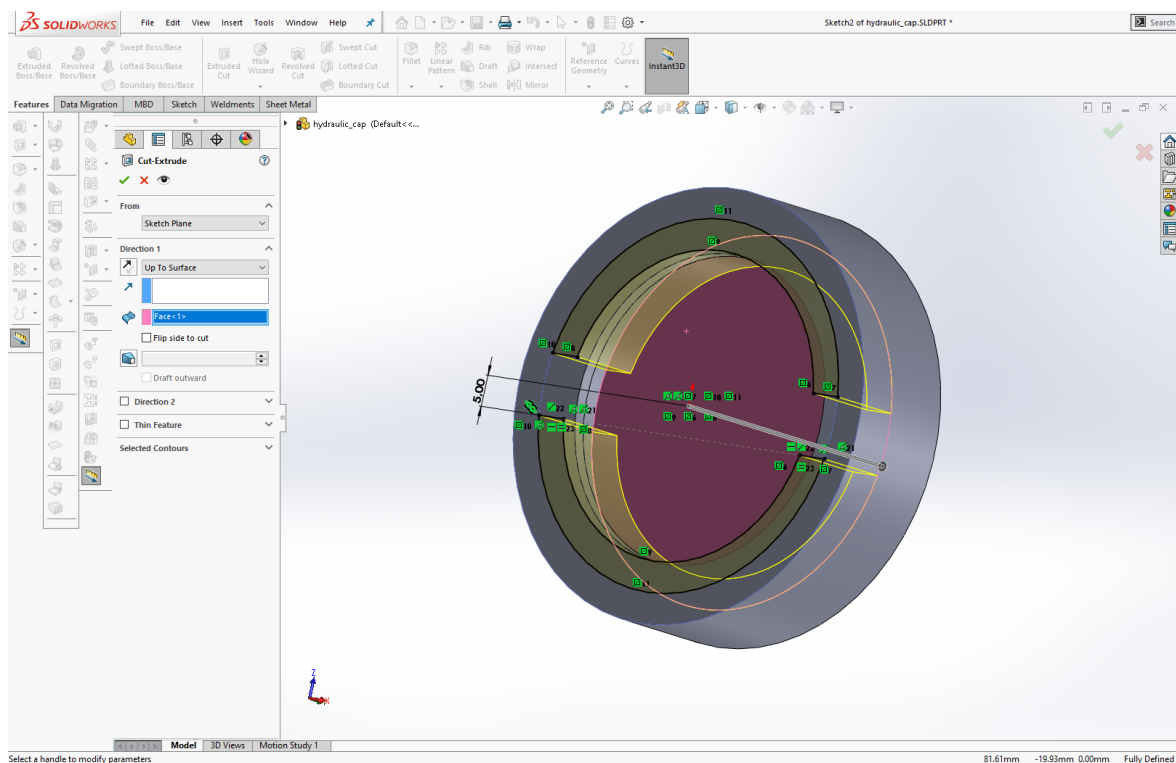


Рис. 4.12. Вирізання ескізу

1.7 Додаємо фаску не більше 30 градусів для 3д-друку без використання підтримок (рис. 4.13).

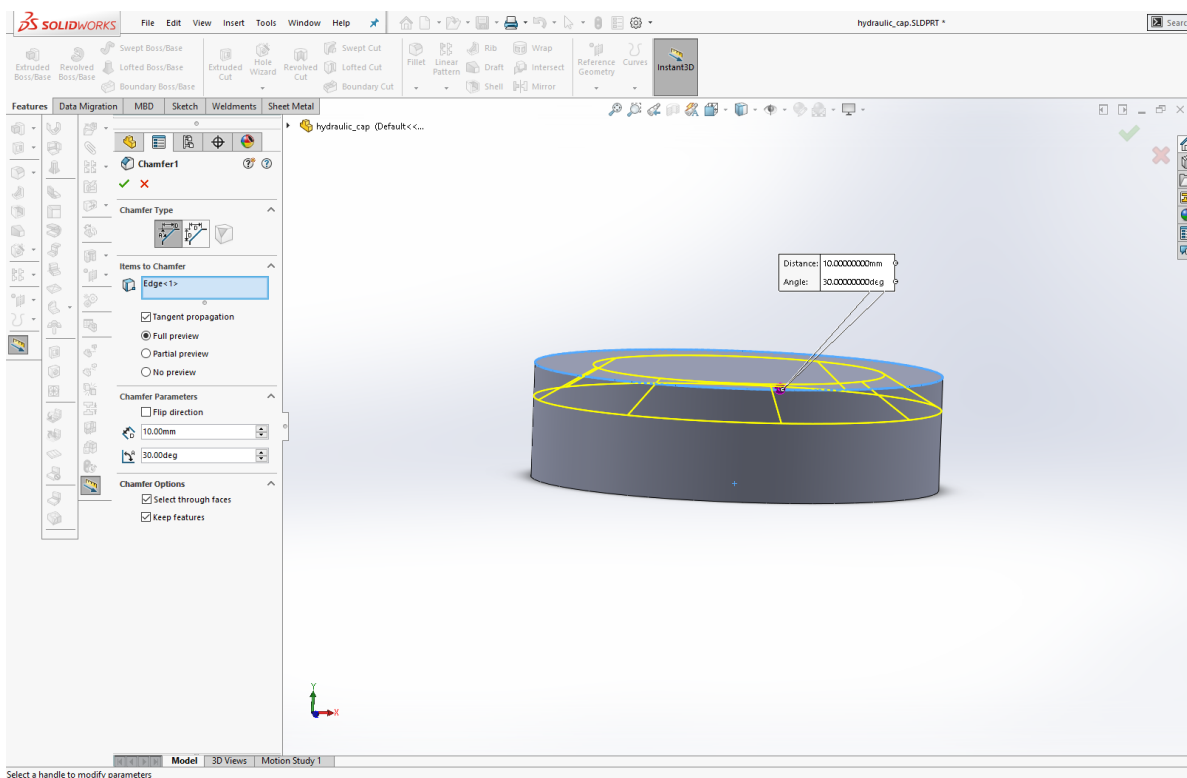


Рис. 4.13. Додавання фаски

1.8 Додаємо заокруглення (рис. 4.14)

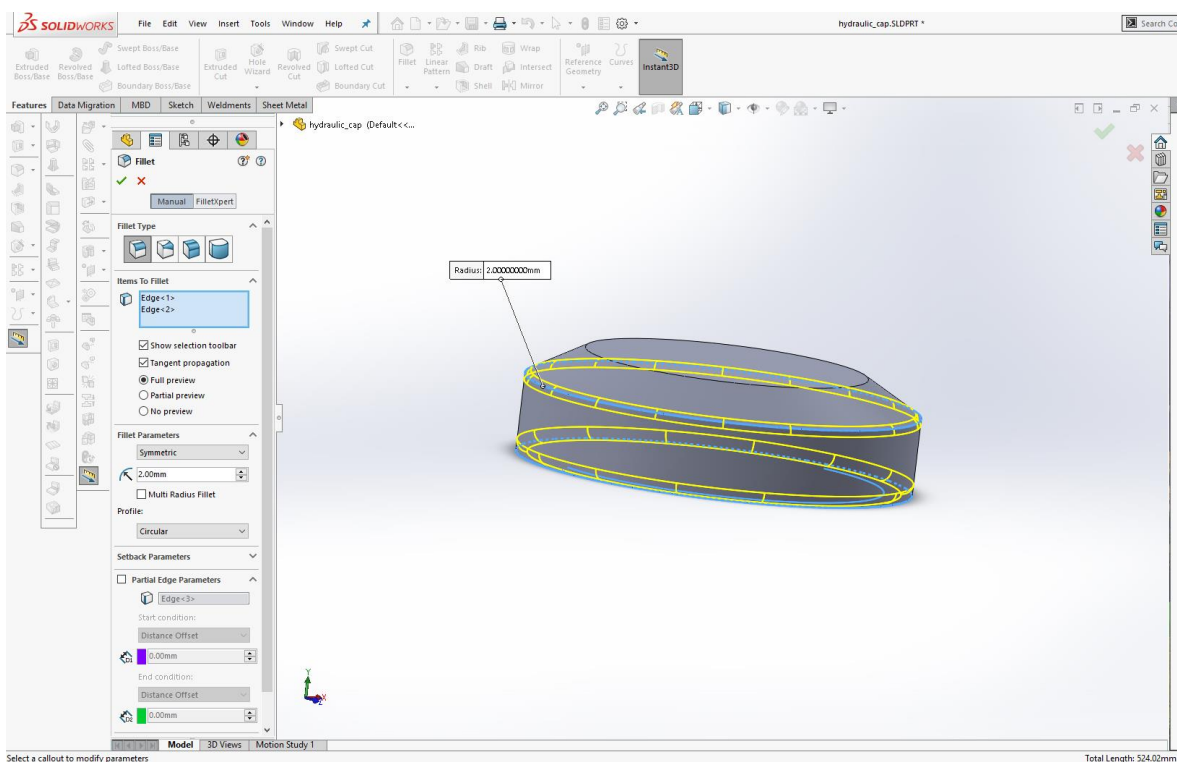


Рис. 4.14. Додавання заокруглень

1.9 Створюємо ескіз вирізу «під пальці» (рис. 4.15).

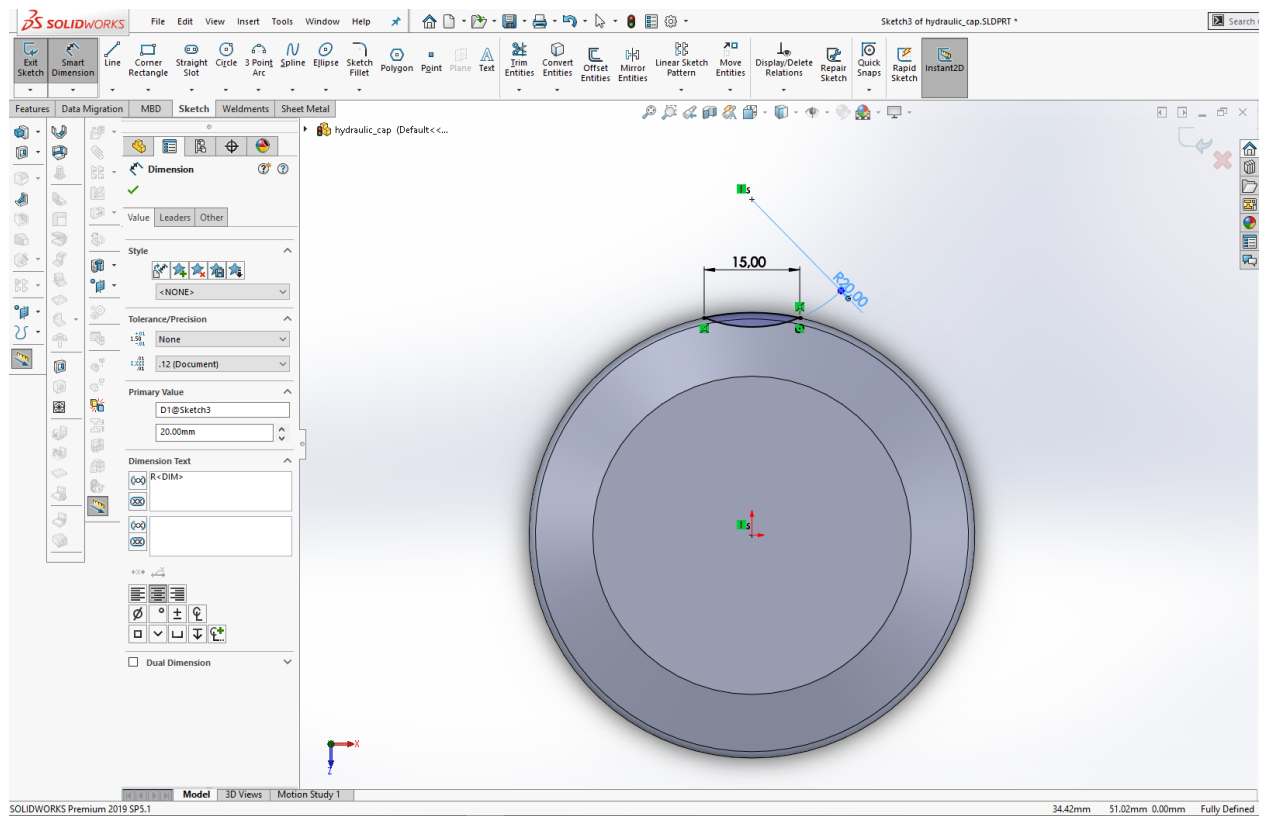


Рис. 4.15. Додавання ескізу вирізу

1.10 Вирізаємо за допомогою інструменту «витягнутий виріз» (рис. 4.16)

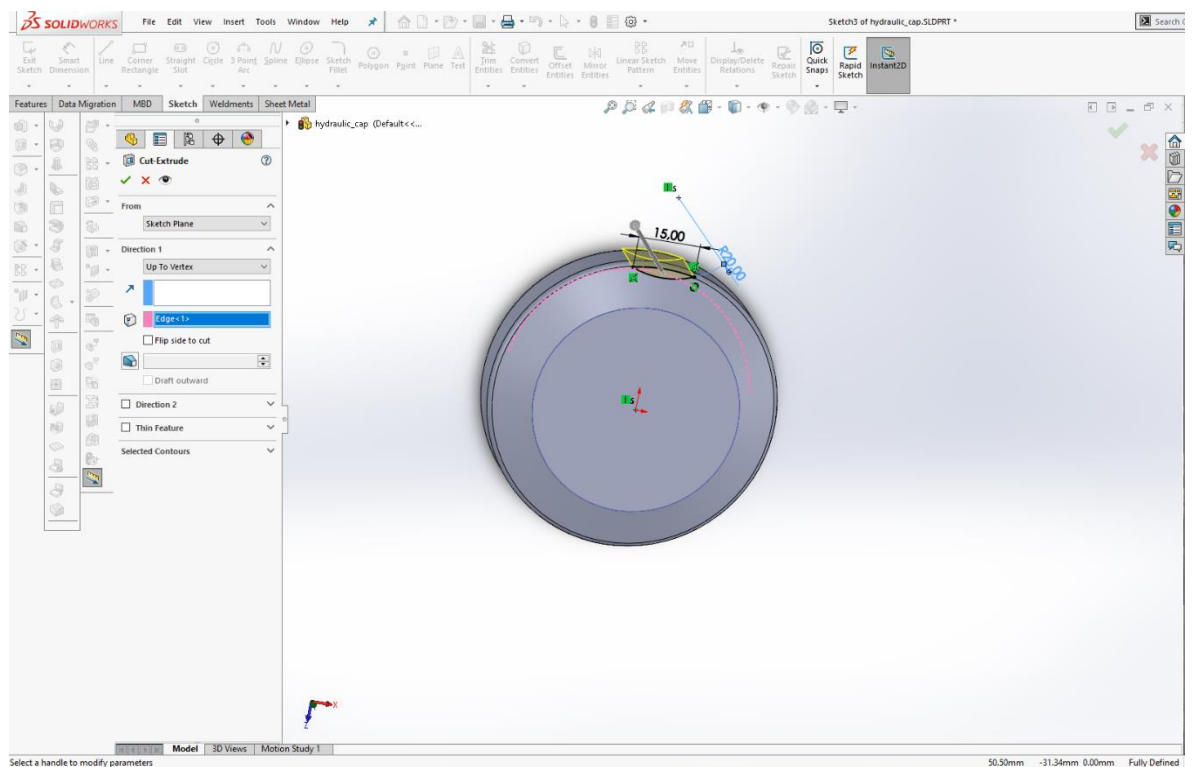


Рис. 4.16. Вирізання ескізу

1.11 За допомогою інструменту «круговий масив» додаємо інші вирізи і отримуємо готову 3д модель, яку зберігаємо в форматі .STEP/.STL (рис. 4.17).

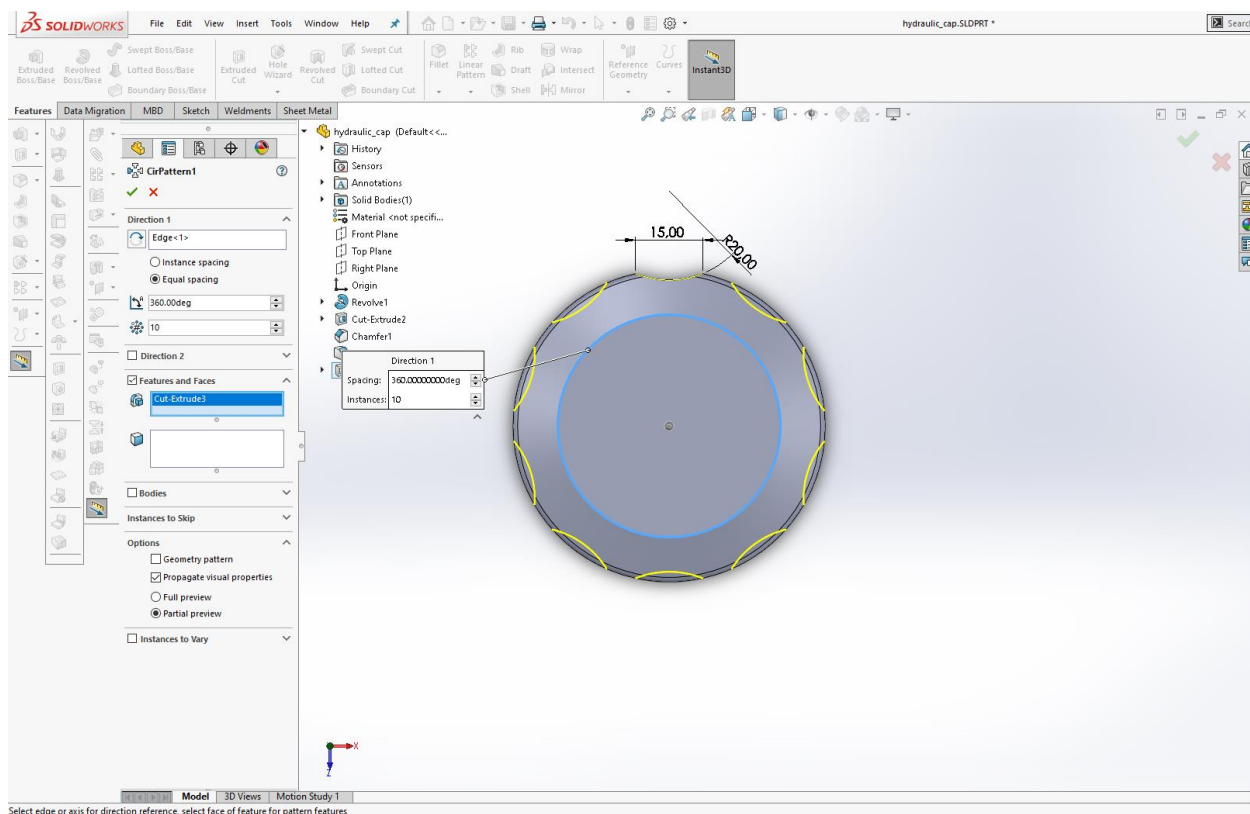


Рис. 4.17. Застосування інструменту «Круговий масив»

2.1 Імпортуємо 3D-модель в слайсер для нарізки і формуємо підтримки для зубців фіксації (рис. 4.18)

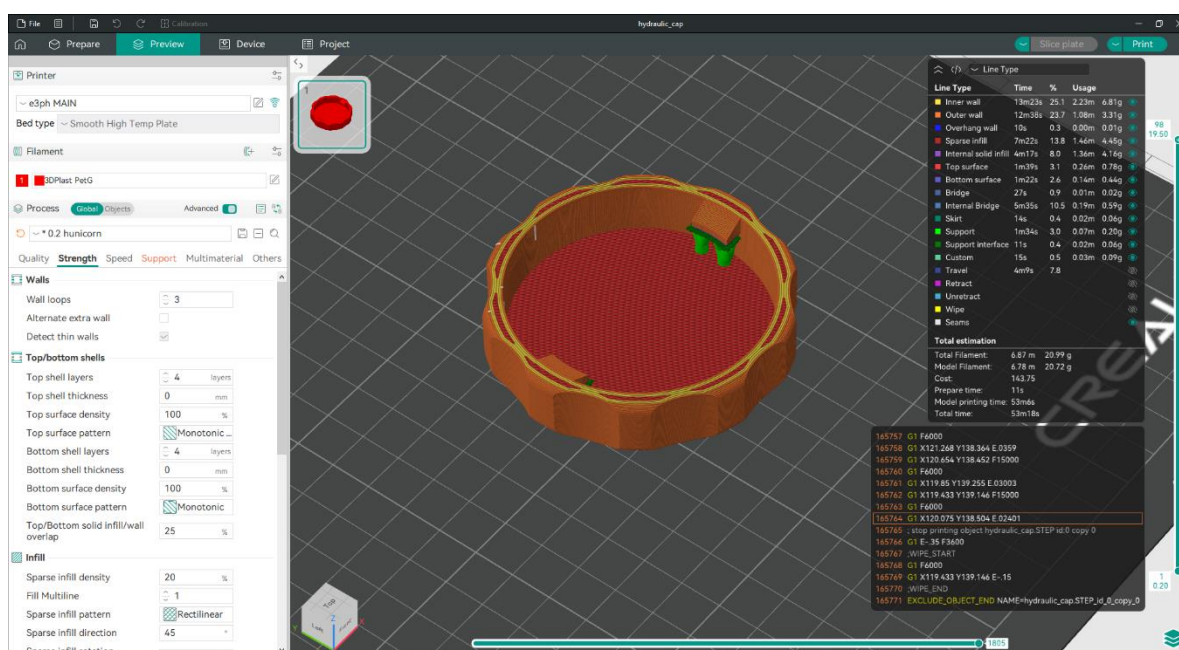


Рис. 4.18. Формування підтримок у слайсері

Так як деталь не є високонавантаженою ми використовуємо стандартне заповнення 20% і 3 стінки, шаблон заповнення стандартний перехресний, по 4 суцільні шари зверху і знизу відповідно.

Нижче наведені скріншоти етапів друку (рис. 4.19 – 4.21).

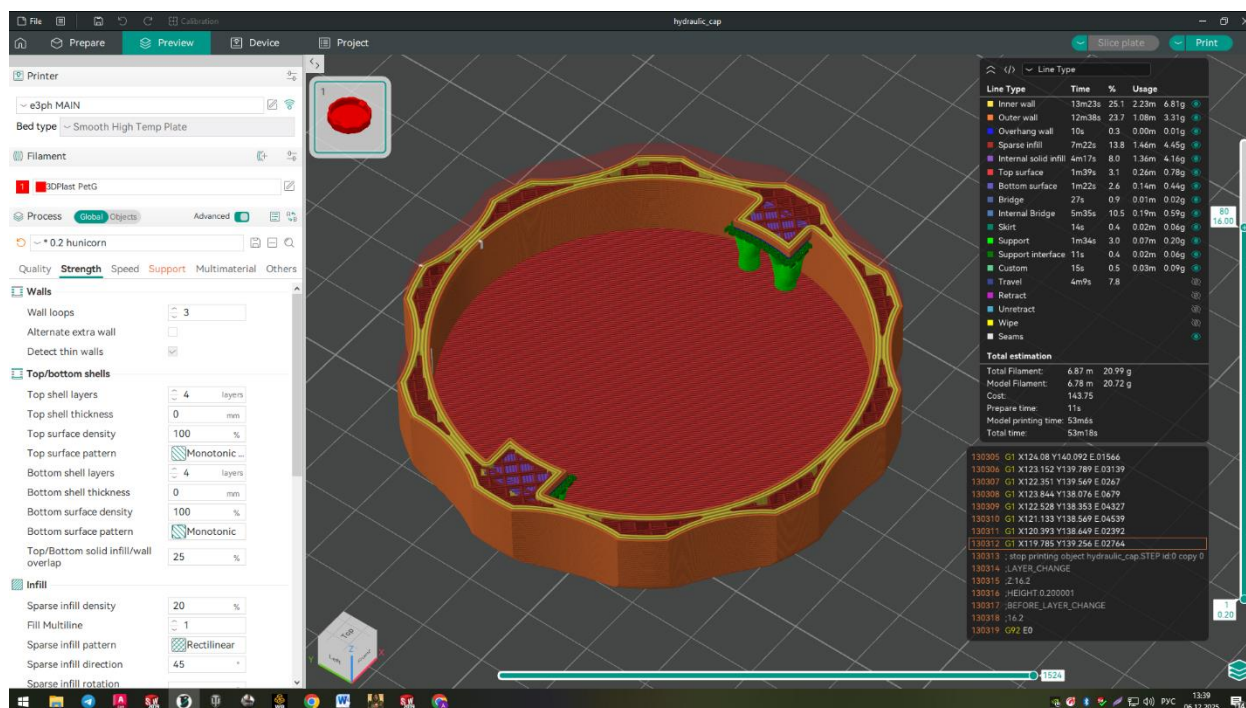


Рис. 4.19. Перший етап друку

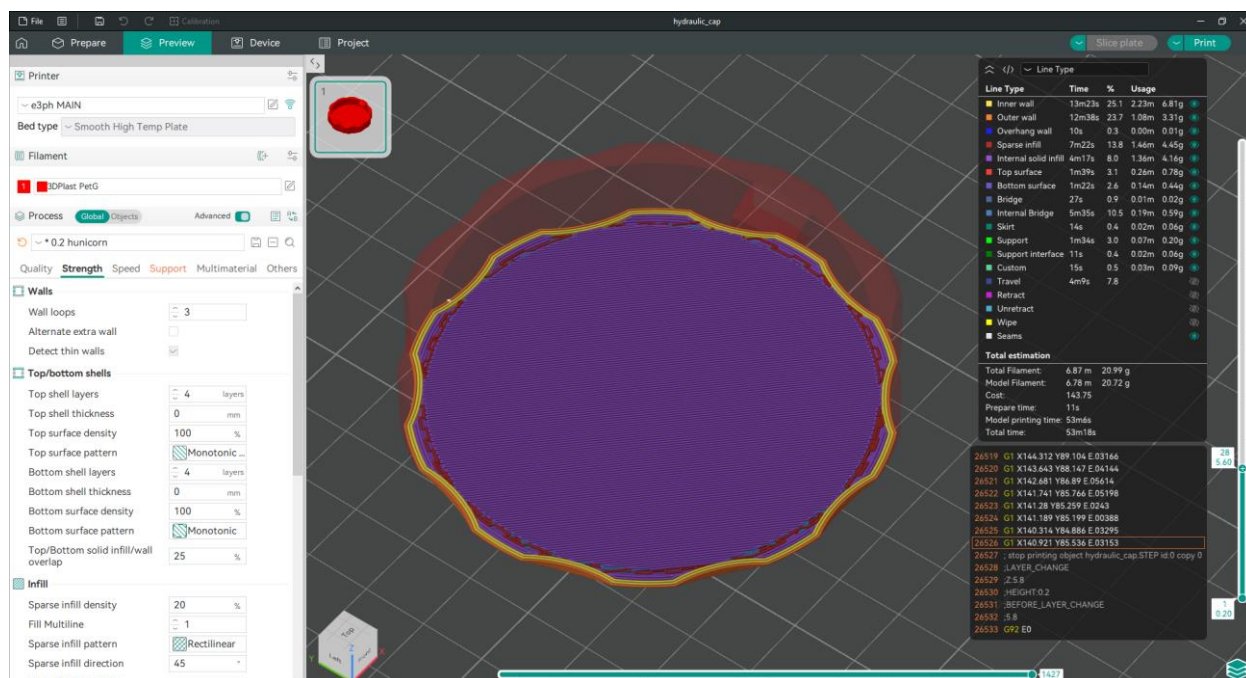


Рис. 4.20. Другий етап друку

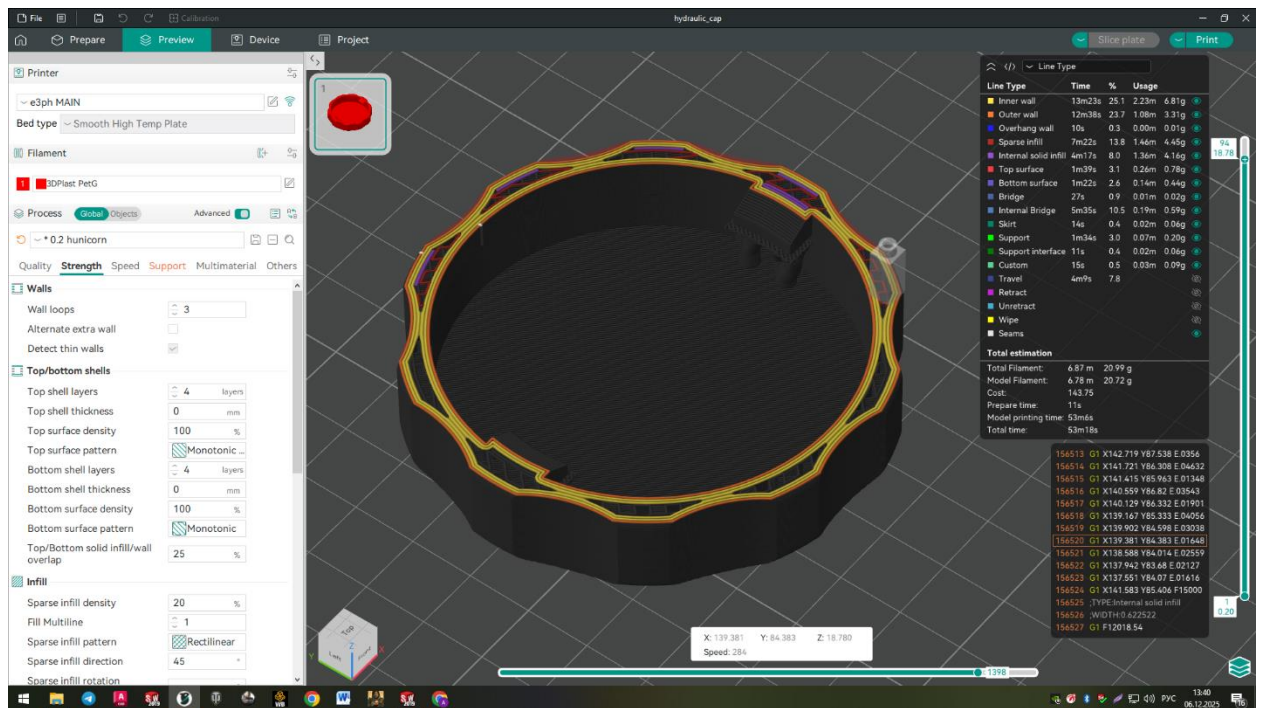


Рис. 4.21. Третій етап друку.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано дефекти пластмасових деталей, визначено причини їх виникнення та оцінено існуючі методи ремонту. Виявлено, що традиційні підходи не забезпечують якісного усунення пошкоджень, особливо при втраті окремих фрагментів.
2. Розроблено алгоритм підбору параметрів 3D-друку, який дозволяє оптимізувати параметри друку відповідно до заданих характеристик міцності, а також оцінювати міцнісні властивості матеріалів залежно від обраних параметрів 3D-друку.
3. Вивчено вплив технологічних факторів на міцність і в'язко-пружні характеристики пластмасових компонентів дорожніх машин, що були відновлені з використанням технологій 3D-друку.
4. Досліджено вплив технологічних умов на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин після їх відновлення за допомогою методів 3D-друку.
5. Проведено аналіз міцності різних способів з'єднання компонентів між собою, включаючи тестування в умовах низьких температур, що допомогло мінімізувати людський фактор у технологічному процесі.
6. Розроблено інноваційну технологію ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із застосуванням 3D-друку. Надано рекомендації щодо виробництва деталей машин, оснащених отворами та різьбовими поверхнями, за допомогою цієї методики. Описано приклад проектування та виготовлення однієї з деталей автомобіля, що демонструє ефективність використання технології.

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 кромek 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 різнорідних пластмас/С.С. Волков, Г.А. Бігус, А.Л. Ремізов// Пластичні маси. - 2018. - № 7-8. - С. 47-50.

11. Відновлення деталі нагрітим елементом [Електронний ресурс]. – URL: https://live.staticflickr.com/65535/48813051618_36bd823b78_h.jpg
12. Відновлення деталей з армуванням [Електронний ресурс]. – URL: <https://ad-cd.net/6fcbc1u-960.jpg>
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>.
14. Все для ремонту пластмас: Vamperus [Електронний ресурс]. - URL: <http://remont-plastmass.ru/catalog>.
15. Майстер-модель, що виплавляється [Електронний ресурс]. - URL: <https://3d.globatek.ru/images/tasks/cast12s.jpg>.
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.
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.
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. 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>.
34. Лінія для екструзії філаменту [Електронний ресурс]. - URL:https://www.boco-ekstrudery.ru/data/filecache/87/stroj-A_30x20.jpg.

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.
36. Мамонтов, К.І. Дослідження ABS пластику різних виробників / К.І. Мамонтов // Збірник статей LI Міжнародної науково-практичної конференції "World science: problems and innovations". - 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>.
41. Друк майстрів-моделей для лиття на 3D-принтері [Електронний ресурс]. – URL: https://3d.globatek.ru/3d-printers/casting_models/.
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.
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>.
46. Рішення для авторемонту: ремонт пластикових бамперів [Електронний ресурс]. - URL: https://www.3mrussia.ru/3M/ru_RU/Collision-Repair-RU/how-to/plastic-repair/.
47. Рошупкін, 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/507/5076f442026c24717a767be6ca4156cf.jpg>

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

50. Скрыбин, В.А. Обработка полимерных материалов некоторыми способами лезовой обработки / В.А. Скрыбин // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2016. - № 5. - С. 41-48.

51. Схиртладзе, А.Г. Восстановление изношенных поверхностей отверстий в деталях технологического оборудования/О.Г. Схиртладзе, В.А. Тимирязев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2016. - № 5. - С. 3-9.

52. Технология производства песчаных форм [Електронний ресурс]. – URL: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/tech-sand/.

53. Топологическая оптимизация [Електронний ресурс]. - URL: https://habrastorage.org/webt/q6/ky/jq/q6kyjqaexwipa_crfu_0z_7mpao.jpeg

54. Установка ремонта кронштейна фары [Електронний ресурс]. – URL: <https://ad-cd.net/K0AAAgFjrOA-960.jpg> (дата звернення: 10.02.2021).

55. Шестопа, О.М. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс / О.М. Шестопа [та ін]; за ред. за заг. ред. О.М. Шестопала. - К.: Техніка, 1986. - 192 с.

56. Шилдз, Д. Клеющие материалы: справочник / Д. Шилдз; пров. Ю. Гаращенко. – пров. з англ. - К.: Машинобудування, 1980. - 368 с.

57. Шмельова, А.А. Анализ способов автоматического снятия 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.