

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Вінницький навчально-науковий інститут економіки

Кафедра економіки, обліку та оподаткування

Іванюк О.О.

**Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних
матеріалів для транспортних засобів**

**Improvement of the repair process of parts made of polymer materials for
vehicles**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи

АТмвн-21

Кваліфікаційна робота

Допущено до захисту

_____ 2024 р.

Завідувач кафедри

_____ В.М.Пилявець

Вінниця 2024

АНОТАЦІЯ

Іванюк О.О. Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів. - Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», освітньо-професійна програма. - Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі дано визначення процесу ремонту полімерних деталей транспортних засобів, обґрунтовано параметрів 3D-друку на прикладі ABS філаменту, розроблено програму автоматизованого вибору компонентів для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку.

ANNOTATION

Ivanyuk O.O. Improvement of the repair process of parts made of polymer materials for vehicles. - Manuscript.

Research for obtaining a master's degree in the specialty 274 "Automotive transport", educational and professional program. - West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work defines the repair process of polymer parts of vehicles, substantiates the parameters of 3D printing on the example of ABS filament, develops a program for the automated selection of components for the repair of plastic parts of cars using 3D printing methods.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	7
1.1. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей машин у ТОВ «Поділляагрозахист».....	7
1.2. Аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів ТОВ «Поділляагрозахист» та причин їх виникнення.....	10
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ 3D-ДРУКУ	22
2.1. Математичний опис коефіцієнтів параметрів 3D-друку, що впливають на характеристики міцності виробу.....	22
2.2. Моделювання розрахунку параметрів 3D-друку на прикладі ABS філаменту.....	29
РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ	32
3.1. Розробка програми автоматизованого вибору компонентів для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку.....	32
3.2. Технологія ремонту пластмасових деталей машин.....	42
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Технічний сервіс є важливою складовою забезпечення надійної та ефективної експлуатації складної техніки, що має критичне значення для багатьох галузей економіки. Зростаючі вимоги до надійності та довговічності техніки висувають особливі умови до процесів її обслуговування та ремонту. Якість ремонту деталей, вузлів та агрегатів відіграє ключову роль у зменшенні витрат, підвищенні продуктивності, а також у забезпеченні безпеки експлуатації техніки.

Важливим фактором, який визначає якість ремонту, є операції контролю. Вони слугують не лише для запобігання дефектам у виробничих процесах, але й для виключення постачання бракованої продукції до споживача. Сучасна статистика свідчить, що провідні підприємства, які активно впроваджують інструменти контролю якості, здатні вирішувати від 80 до 95% виробничих проблем. Проте в умовах дрібносерійного ремонтного виробництва ці інструменти часто представлені не в повному обсязі, що значно ускладнює забезпечення високої якості ремонту.

Впровадження ефективних інструментів контролю якості дозволяє підприємствам отримувати достовірну інформацію про якість продукції, що ремонтується, а також оперативно приймати коригувальні та запобіжні дії для зменшення рівня браку. Раціональний вибір засобів вимірювань та контролю є ключовим чинником у мінімізації внутрішніх і зовнішніх втрат, особливо у випадках селективного складання та виключення незавершеного виробництва.

Отже, забезпечення якості та точності контролю деталей є критичним аспектом, який впливає на конкурентоспроможність підприємства, зменшення витрат та підвищення ефективності ремонтного виробництва. Це обґрунтовує актуальність дослідження даної теми та необхідність розробки рекомендацій для вдосконалення процесів контролю якості в умовах ремонтного виробництва.

Питаннями підвищення якості контролю при ремонті техніки займалися такі вчені, як Голубєв І.Г., Дорохов А.С., Єрохін М.Н., Іванов А.І., Карепін П.А., Кряжков В.М., Корнілович С.А., Лезін П.П., Левшин А.Г., Лельчук П.П., Леонов О.А.

Але в даний час невирішеними залишилися питання наявності незавершеного виробництва і вибору засобів вимірювань при селективному складанні, а інструменти контролю якості практично не застосовуються при ремонті сільськогосподарської техніки.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення якості складання з'єднання «поршень - гільза» двигуна при ремонті за рахунок обґрунтування, адаптації та впровадження інструментів контролю якості, вдосконалення селективного складання і методики вибору засобів вимірювань з метою зменшення незавершеного виробництва і кількості неправильно прийнятих і неправильно забракованих деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1.Провести аналіз технологічного процесу ремонту гільзи циліндрів і вхідного контролю поршнів з позиції можливості застосування методів і засобів контролю для забезпечення якості селективного складання.

- 2.Теоретично обґрунтувати та практично реалізувати метод групової взаємозамінності з'єднань «поршень - гільза» двигуна з метою значного зменшення незавершеного виробництва при селективному складанні.

- 3.Провести метрологічний аналіз контрольних точок і розробити методику вибору засобів вимірювання для контролю гільз циліндрів і поршнів двигуна при селективному складанні.

Метою дослідження є підвищення якості складання з'єднання «поршень – гільза» двигуна при ремонті через вдосконалення інструментів контролю якості, оптимізацію технологічних процесів та застосування сучасних підходів до селективного складання.

Завданням дослідження є: оцінка дефектності технологічного процесу ремонту гільзи циліндрів: розробка методики виявлення та оцінки дефектів, що виникають у процесі відновлення гільз циліндрів; вдосконалення системи контролю якості: впровадження контрольного листка з інтеграцією розрахунків втрат від виправного та невиправного браку; методика вибору засобів вимірювань: розробка алгоритму оптимального підбору засобів вимірювання для забезпечення

точності під час селективного складання; застосування групової взаємозамінності: теоретичне обґрунтування можливостей використання цього підходу для підвищення ефективності та точності складання.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що у роботі розроблено: методику оцінки рівня дефектності: дозволяє ідентифікувати критичні місця технологічного процесу та забезпечити їх покращення; контрольний листок з розрахунком втрат: удосконалена форма враховує всю номенклатуру можливих дефектів, що сприяє більш точному аналізу виробничих втрат; методику вибору засобів вимірювань: оптимізує процес контролю і зменшує кількість неправильно прийнятих та забракованих деталей; групову взаємозамінність у вузлі «поршень – гільза»: забезпечує підвищення якості складання, усуває незавершене виробництво та покращує взаємозамінність деталей.

Практичне значення дослідження полягає у розробці методики, яка дозволить підприємствам знизити втрати від браку, оптимізувати технологічні процеси ремонту двигунів та підвищити якість ремонту на основі сучасних інструментів контролю. Дані дослідження сприяють удосконаленню технологій ремонтного виробництва та забезпеченню високих стандартів якості для довготривалої та ефективної експлуатації двигунів.

Методи дослідження. У роботі використовувався метод мікрометражу та дефектації деталей: для оцінки стану відновлених та нових деталей, зокрема, поршнів і гільз циліндрів; методика визначення неправильно прийнятих і неправильно забракованих деталей (РД 50-98-86): забезпечила точність оцінки якості обробки деталей; метод обробки експериментальних даних: застосовувалися теорія ймовірностей і математична статистика для аналізу даних, використовувалися комп'ютерні програми для моделювання процесів і розрахунків, що дозволило підвищити ефективність і точність аналізу. Запропоновані методи та підходи підвищують економічну ефективність ремонтного виробництва, знижують втрати від браку, а також покращують якість ремонту з'єднання «поршень - гільза».

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей машин у ТОВ «Поділляагрозахист»

Товариство з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» створено 18.10.2011 року.

ТОВ «Поділляагрозахист» – провідне підприємство у сфері оптової торгівлі насінням, сільськогосподарською продукцією, засобами захисту рослин, мінеральними та органічними добривами. Компанія є офіційним дистрибутором продукції ТМ «Добродій», що гарантує високу якість пропонованої продукції та відповідає сучасним вимогам сільськогосподарського ринку.

Основні напрямки діяльності: постачання засобів захисту рослин та добрив: пропозиція сучасних, ефективних засобів захисту рослин, що сприяють підвищенню врожайності, широкий вибір мікродобрив і мінеральних добрив від ТМ «Добродій»; оптова торгівля насінням та сільськогосподарською продукцією: високоякісний насіннєвий матеріал, адаптований до умов вирощування в Україні, продукція, яка відповідає міжнародним стандартам якості; постачання нафтопродуктів: асортимент включає дизельне паливо, бензин А-92 та А-95, що відповідають потребам сільгоспвиробників, оперативна доставка по всій Україні, зокрема у Вінницькій області; логістика та доставка: власний транспортний парк забезпечує швидку і надійну доставку продукції в потрібний час та місце; експортні операції: пошук іноземних покупців, організація переговорів і укладання експортних контрактів, комплексний супровід митного оформлення товарів, організація міжнародної логістики та доставки.

ТОВ «Поділляагрозахист» прагне створювати довгострокові партнерські відносини, пропонуючи сільгоспвиробникам України та міжнародним клієнтам рішення, що сприяють підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню

стабільного розвитку агросектору. Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист», представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист»

Назва та марка машини	Кількість машин	Рік випуску машини
<u>Автомобілі:</u>		
Mitsubishi Pajero IV (V80)	6	2019
Mercedes-Benz Sprinter 516	6	2019
КрАЗ-5401С2-500	8	2020
ЗиЛ-5301	5	2014
ЗиЛ-СААЗ-4545	3	2012
Ford Transit 7	7	2020
КамАЗ-65117	5	2009
КамАЗ-5460-076-63	4	2015
MAN TGX 18.440 4X2 XLX Intarder Euro 6	6	2016
Mercedes-Benz ACTROS 1845 LS	4	2017
Scania S730 V8	5	2019
<u>Причепи і напівпричепи:</u>		
Причіп «СЗАП-8357-02»	5	2011-14
Напівпричіп «СЗАП-9402»	6	2016
Напівпричіп «Skit 24 P50»	6	2016
Напівпричіп «Тонар-9385»	5	2020
Напівпричіп-цистерна «SF3340»	3	2020
Напівпричіп-самоскид TAD.AGRO 55-3	4	2022
Напівпричіп МАЗ 975830-3021\3022	3	2022

У конструкції сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машин крім металів застосовується велика кількість різноманітних полімерів (рис. 1.1). За хімічною природою, використовувані полімерні матеріали, можна розділити на термопластичні та термореактивні. Термопластичні полімерні матеріали (термопласти) є високомолекулярними матеріалами, які розм'якшуються або плавляться при нагріванні. Термореактивні матеріали (реактопласти) вимагають незворотного

перетворення низькомолекулярної базової смоли на полімеризовану структуру.

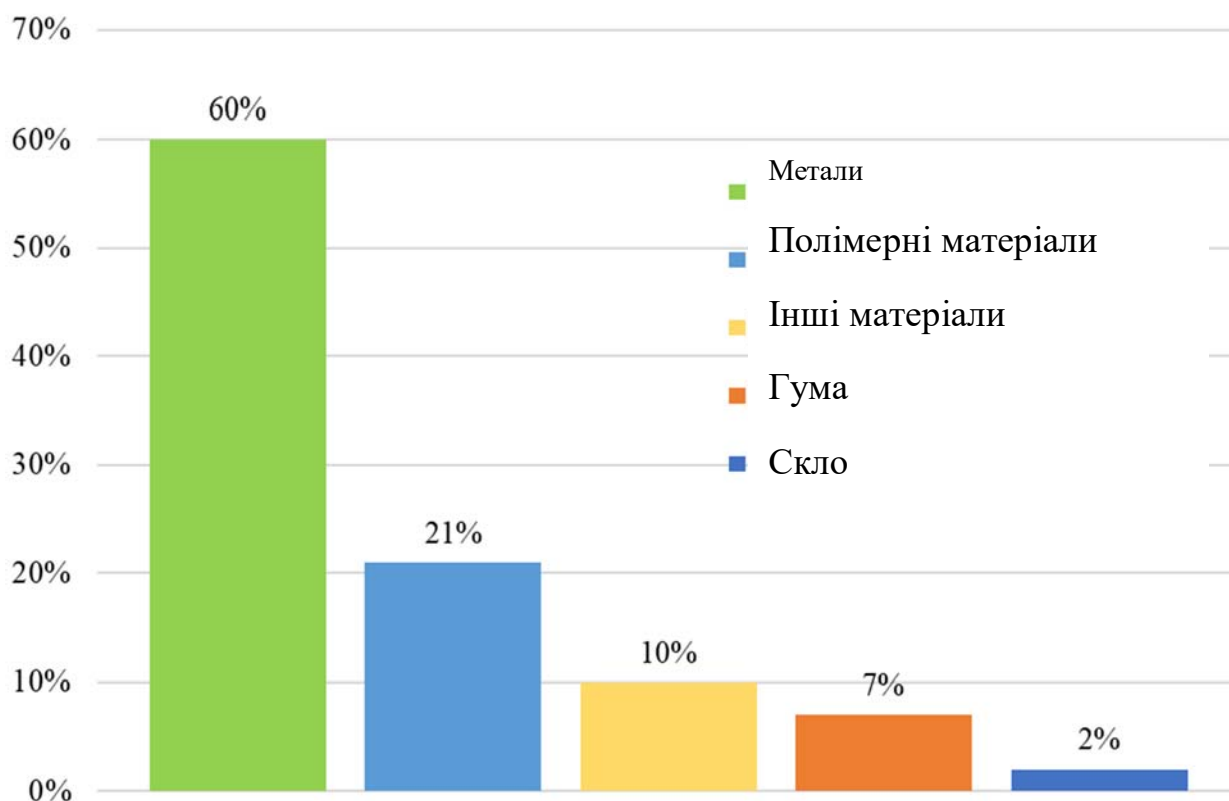


Рис.1.1 Матеріали, що використовуються у машинобудуванні

Термопласти можна розділити на аморфні та кристалічні різновиди. В аморфних формах молекули орієнтовані випадковим чином. Типові аморфні термопласти включають поліфеніленоксид (PPO), полікарбонат (PC) та акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). До переваг аморфних термопластів можна віднести: відносну стабільність розмірів; меншу усадку форми порівняно з кристалічними термопластами; можливість застосування як конструкційних пін. До недоліків можна віднести: низьку стійкість до зносу, стирання та динамічних навантажень; низьку стійкість до втоми; збільшений час обробки порівняно з кристалічними термопластами.

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

До недоліків кристалічних термопластів можна віднести: потенційно високу та змінну усадку; з'єднання, що важко склеюється; більш високу повзучість, ніж у аморфних термопластів.

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

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

Для виготовлення килимів підлоги, термо-шумоізоляції підлоги та оббивок використовується формований пінополіуретан (ФППУ). Поручні, рульові колеса та підлокітники виготовляють із інтегрального пінополіуретану. Жорсткий ППУ знайшов застосування у виробництві протисонячних козирків, панелей, кришок люка дверей. Поліпропілен застосовується при виготовленні повітропроводів та повітрозабірників, а також в інтер'єрі панелей дверей, різного облицювання, панелей приладів. Полівінілхлорид застосовується у виробництві трубок, а також у вигляді оздоблювальних плівок. Найбільший обсяг застосування припадає на такі види пластмас як поліуретан (ПУ) та пінополіуретан (ППУ), поліпропілен (ПП), листовий композитний компаунд (SMC).

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

1.2. Аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів ТОВ «Поділляагрозахист» та причин їх виникнення

Дефекти, що виникають на деталях із пластмас, в основному мають невиробничий характер і виникають внаслідок неналежної експлуатації, у тому числі недотримання регламенту технічного обслуговування.

Тривалий вплив високих температур на пластмасові деталі машин може призвести до утворення таких дефектів, як оплавлення та теплового деформування.



а)



б)

Рис. 1.2 Теплове оплавлення (а) та деформація (б) пластмасових деталей

Джерелами теплового впливу може бути відкрите полум'я (у разі пожежі), близькість сильно нагрітих елементів конструкції машини (зазвичай елементів системи випуску газів, що відпрацювали), а також порушення технології ремонту деталей. Деформація пластмасових деталей може відбуватися в наслідок нагрівання від електропроводки при протіканні електричного струму, сила якого перевищує номінальне значення (рис. 1.2).

Під впливом агресивних хімічних середовищ з'являються такі дефекти як загальна деформація деталі чи деформація її локальних ділянок. У пофарбованих пластмасових деталей внаслідок хімічної дії може пошкоджуватися лако-фарбове покриття. На покритті можуть утворюватися відшаровування, тріщини та вогнища здуття. При тривалій дії розчинника виникає набухання та відшаровування покриття (спушування лако-фарбового покриття), значно знижується твердість покриття.

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

Подряпини на пластмасових деталях характерні переважно для зовнішніх

деталей типу бамперів, накладок, молдингів, корпусів зовнішніх дзеркал заднього виду, спойлерів. Вони різняться за глибиною, формою, довжиною, місцями локалізації. Глибокі подряпини можуть пошкодити не лише лако-фарбове покриття, а й основний матеріал деталі. Зазвичай вони утворюються від динамічного контакту з предметом, що має гострі кромки, твердість яких перевищує твердість матеріалу пластмасової деталі. Якщо контактний вплив на деталь має розподілений за площею характер (тертя), то утворюються потертості, що є сукупністю подряпин зі зміщенням та видаленням частинок поверхневого шару. Найчастішим розташуванням потертостей є нижня частина обшивки дверей з боку водія (оператора) машини.

Тріщини виникають внаслідок статичних чи динамічних ударних впливів на деталь, в основному внаслідок дорожньо-транспортних пригод та рідше через проведення ремонту та технічного обслуговування з порушенням технології.

Поява перерахованих вище дефектів можуть призводити до: зниження чи повної втрати працездатності; порушення технічних характеристик; погіршення зовнішнього вигляду; виникнення корозійних пошкоджень металевих частин, внаслідок порушення захисної функції пластикової деталі; неповної комплектності машини.

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

При появі дефектів на пластмасових деталях машин слід одразу вживати заходів для запобігання їх розвитку та подальшого руйнування деталі, що може призвести до відмови машини або її вузла. Нині у сфері експлуатації та ремонту дорожніх машин поширена така практика: у разі виникнення будь-якої пошкодження машини, її власник звертається до страхової компанії, яка оцінює отримані збитки. На підставі результатів експертизи здійснюється відшкодування шкоди у вигляді виплати коштів або машина вирушає на ремонтне підприємство, з

яким у страхової компанії укладено договір. Якщо випадок підпадає під страхові зобов'язання або дорожня машина перебуває на гарантійному обслуговуванні, то пошкоджена деталь замінюється на нову оригінальну. Виняток становлять деталі, що фарбуються, у разі пошкодження тільки лако-фарбового покриття. У цьому випадку відновлюється пошкоджене лако-фарбове покриття. Ушкоджені пластмасові деталі, що не фарбуються, замінюються на нові через неможливість точного відновлення фактурного візерунка на лицьовій стороні деталі. Існуючі способи відновлення фактурної поверхні не дають абсолютного збігу.

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

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

Якщо випадок не страховий, то подальші ремонтні дії багато в чому залежать від власника машини. За погодженням з ним пошкоджена деталь може бути замінена на нову оригінальну або неоригінальну, на справну деталь, що була в експлуатації, або бути відновлена. Для ремонту пластмасових деталей машин застосовується кілька методів: заміна деталі на нову, шпаклювання та фарбування, різні види зварювання, а також склеювання. Питання, пов'язані зі шпаклюванням та фарбуванням, докладно розглядати не будемо, оскільки це не підпадає під тему дослідження.

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

застосуванні теплової енергії або тепла та тиску тощо. Зварювання виконується в межах термопластичного стану матеріалу. Класифікація способів зварювання представлена на рис. 1.3.

Для деталей машин зварювання застосовується в першу чергу при закладенні тріщин та пробоїв та інших елементах екстер'єру.

Незважаючи на різноманітність способів зварювання пластмас, в даний час при ремонті дорожніх машин застосовують лише два з них: зварювання нагрітим газом і нагрітим інструментом.



Рис. 1.3 Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів

Зварювання нагрітим газом полягає в підведенні до поверхонь теплової енергії, що з'єднуються, і послідовному переміщенні вздовж шва. Даний спосіб найчастіше виконується з додаванням до шову присадного матеріалу (рис. 1.4).

Накочування виконується в тому випадку, якщо присадковий прутки не здатний витримувати осьове навантаження.

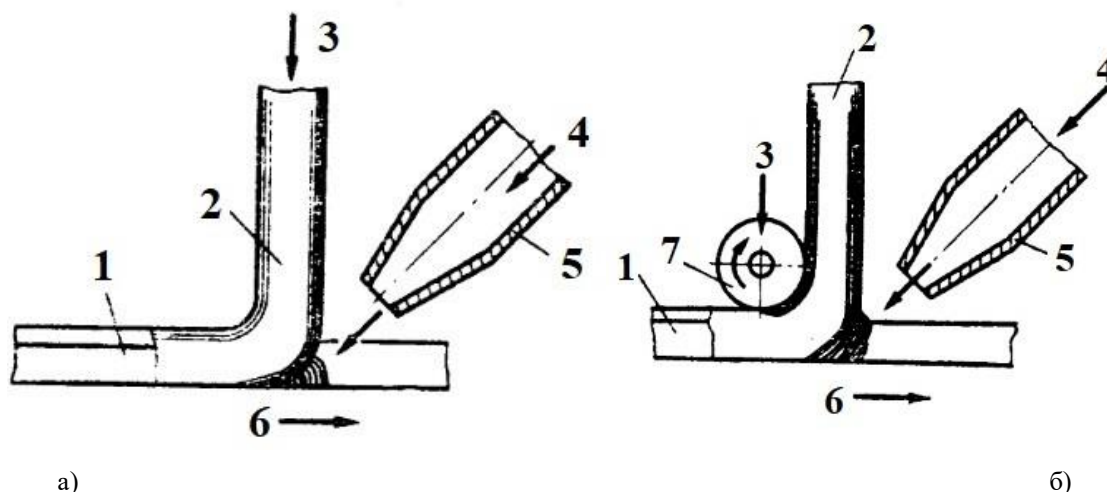


Рис. 1.4. Зварювання нагрітим газом з присадним прутком (а) та прикочуванням (б): 1 –

деталь, що зварюється; 2 – присадковий пруток; 3 – зусилля; 4 – нагрітий газ; 5 – сопло; 6 – напрямок зварювання; 7 – натискний ролик

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

Таблиця 1.1

Технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом

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

Таблиця 1.2

Вказівки щодо підготовки з'єднань до зварювання нагрітим газом

Матеріал	Геометричні характеристики з'єднання		
	Товщина, мм	Ширина зазору, мм	Кут розкриття країв, 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

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

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

наведено у таблиці 1.1

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

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

Недоліками зварювання нагрітим газом є: висока трудомісткість процесу; залежність якості від кваліфікації персоналу; велика зона термічного впливу на деталь; неможливість зварювання фасонних деталей; низька продуктивність.

Спосіб зварювання нагрітим інструментом полягає в оплавленні поверхонь, що з'єднуються за рахунок прямого контакту з нагрітим інструментом. Існують два різновиди цього способу: інструментом, що видаляється з зони зварного шва і зварювання інструментом, що нагрівається, що залишається в зварному шві [3]. У першому різновиді зварювання нагрітий інструмент стикається із зовнішніми поверхнями деталей, що з'єднуються, і розігріває за рахунок теплопровідності сам матеріал. Після цього інструмент видаляється із зони зварювання, а матеріал деталі застигає через відсутність джерела нагріву.

Зварювання елементом, що залишається в зварному шві, полягає в розміщенні на зварному шві металевго елемента, що є низькоомним електроопіром, і пропускання через нього електричного струму. В результаті цього матеріал, що безпосередньо контактує з нагрівальним елементом, розплавляється, а сам нагрівач занурюється всередину матеріалу за рахунок незначного осьового зусилля, що додається до інструменту. Потім електричний струм відключається, матеріал деталі застигає і нагрівальний елемент механічно від'єднується від джерела струму, залишаючись при цьому в деталі як армуючий елемент [1]. Зварювання нагрітим елементом, що залишається, не дозволяє отримати повністю

цілісний виріб, а всього лише армує місце дефекту.

Перевагами цього способу є: низькі вимоги до кваліфікації персоналу; невелика зона термічного впливу на деталь; одночасне армування деталі.

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

Існує ще один спосіб зварювання – зварювання органічними розчинниками. За своїми технологічними ознаками вона найближча до склеювання. Цей спосіб зварювання застосовують у тому випадку, якщо застосування інших методів не раціональне через можливе порушення форми та розмірів. Зварювання розчинниками є найбільш ефективним при з'єднанні деталей з PVC та ABS [6]. Для підвищення міцності з'єднання та прискорення процесу утворення шва застосовують розчини зварюваного матеріалу в розчиннику, звані лаковими композиціями. У такому випадку розчинник виконує роль пластифікатора в навколошовній зоні. Зазвичай розчинник додають до 15% зварюваного матеріалу.

Технологічний процес зварювання розчинниками виконується в наступній послідовності: підготовка поверхонь, що зварюються; змочування поверхонь розчинником або лаковою композицією; витримка деталей; з'єднання деталей та додаток тиску; витримка деталей до затвердіння шва.

Кількість розчинника, що наноситься, підбирають експериментальним шляхом, проте, слід враховувати, що його надлишок призводить до зниження міцності з'єднання і збільшення технологічного часу. Витримка деталей до з'єднання становить кілька хвилин, тиск при з'єднанні слід витримувати в інтервалі 0,1...1,0 МПа, а час затвердіння триває від 2 до 24 годин.

Вибір розчинників проводять з урахуванням того, щоб різниця між характеристиками розчинності полімеру та розчинника не перевищувала $2,5 \text{ (МДж/м}^3\text{)}^{1/2}$ [3].

Склеювання пластмас полягає у створенні нероз'ємного з'єднання елементів деталі із застосуванням клею. За здатністю до склеювання пластмаси поділяють на

три групи: легкосклеювані (поліакрилати, ABS, полікарбонат, непластифікований полівінілхлорид), умовно склеювані (поліаміди, полістирол, пластифікований полівінілхлорид) і важкосклеювані (удароміцний полістирол, поліпропілен поліаміди).

Створення якісного з'єднання можливе при виконанні наступних умов [3]: поверхні, що з'єднуються, змочуються клеєм; створено тиск у зоні склеювання для запобігання переміщенню в процесі затвердіння клею; правильно підібраний клей.

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

Ремкомплект являє собою набір кріплень та металовиробів для заміни обламаного кріплення на нове. У деяких випадках на корпусі деталі, що ремонтується, є спеціальні посадкові місця під новий кронштейн. Дана технологія ремонту полягає в механічному видаленні залишків обламаного кріплення, установці ремонтного кронштейна і закріпленні його за допомогою гвинтів або складів, що клеять.

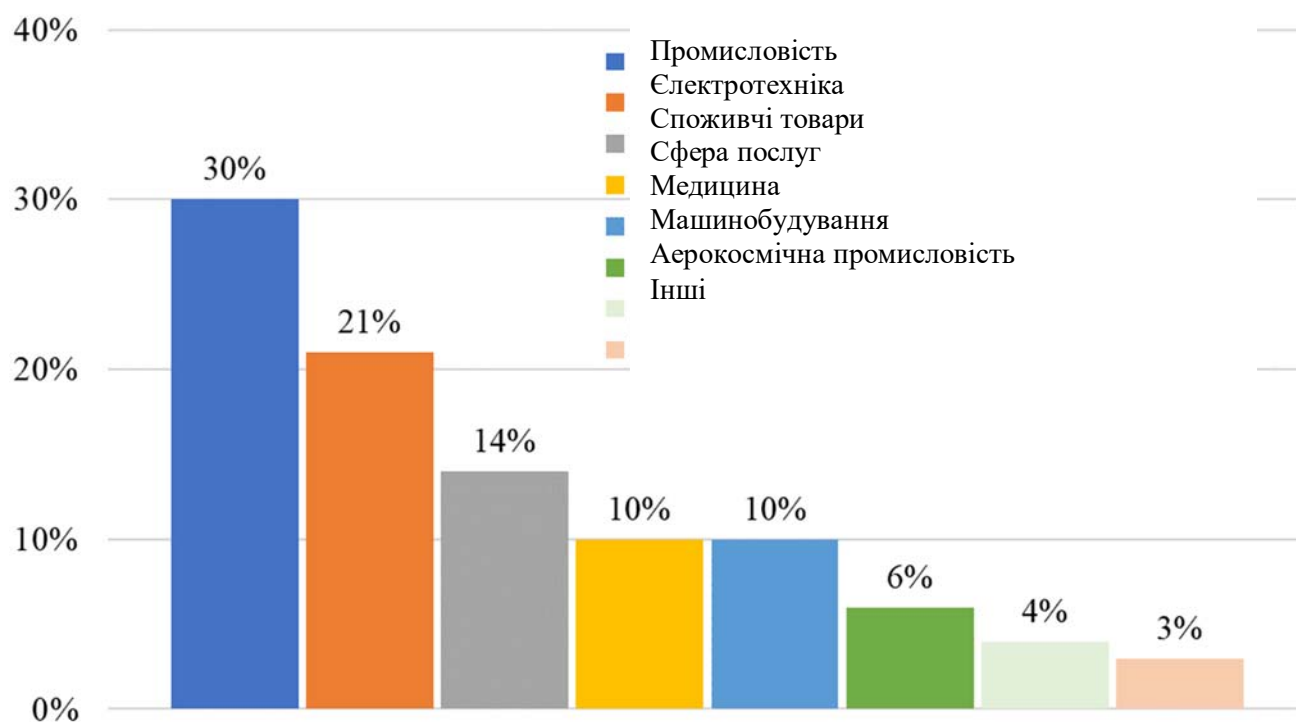


Рис. 1.5 Використання адитивних технологій у різних галузях промисловості

До переваг даного способу ремонту відносять: низьку трудомісткість процесу; невисокі вимоги до кваліфікації персоналу; невисоку вартість ремонту. Недоліками є: необхідність очікування на постачання ремонтного комплекту; невелика номенклатура типів відновлюваних деталей; ремонтні комплекти існують не для всіх марок та виробів.

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

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

Застосування адитивних технологій у машинобудуванні дозволяє скоротити час реалізації ідеї. Від моменту появи ідеї до готового виробу минає набагато менше часу, ніж при традиційному виробництві. Адитивні технології безперервно розвиваються та демонструють нові можливості у різних галузях промисловості.

Графік рис. 1.5 показує розподіл попиту 3D-друк по галузях. Понад 86% попиту припадає на промисловість, електротехніку, споживчі товари та послуги, а також медицину. За даними проведеного опитування 3D Hubs, в машинобудуванні адитивні технології малорозвинені. У цілому нині, адитивні технології використовуються передусім для друку прототипів деталей, дослідження можливості заміни традиційно виготовляються деталей на надруковані, у ливарному виробництві виготовлення ливарних виплавлюваних моделей або друку ливарних полімерно-піщаних форм.

Найбільша увага приділяється виробництву металевих деталей методами 3D-друку. Наразі вже представлені прототипи надрукованих кузовів автомобілів.

Існуючі способи з'єднання пластмас мають на увазі використання різних матеріалів для здійснення технологічного процесу. Так, для зварювання нагрітим

газом потрібні прутки; для зварювання нагрітим інструментом – нагрівальні елементи; для зварювання розчинниками – органічні розчинники, а для склеювання – клеї. Розглянемо властивості основних матеріалів, що застосовуються для різних методів ремонту.

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

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

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

За геометричними параметрами прутки відрізняються діаметром (круглі від 2 до 5 мм), шириною (плоскі та трикутні від 3 до 10 мм), а також формою постачання. Плоскі та трикутні присадочні матеріали поставляються в бухтах, а круглі у вигляді прутків завдовжки 200-300 мм. Виробляють різні за кольором матеріали: чорні, білі, сірі, сині тощо [7].

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

Таблиця 1.4

Рекомендовані склади розчинників для зварювання пластмас

Полімери	Рекомендовані розчинники
ABS	Ацетон; епіацетат; метилацетат; ацетон/етилактат (90/10); ацетон/метолксіетилацетат (80/20); ацетон/метилацетат (70/30); бутилацетат/ацетон/метилацетат (50/30/20)
PA	Концентрована мурашина кислота; розплавлені фенол та резорпін; спиртовий розчини хлориду кальцію; оцтова кислота (крижана)
PVC	Метилетилкетон; метилізобутилкетон; ксилол; тетрагідрофуран/циклогексанон (80/20)
PC	Етилендихлорид; тетрачлоретан; тричлоретан; етилендихлорид/метиленхлорид (50/50); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40)
ПММА	Етилендихлорид; мономер метиметакрилату; дихлоретан; метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (50/50)
PS	Етилацетат; метиленхлорид; метилетилкетон; чотирихлористий етилен; толуол; трихлористий етилен

Ремонт пластмасових деталей технологіями компанії 3М здійснюється із застосуванням спеціальних складів. До них відносяться: очисник поверхні 3MTM VNB; поліолефіновий активатор адгезії 05917 3MTM; зміцнююча сітка 3MTM 04903; клей для швидкого відновлення деталей 3MTM 55045; ремонтний склад FPRM 3MTM 05901; плівка для формування 3MTM Automix.

Сучасний ринок матеріалів для ремонту пластмасових деталей машин дуже різноманітний. Можна підібрати і придбати необхідний компонент без жодних труднощів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ 3D-ДРУКУ

2.1. Математичний опис коефіцієнтів параметрів 3D-друку, що впливають на характеристики міцності виробу

Як відомо, на міцнісні та експлуатаційні характеристики надрукованого виробу з пластмаси впливають такі параметри: швидкість друку; висота шару; подання матеріалу; відсоток заповнення; температура нагрівання матеріалу.

Для спрощення визначення характеристик деталі залежно від параметрів 3D-друку необхідно встановити залежність між характеристиками міцності філаменту та характеристиками міцності готових зразків. Тоді в укрупненому вигляді певна характеристика деталі, виготовленої на 3D-принтері за FDM технологією, визначатиметься за формулою:

$$X_p = Z \times X_f \times K_v \times K_h \times K_e \times K_f \times K_t \quad (2.1)$$

де Z – масштабний коефіцієнт;

X_f - деяка характеристика філаменту;

X_p - деяка характеристика деталі;

K_v - коефіцієнт, що враховує швидкість друку;

K_h - коефіцієнт, що враховує висоту шару друку;

K_e – коефіцієнт, що враховує подачу матеріалу;

K_f – коефіцієнт, що враховує відсоток заповнення деталі;

K_t – коефіцієнт, що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу.

Масштабний коефіцієнт Z визначається ставленням площі поперечного перерізу деталі F_D до площі поперечного перерізу філаменту F_F :

$$Z = F_D / F_F \quad (2.2)$$

В якості характеристик філаменту і деталі можуть використовуватися: міцність на розтяг; міцність на стискання; ударна в'язкість.

Матриця значень коефіцієнта K_v , що враховує швидкість друку, матиме вигляд

$$K_v = \{K_v\} = \begin{Bmatrix} K_{v11} & K_{v12} & K_{v13} \\ K_{v21} & K_{v22} & K_{v23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{vm1} & K_{vm2} & K_{vm3} \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

Матриця значень коефіцієнта K_h , що враховує висоту шару, матиме вигляд

$$K_h = \{K_h\} = \begin{Bmatrix} K_{h11} & K_{h12} & K_{h13} \\ K_{h21} & K_{h22} & K_{h23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{hm1} & K_{hm2} & K_{hm3} \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

Матриця значень коефіцієнта K_e , що враховує подачу матеріалу, матиме вигляд

$$K_e = \{K_e\} = \begin{Bmatrix} K_{e11} & K_{e12} & K_{e13} \\ K_{e21} & K_{e22} & K_{e23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{em1} & K_{em2} & K_{em3} \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

Матриця значень коефіцієнта K_f , що враховує відсоток заповнення деталі, матиме вигляд:

$$K_f = \{K_f\} = \begin{Bmatrix} K_{f11} & K_{f12} & K_{f13} \\ K_{f21} & K_{f22} & K_{f23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{fm1} & K_{fm2} & K_{fm3} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

Матриця значень коефіцієнта K_t , що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу, матиме вигляд

$$K_t = \{K_t\} = \begin{Bmatrix} K_{t11} & K_{t12} & K_{t13} \\ K_{t21} & K_{t22} & K_{t23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{tm1} & K_{tm2} & K_{tm3} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

У всіх матрицях елементи першого, другого та третього стовпців містять значення коефіцієнтів для параметрів друку при позитивній (+20°C) та негативній (–30°C та –50°C) температурах відповідно.

Використовуючи результати отриманих випробувань (таблиці 2.1 - 2.5), а також методи регресійного аналізу програмного забезпечення Microsoft Office Excel, було встановлено, що зміна відсотка заповнення, модифікатора подачі та швидкості друку має лінійну залежність до міцності деталі, а зміна висоти шару –

параболічну (поліноміальну) залежність.

Таблиця 2.1

Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від швидкості
друку

Швидкість, мм/с	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
15	34,97	35,29	36,395	35,55
30	34,96	35,085	34,805	34,95
45	35,455	34,735	34,41	34,87
60	36,025	34,86	34,235	35,04
80	33,095	33,555	35,11	33,92

Таблиця 2.2

Експериментальні дані залежності міцності на розтяг від висоти шару

Висота шару, мм	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
0,03	32,695	32,645	33,03	32,79
0,06	30,07	28,625	29,865	29,52
0,1	29,095	26,565	25,015	26,89
0,12	23,6	22,895	21,23	22,58
0,2	23,355	24,17	23,415	23,65
0,25	22,715	23,565	23,165	23,15
0,3	24,955	30,5	29,815	28,42

Таблиця 2.3

Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від подачі
матеріалу

Подача	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
0,90	26,395	26,53	30,005	27,64
0,925	25,845	26,03	24,78	25,55
0,95	27,76	28,94	29,32	28,67
0,975	30,07	28,81	29,945	29,61
1,0	29,93	30,735	29,445	30,04
1,025	30,715	29,83	29,805	30,12
1,05	30,995	37,725	33,03	33,92
1,075	38,97	32,81	33,13	34,97
1,1	33,08	32,91	35,155	33,72

Таблиця 2.4

Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від відсотка заповнення

Заповнення, %	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
20	20,45	19,665	19,42	19,85
40	20,855	20,41	20,52	20,60
60	20,37	20,525	20,72	20,54
80	22,495	23,15	22,02	22,56
100	25,935	30,02	24,615	26,86

Таблиця 2.5

Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від температури екструдуювання

Температура, °C	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
240	39,795	39,735	38,93	39,47
250	39,155	39,44	38,635	39,08
260	39,1	39,315	38,61	39,01
270	38,585	38,815	38,0	38,47

Таким чином, були отримані наступні рівняння коефіцієнтів. Рівняння коефіцієнтів швидкості друку має вигляд:

$$K_{vm1} = -000.5 X_1 + 0,8775 \quad (2.8)$$

де X_1 – швидкість робочих переміщень друкувальної головки 3D-принтера (швидкість друку), мм/с.

Інтервал допустимих значень швидкості друку:

$$\{X_1 \in N: 0 < X_1 \leq V_{\max}\} \quad (2.9)$$

де $V_{\max}$ – максимально можлива швидкість друку 3D-принтера, мм/с.

Рівняння коефіцієнтів висоти шару має вигляд:

$$K_{hm1} = 12,9013X_2^2 - 4,79417X_2 + 1,10606 \quad (2.10)$$

де X_2 - Висота шару друку, мм.

Інтервал допустимих значень висоти шару друку:

$$\begin{cases} X_2 \in Q: & 0 < X_2 \leq H_{max} \\ & X_2: H_{min} \end{cases} \quad (2.11)$$

де H_{max} – максимально можлива висота шару друку 3D-принтера, мм;

H_{min} – мінімальна висота шару друку 3D-принтера, мм.

Рівняння коефіцієнтів подачі матеріалу має вигляд:

$$K_{em1} = 1,2495X_3 - 0,3507 \quad (2.12)$$

де X_3 – величина модифікатора подачі 3D-принтера.

Інтервал допустимих значень модифікатора подачі:

$$\{X_3 \in R: \quad 0,9 < X_3 \leq 1,1\} \quad (2.13)$$

Діапазон величин X_3 обумовлений рекомендованими виробниками 3D-принтерів та філаменту значеннями.

Рівняння коефіцієнтів заповнення має вигляд:

$$K_{fm1} = 0,00236X_4 + 0,5098 \quad (2.14)$$

де X_4 – величина відсотка заповнення внутрішньої структури деталі, %.

Інтервал допустимих значень відсотка заповнення:

$$\{X_4 \in R: \quad 0 \leq X_4 \leq 100\} \quad (2.15)$$

Рівняння коефіцієнтів температури нагріву має вигляд:

$$K_{tm1} = -0,00076X_5 + 1,155798 \quad (2.16)$$

де X_5 – температура нагрівання термопластичного матеріалу.

Інтервал допустимих значень температури нагріву:

$$\{X_5 \in R: \quad T_{min} \leq X_5 \leq T_{max}\} \quad (2.17)$$

Діапазон величин X_5 обумовлений рекомендованими виробниками філаменту значеннями мінімальної T_{min} та максимальної T_{max} температур екструдкування конкретного термопластичного матеріалу.

Для визначення масштабного коефіцієнта Z було розраховано середні значення відношення величини міцності матеріалу, отриманої експериментально, до розрахункового значення міцності за кожним експериментом. За величину масштабного коефіцієнта приймаємо середнє значення Z по п'яти експериментах. Отже, приймаємо $Z = 1,79$.

Програма для вибору режимів 3D-друку повинна забезпечувати виконання таких функцій: зберігання, пошук, редагування даних характеристик філаментів; зберігання, пошук, редагування даних параметрів 3D-принтерів; визначення параметрів 3D-друку, що забезпечують потрібні характеристики деталі; створення та відкриття звітів за розрахунками.

Для реалізації перерахованих вище функцій програма поділена на кілька модулів: бази даних, розрахунку, звітів (рис. 2.1).

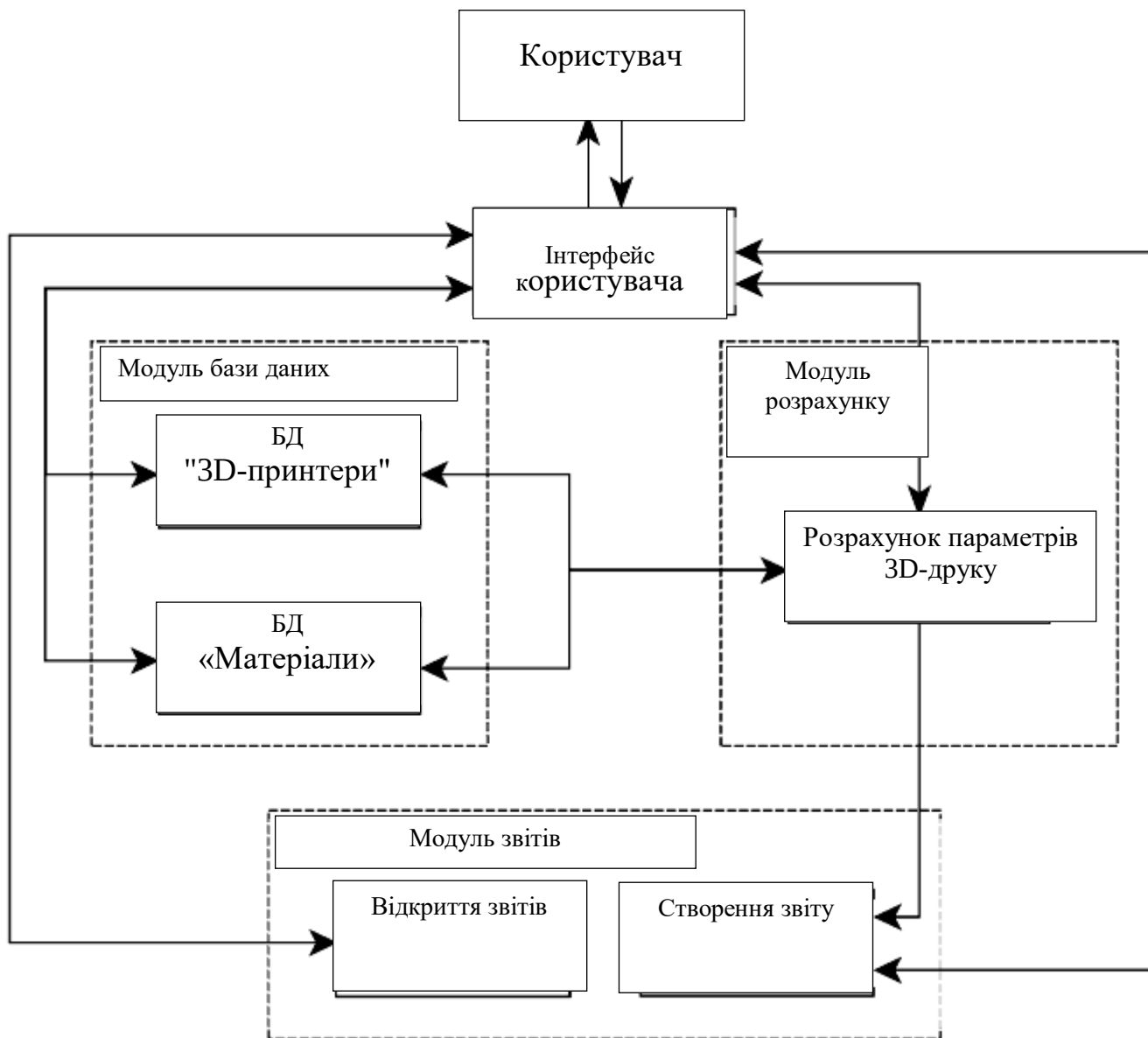


Рис. 2.1 Структура модулів програми та зв'язків між ними

Модуль баз даних складається з двох незалежних баз даних «Матеріали» та "3D-принтери". Кожна база даних містить дані, необхідні для виконання

повноцінного розрахунку параметрів 3D-друку. З урахуванням постійного розвитку 3D-принтерів, а також появи нових матеріалів, у базах даних передбачено можливість додавання нових записів, редагування вже існуючих, а також видалення записів. Додавання даних можна виконувати як на основі існуючого матеріалу, коли відмінності незначні, так і повністю нових матеріалів.

Модуль розрахунку виконує основну функцію програми - визначення параметрів 3D-друку, що задовольняють умови розрахунку. Блок-схема структури модуля розрахунку представлена рис. 2.2.

Перед початком запуску розрахунку необхідно здійснити введення вихідних даних. Ця процедура починається з вибору розрахункової характеристики. Залежно від виконаного вибору відбувається редагування користувацького інтерфейсу форми.

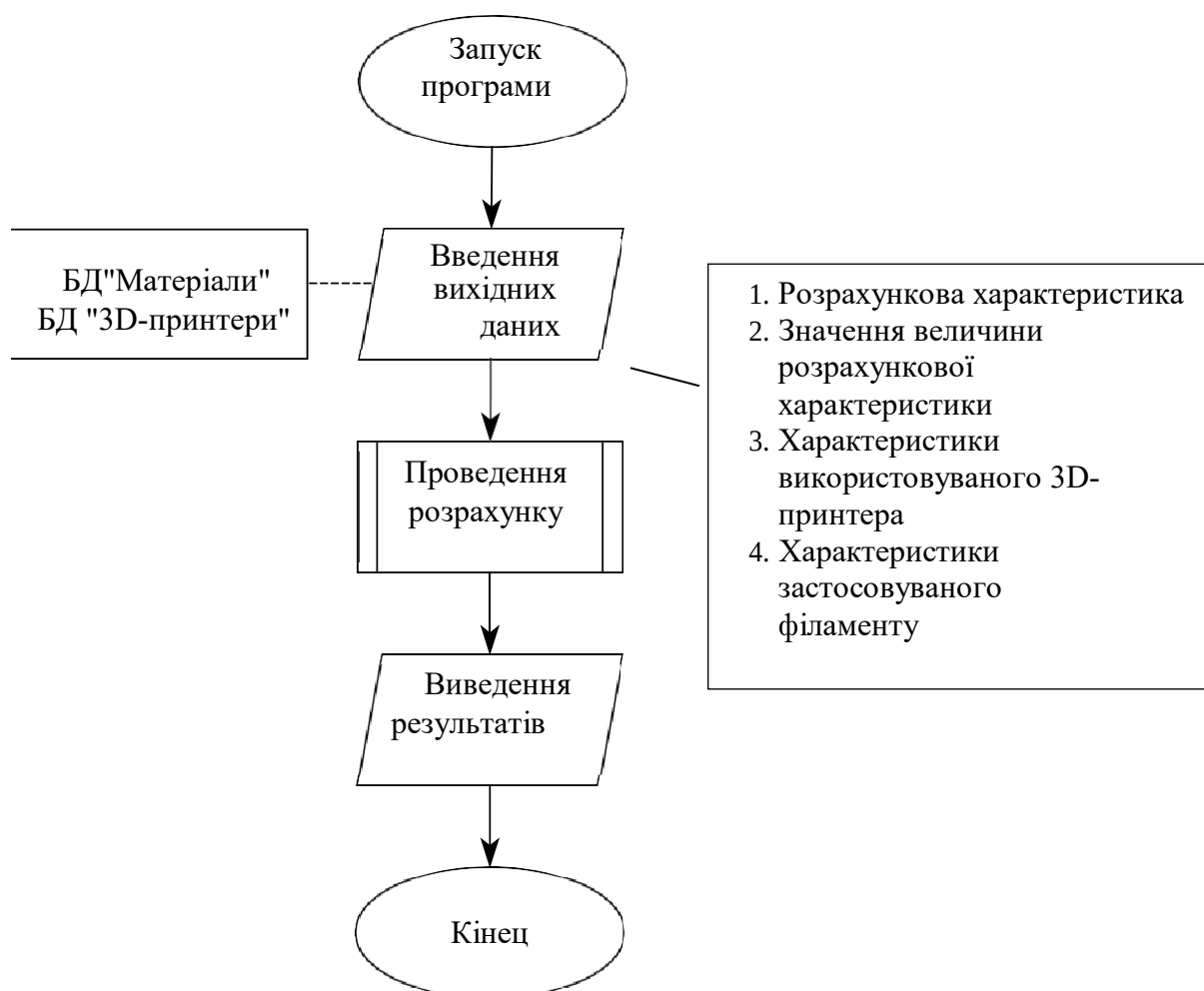


Рис. 2.2 Блок-схема структури модуля розрахунку

Ключовим моментом перевірки вихідних даних є порівняння величин заданої розрахункової характеристики і цієї характеристики філаменту. У разі, якщо величина розрахункової характеристики перевищує значення характеристики філаменту, продовження розрахунку неможливе. Це обумовлено тим фактом, що під час друку завжди відбувається зниження міцнісних характеристик матеріалу щодо міцнісних характеристик вихідного філаменту.

Розроблений алгоритм розрахунку дозволяє здійснити підбір оптимальних співвідношень параметрів режимів 3D-друку з урахуванням зазначених технологічних особливостей та характеристик міцності матеріалу. Слід порівняти дані, одержані в результаті моделювання з експериментальними даними.

2.2. Моделювання розрахунку параметрів 3D-друку на прикладі ABS філаменту

Для підтвердження правильності проведених у розділі 3.1 розрахунків щодо визначення коефіцієнтів рівнянь, що описують залежності впливу параметрів друку на міцність при розтягуванні, проведемо моделювання розрахунку у розробленій програмі.

Внесемо характеристики використовуваного філаменту до бази даних матеріалів (рис. 2.3). Після додавання матеріал буде доступним для вибору при призначенні вихідних параметрів для розрахунку. У розробленій програмі можна обійтися без додавання матеріалу до бази даних та внести необхідні значення безпосередньо до модуля розрахунку.

Додати матеріал на основі існуючого

Матеріал	ABS	Температура екструдера, °C	min 240 max 270
Виробник	REC 3D	Температура столу, °C	min 90 max 110
Марка	ABS REC	Температура експлуатації, °C	min -40 max 90
Країна	Україна		
ТУ	ТУ 20.60.13-002-11		
Діаметр філаменту, мм	1.75		
Щільність, г/см³	1.05		
Міцність на розтяг, МПа	33.9		
Відносне подовження при розтягуванні, %	55.4		
Модуль пружності на розтягування, ГПа	1.26		
Ударна в'язкість, кДж/м²	180.14		
Міцність на згин, МПа	55.4		
Міцність на стиск, МПа	49.3		
Твердість по Шору, HD	70		
Температура розм'якшення, °C	103		

Додати Закрити

Рис. 2.3 Додавання філаменту до бази даних матеріалів (робоче вікно ПЗ)

Далі необхідно запусити модуль розрахунку та внести вихідні дані по 3D-принтеру та вибрати філамент (рис. 2.4).

Пошук рішення

Розрахункова характеристика

☒ Міцність на розтягування, МПа
☐ Міцність на стиск, МПа
☐ Міцність на вигин, МПа
☐ Модуль пружності на розтяг, МПа
☐ Ударна в'язкість, кДж/м²

Величина розрахункової

МПа

Характеристики 3D-принтера

☒ вибрати із списку ☐ ввести в ручну

3D-принтер Designer

Параметри

Температура екструдера, max °C 250

Температура столу, max °C 115

Максимальна швидкість друку, мм/с 100

Мінімальна товщина шару, мм 0.10

Діаметр філаменту, мм 1.75

Діаметр сопла, мм 0.4

Філамент

☒ вибрати із списку ☐ ввести в ручну

Матеріал ABS

Виробник REC 3D

Марка ABS REC

Температура екструдера, °C min 240 max 270

Температура експлуатації, °C min -40 max 90

Міцність на розтягування, МПа 33.9

Рис. 2.4 Введення вихідних даних по 3D-принтеру та вибір філаменту (роб.в. ПЗ).

Як вихідні дані необхідно вказати розрахункову характеристику. Як технічні характеристики 3D-принтера вказуються такі параметри: максимальна температура екструдера, °C; максимальна температура столу, °C; максимальна швидкість друку, мм/с; мінімальна висота шару, мм; діаметр філаменту, що застосовується, мм; діаметр сопла, мм. Вищезазначені характеристики 3D-принтера необхідні для визначення меж інтервалів регулювання параметрів 3D-друку в модулі розрахунку та паралельної перевірки можливості застосування зазначеного філаменту на вибраному 3D-принтері.

Далі вказуємо величини параметрів 3D-друку та отримуємо розрахункове значення міцності на розтягу. Отримані в результаті розрахунку дані формуються в окремий звіт.

Так як із зазначеними при моделюванні параметрами були виготовлені зразки та проведено експериментальне дослідження міцності на розтяг, порівнюємо отримані значення. Розрахункове значення міцності на розтяг становить 25,581 МПа. Отримане експериментально значення міцності на розтягнення дорівнює 26,89 МПа. Величина розрахункового значення нижче за експериментальні значення, отже, конструкція матиме запас за міцністю. Варіація складає 4,87%, що підтверджує високу точність розробленої математичної моделі.

РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ

3.1. Розробка програми автоматизованого вибору компонентів для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку

Залежно від функціонального призначення деталі та основного матеріалу для ремонту можуть використовуватись різні наповнювачі, що додаються в сировину для виготовлення пластмасової нитки. Наповнювачі дозволяють досягати необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей матеріалу, а також у деяких випадках знижують вартість виготовлення філаменту.

Розрізняють дисперсні та волокнисті наповнювачі. Дисперсні наповнювачі мають ширше поширення в адитивних технологіях з низки технологічних причин. Насамперед це пов'язано з тим, що для застосування у 3D-друку філаменту з дисперсним наповнювачем не потрібно спеціального обладнання. Волокнисті наповнювачі рідше використовуються в технології моделювання методом пошарового наплавлення (англ. Fused Deposition Modeling, FDM) через необхідність встановлення зносостійких сопел у друкуючих голівках, а також застосування дорогих 3D-принтерів при друкуванні філаментом з безперервним армуючим волокном.

Питання підбору відповідних наповнювачів розглядається в наукових роботах [7]. Проте, за умов великого розмаїття номенклатури наповнювачів необхідно скоротити час підбору відповідних матеріалів. Це можна зробити шляхом автоматизованого підбору компонентів [11].

Основною метою створення алгоритму є автоматизація пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення при створенні деталей дорожніх машин із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Критерієм оптимальності в цьому випадку буде одна з основних технічних характеристик готового ПКМ.

Основні завдання, які вирішуються у процесі роботи алгоритму: формування списку вихідних даних; перевірка правильності введення користувачем вхідних даних; розрахунок можливих комбінацій компонентів ПКМ, що задовольняють задані параметри; розрахунок характеристик ПКМ, які відповідають заданим параметрам; формування звіту, що містить вихідні та розраховані значення компонентів ПКМ.

Незалежно від вибору кінцевої характеристики розрахунок ведеться за законом адитивності:

$$X_k = X_m V_m + X_n V_n \quad (3.1)$$

де X_k , X_m , X_n – деяка характеристика ПКМ, матриці та наповнювача відповідно; V_m і V_n – об'ємна частка матриці (сполучного) та наповнювача відповідно.

Для комбінацій компонентів необхідно розрахувати такі характеристики кінцевого ПКМ: густина, ρ [кг/м³]; руйнівна напруга (міцність) при стисканні $\sigma_{сж}$ [МПа]; руйнівна напруга (міцність) при розтягуванні σ_r [МПа]; теплостійкість (температура розм'якшення) t [°C]; відносне подовження E [%].

Вихідними даними є: основний матеріал; розрахункова характеристика ПКМ. Як розрахункову вибирається одна з характеристик готового ПКМ.

Результуючими (вихідними) даними є: найменування сполучного та наповнювача для кожного ПКМ, їх об'ємні частки; вихідні дані; характеристики готових ПКМ (щільність, міцність при розтягуванні та стисканні, теплостійкість та відносне подовження).

За першої деталізації структуру алгоритму пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення за заданими кінцевими властивостями ПКМ можна розділити на п'ять рівнів (рис. 3.1).

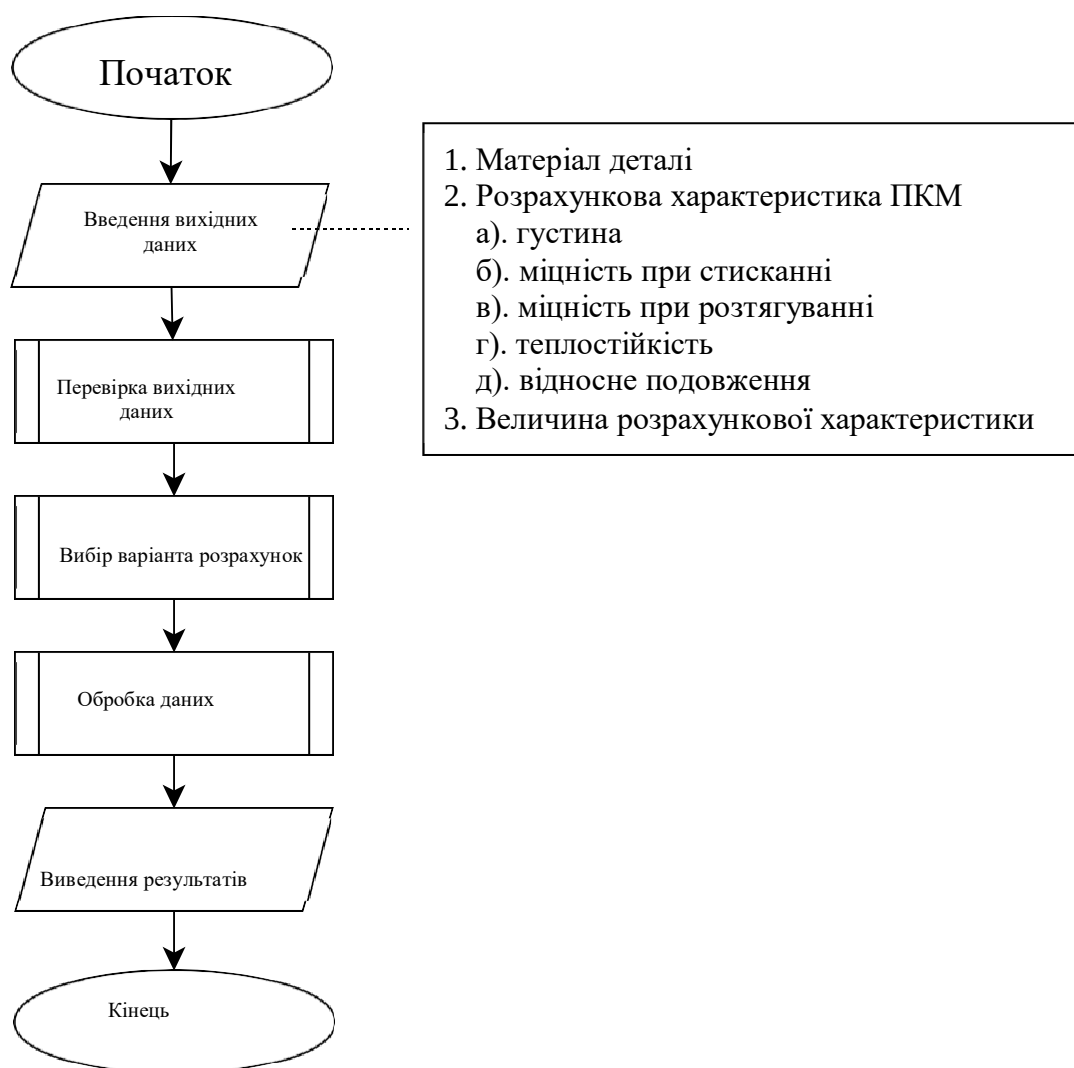


Рис. 3.1 Укрупнена структурна блок-схема алгоритму

Основними обмеженнями, що накладаються на введення вихідної інформації є: вибір матеріалу деталі можливий лише із наведеного списку (заборонено введення власного варіанту); вибір розрахункової якості ПКМ можливий лише з наведеного списку; введення власного варіанта, а також одночасний вибір більше одного варіанта розрахункової якості заборонені; введення величини розрахункової властивості здійснюється виключно арабськими цифрами.

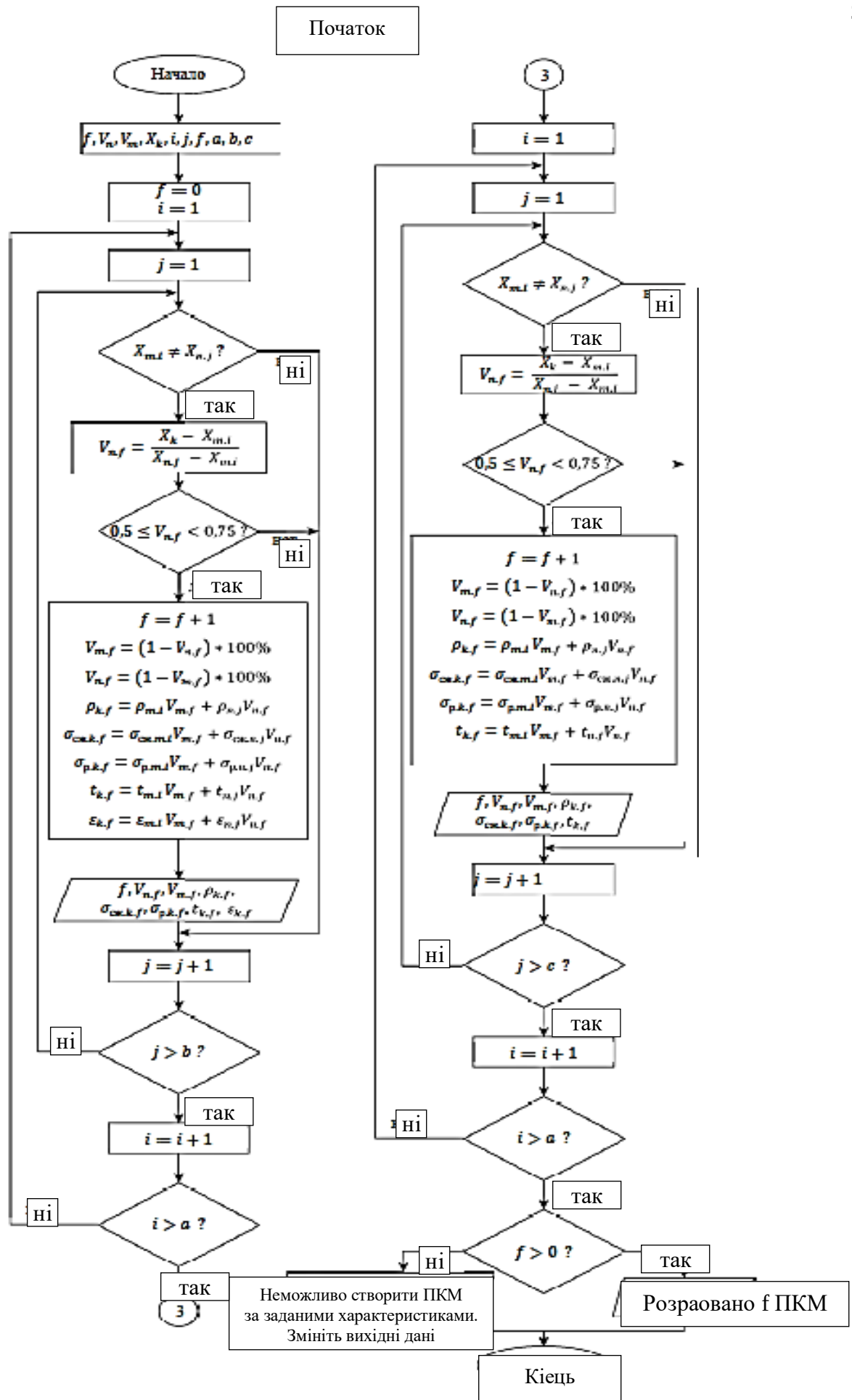


Рис. 3.2 Блок-схема обробки даних

Спочатку призначаємо змінні для розрахунку, де: f – лічильник кількості підібраних комбінацій компонентів ПКМ; V_n – об'ємна частка наповнювача; V_m – об'ємна частка сполучного (матриці); X_k – величина розрахункової характеристики ПКМ; i – лічильник порядкового номера сполучного; j – лічильник порядкового номера наповнювача; a – загальна кількість сполучних у вихідних таблицях; b – загальна кількість волокнистих наповнювачів у вихідних таблицях; c – загальна кількість дисперсних наповнювачів у вихідних таблицях.

Лічильник f кількості підібраних комбінацій компонентів ПКМ необхідний для того, щоб програма наприкінці розрахунку могла визначити кількість розрахованих комбінацій ПКМ. На підставі величини лічильника f програма виводить інформаційні повідомлення, що вказують на кількість розрахованих ПКМ або на необхідність зміни вихідних даних у зв'язку з неможливістю проведення розрахунку за поточними вихідними даними.

Визначення об'ємних часток сполучного V_m та наповнювача V_n є першочерговим завданням роботи алгоритму. Саме при певному співвідношенні об'ємних часток компонентів ПКМ отримує необхідні величини значень характеристик.

Лічильники i та j порядкового номера сполучного та наповнювача відповідно призначені для визначення номера компонента з вихідних таблиць, у яких компоненти ПКМ мають свій порядковий номер.

Так як програма повинна мати можливість поповнення таблиць вихідних даних, що містять характеристики ПКМ, для цієї мети були передбачені змінні a , b і c . За допомогою цих змінних програма визначає останній заповнений рядок у кожній із таблиць з вихідними даними. У разі занесення до таблиці нового сполучного або наповнювача програма враховує внесені зміни при проведенні нового розрахунку.

Привласнюємо змінною f значення $f := 0$ (встановлюємо лічильник розрахованих комбінацій ПКМ у нульове значення), а змінної $i := 1$, тобто для розрахунку вибираємо тип сполучного, що знаходиться першим у вихідних

таблицях.

Проводимо почерговий перебір волокнистих сполучних. Для цього призначаємо $j := 1$ (перший волокнистий наповнювач у вихідних таблицях). Порівнюємо величини вихідної (розрахункової) характеристики матриці та величину відповідної характеристики наповнювача:

$$X_{m.i} \neq X_{n.j} \quad (3.2)$$

Якщо величини порівнюваних характеристик рівні, то переходимо до наступного наповнювача, при цьому присвоюємо $j := j+1$. Виконання цього порівняння необхідно проводити для виключення появи нуля у знаменнику при розрахунку об'ємної частки наповнювача.

У разі коли величини $X_{m.i}$ і $X_{n.j}$ не рівні один одному, розраховуємо величину об'ємної частки наповнювача в ПКМ за формулою:

$$V_{n.f} = \frac{X_k - X_{m.i}}{X_{n.j} - X_{m.i}} \quad (3.3)$$

Розрахована величина V_n за визначенням складу ПКМ має відповідати умові:

$$0,5 \leq V_{n.f} < 0,75 \quad (3.4)$$

Якщо ця умова не виконується, то переходимо до розрахунків з наступним наповнювачем ($j := j+1$), в іншому випадку, коли умова виконується, проводимо розрахунок за такими формулами:

Величину значення лічильника розрахованих комбінацій ПКМ збільшуємо на одиницю:

$$f := f + 1 \quad (3.5)$$

Розраховані значення характеристик заносяться до відповідних граф таблиці звіту, а також вказуються найменування сполучного та наповнювача даного ПКМ.

Повторюємо розрахунки компонентів доти, доки виконається умова, що означає закінчення перебору всіх волокнистих наповнювачів:

$$j > b. \quad (3.6)$$

Після того, як умова 3.6 виконається, відбувається збільшення змінної $i :=$

$i+1$ і заново проводять розрахунки по всіх волокнистих наповнювачах. Повторюємо розрахунки компонентів доти, доки не будуть перевірені всі сполучні.

Сигналом, що означає виконання, є така умова:

$$i > a \quad (3.7)$$

Виконання цієї умови означає, що під час проведення розрахунків було перебрано все сполучні, які у таблиці вихідних даних.

Так як необхідно підібрати комбінації не тільки з волокнистими, але і з дисперсними наповнювачами, то присвоюємо змінної значення $i := 1$ (повертаємося до першого сполучного) і робимо розрахунки, аналогічні розрахункам для волокнистих наповнювачів, з урахуванням таких винятків:

1) відносно подовження для ПКМ з дисперсним наповнювачем не розраховується;

2) умова закінчення перебору всіх дисперсних наповнювачів, що містяться у таблиці вихідних даних:

$$j > c. \quad (3.8)$$

Після того, як було виконано умову формули 4.8, програма перевіряє кількість розрахованих значень ПКМ:

$$f > 0. \quad (3.9)$$

Якщо значення змінної лічильника розрахованих комбінацій задовольняє умові формули 3.9, виводиться повідомлення «Розраховано f ПКМ», де f – число розрахованих комбінацій ПКМ. Якщо ж у результаті роботи алгоритму жодна з комбінацій компонентів ПКМ не задовольнила вихідні дані, виводиться повідомлення «Неможливо створити ПКМ за заданими характеристиками. Змініть вихідні дані».

Алгоритм передбачає також розрахунок за заданими компонентами та діапазоном кінцевих властивостей ПКМ. Вихідними даними є: основний матеріал деталі: задається марка сполучного; тип наповнювача: волокнистий чи дисперсний; наповнювач: задається марка наповнювача; розрахункова характеристика ПКМ: вибирається одна з характеристик готового ПКМ;

величина розрахункової характеристики визначається з точністю до двох знаків після коми.

Результуючими (вихідними) даними є: найменування сполучного та наповнювача для кожного ПКМ, їх об'ємні частки; вихідні дані; характеристики готових ПКМ (щільність, міцність при розтягуванні та стисканні, теплостійкість та відносне подовження).

Розроблений алгоритм пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення з використанням заданих компонентів та діапазону кінцевих властивостей ПКМ дозволяє: здійснювати введення вихідних даних та перевіряти його правильність; оповіщати користувача про введення неповних чи некоректних вихідних даних; проводити розрахунок об'ємних часток сполучного та наповнювача ПКМ; проводити розрахунок за обома заданими компонентами; проводити розрахунок за одним заданим компонентом; розраховувати характеристики ПКМ; враховувати можливе поповнення таблиць із характеристиками компо-нентів ПКМ; формувати звіт, який містить вихідні дані, дані розрахунку; оповіщати користувача про кількість розрахованих комбінацій компо-нентів ПКМ або про неможливість створення ПКМ за заданими вихідними даними.

Витратним матеріалом для FDM 3D-друку є полімерна нитка, що називається філаментом. Як правило, філамент крім основного матеріалу містить наповнювачі, що забезпечують різні фізико-механічні властивості, в тому числі колір, пластичність та міцність. В даний час на ринку витратних матеріалів представлено велику різноманітність філаментів, що відрізняються матеріалом і функціона-льним призначенням виробів, що виготовляються [11].

У разі відсутності готового філаменту для 3D-друку можна його виготовити. Для цього використовуються спеціальні екструдерні лінії, призначені для отримання філаменту каліброваного діаметра. Технологічний процес створення філаменту для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин представлений на рис. 3.3.

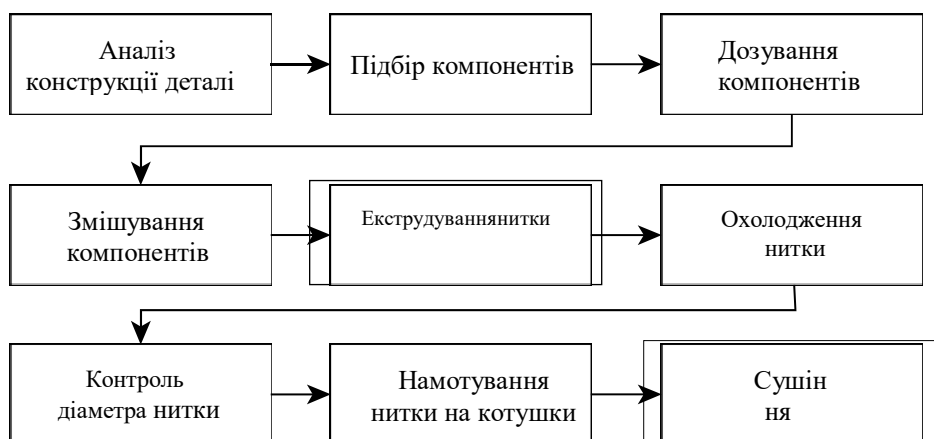


Рис. 3.3 Схема операцій технологічного процесу виготовлення філаменту для 3D-друку

Аналіз конструкції деталі проводиться з метою визначення марки матеріалу, умов роботи та діючих навантажень. Умови роботи визначаються залежно від функціонального призначення та розташування деталі в конструкції дорожньої машини. Навантаження, що діють на деталь, також визначаються схемою закріплення деталі та функціональним призначенням.

Залежно від раніше визначених параметрів здійснюється підбір компонентів ПКМ за допомогою програми автоматизованого вибору. Компоненти дозуються відповідно до розрахованих масових частин. Для дозування компонентів можуть використовуватися дозатори різної конструкції, наприклад вагові. Змішування компонентів здійснюється з використанням спеціальних міксерів.

Безпосередньо виготовлення полімерної нитки провадиться на спеціальних екструдерних лініях, що дозволяють виконувати послідовно кілька операцій: екструдуювання; охолодження; сушіння; контроль діаметра нитки та намотування на котушки.

Екструдуювання здійснюється на шнекових екструдерах. Технологічні режими залежать від компонентів, що використовуються при виготовленні. Найбільш важливими параметрами є температура розплаву та тиск. Тиск необхідно контролювати для сталості якості нитки, що екструдуюється через фільтру: якщо тиск буде непостійним у часі, діаметр філаменту також матиме відхилення.

Температура контролюється в кількох частинах екструдера для визначення в'язкості розплаву полімеру, а також визначення швидкості екструдювання [17].

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

Контроль діаметра філаменту здійснюється безконтактними методами вимірювання. Найбільш поширеним методом є вимірювання лазерними тіньовими датчиками.

Цей принцип вимірювання заснований на тому, що лазерний стрижень розташований поруч з лазерним променем і світлочутливою матрицею. Лазерний промінь, що проходить через систему лінз, утворює прямокутний односпрямований пучок світла. Оскільки філамент знаходиться між випромінювачем і приймачем, вон відкидає тінь на матрицю приймача. Процесор вимірювальної системи обчислює значення діаметра контрольованого об'єкта на основі області тіні, що відкидається об'єктом. Для більшості 3D-принтерів використовують філамент діаметром 1,75 мм із відхиленням $\pm 0,03$ мм.

Перед намотуванням на котушку полімерна нитка проходить через механізм протягання, який багато в чому визначає діаметр майбутньої нитки. Далі нитка заправляється в моталку і намотується на котушку.

Після намотування, котушки з полімерною ниткою відправляються в шафу для остаточної сушіння. Температура процесу сушіння для філаменту з різних матеріалів наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Температура процесу сушіння різних полімерних матеріалів

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

Після закінчення процесу сушіння, катушки з філаментом можна одразу використати для друку або при необхідності тривалого зберігання упаковати їх у вакуумні упаковки.

3.2. Технологія ремонту пластмасових деталей машин

Пропонована технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин полягає у відновленні працездатності виробів із використанням методів 3D-друку. Як відомо, деталі в процесі експлуатації ушкоджуються і можуть бути втрачені окремі елементи. На рис. 3.4 представлено блок-схему технології ремонту пластмасових деталей з неповною комплектністю.

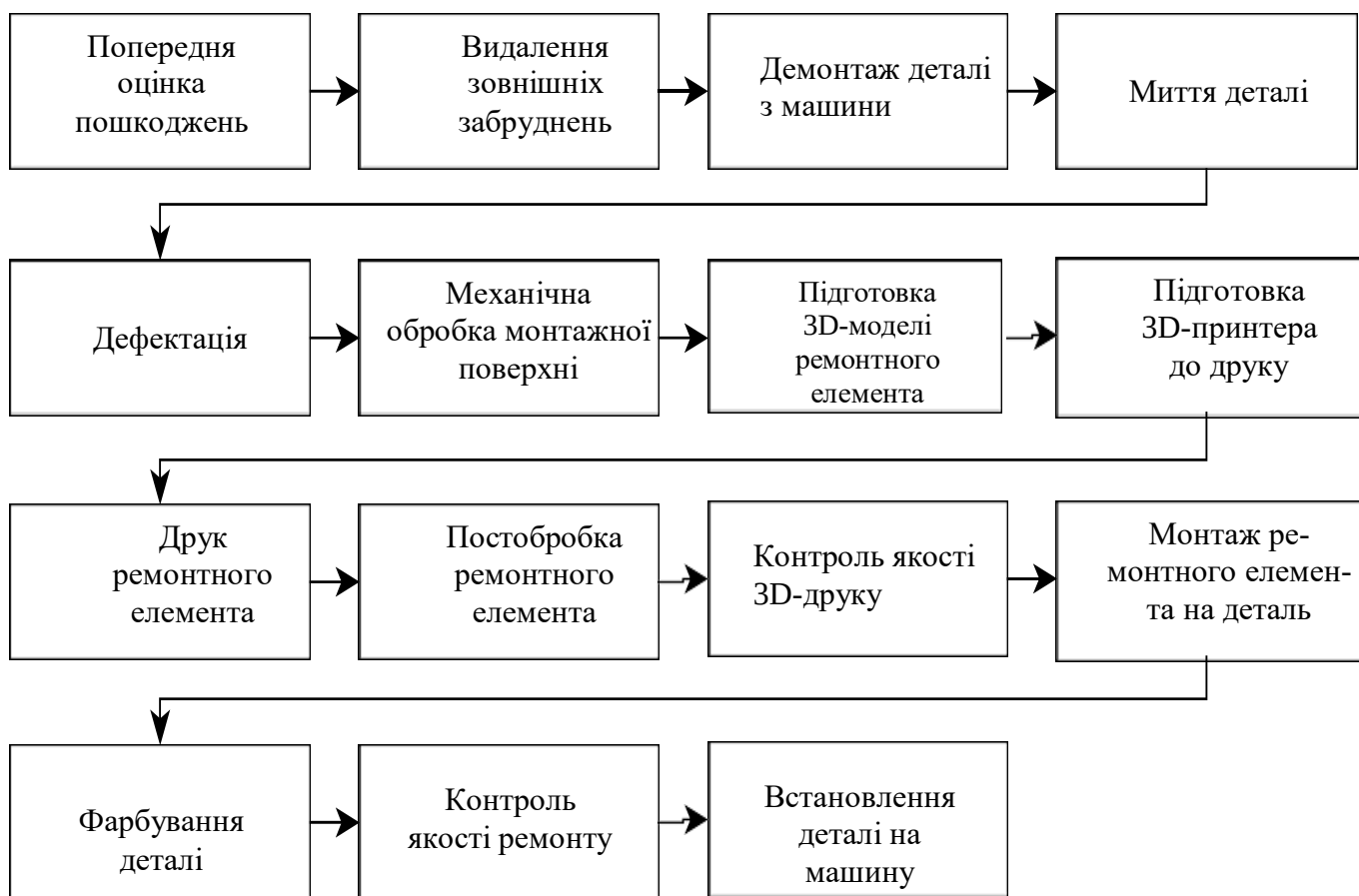


Рис. 3.4 Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням адитивних технологій

Відповідно до запропонованої технології, ремонт пластмасових деталей

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

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

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

Дефектація деталі проводиться з метою встановлення точного переліку дефектів, їх типу, розміру та місця розташування. Вона виконується візуально або із застосуванням вимірювальних інструментів, якщо вони потрібні. У процесі дефектації проводиться вивчення маркувань деталі. Це необхідно виконувати з кількох причин. Перша причина полягає у складанні бази ремонтних елементів, а також визначенні номенклатурного артикула деталі, що ремонтується. Друга причина полягає у визначенні матеріалу деталі, оскільки від цього залежить правильний підбір матеріалу філаменту. Перелік встановлених дефектів, а також матеріал деталі вноситься до карти дефектації [4].

Далі необхідно механічно підготувати поверхню деталі під майбутній ремонтний елемент. Підготовка виконується з допомогою пневматичного абразивного чи ріжучого інструмента. У цьому слід бути уважним і перегрівати деталь шляхом тривалої обробки. Режим механічної обробки вибираються залежно від матеріалу деталі [14].

3D-модель ремонтного елемента виробу, що відновлюється, створюється в будь-якій системі автоматизованого проектування типу Autocad 3D, SolidWorks,

КОМПАС-3D і т.д. При моделюванні слід враховувати коефіцієнт усадки матеріалу та подальшу постобробку, так це вплине на дійсні розміри надрукованого виробу [6]. Поправка на усадку матеріалу та припуск на механічну обробку визначається шляхом масштабування моделі по кожній з трьох осей. Після того, як 3D-модель готова, її необхідно зберегти у форматі, що сприймається програмою для підготовки завдань друку (STL).

Для друку ремонтного виробу насамперед необхідно підготувати завдання друку. Для цього файл 3D-моделі у форматі STL завантажується в програму-слайсер. Вибирається оптимальна орієнтація виробу у просторі та задається опорна поверхня, яка буде базою для побудови всієї деталі. При виборі розташування деталі на столі 3D-принтера слід прагнути: мінімізувати нависаючі структури (елементів моделі які «висять» у повітрі і не мають під собою опори); до вибору як базової площини поверхню моделі із найбільшою площею; до відсутності отворів з горизонтально розташованими осями. Режими друку визначаються через програму автоматизованого призначення режимів друку.

Після створення завдання друку необхідно підготувати 3D-принтер до друку. Підготовка полягає у завантаженні філаменту, калібруванні столу та обробці столу складами, що збільшують адгезію першого шару матеріалу до поверхні столу [9]. Завантаження філаменту та калібрування столу здійснюється відповідно до посібника з експлуатації використовуваного 3D-принтера. Калібрування столу є важливим етапом у підготовці 3D-принтера до друку, оскільки саме від цього залежить якість першого шару і всієї деталі в цілому. Як правило, калібрування столу зводиться до виставлення площини столу паралельно площині руху друкувальної голівки. Нанесення адгезійного складу на поверхню столу дозволяє забезпечити гарне прилипання полімеру до столу та мінімізувати жолоблення деталі в процесі друку. Як такий склад застосовують розчини,

Друк ремонтного виробу повинен здійснюватися за постійних режимів друку, що визначаються на стадії підготовки завдання на друк. Для друку бажано використовувати 3D-принтер із зоною друку закритого типу, оскільки це дозволяє мінімізувати температурну деформацію надрукованого виробу. Виріб повинен

охолонути разом зі столом 3D-принтера. Після повного остигання необхідно зняти надрукований ремонтний елемент із поверхні столу 3D-принтера [6].

Після закінчення друку ремонтного елемента необхідно провести його обробку з метою отримання заданої якості поверхні та видалення матеріалу підтримуючих структур [9]. Постобробка повинна проводитись у три етапи.

Перший етап полягає у видаленні матеріалу підтримуючих структур. Залежно від того, який матеріал використовувався для підтримки, варіюватиметься спосіб їх видалення. Якщо підтримки виготовлялися з того самого матеріалу, що й основна деталь, видалити їх можна тільки механічно. При виготовленні підтримуючих структур з матеріалу, що відрізняється від основного матеріалу, їх видалення можна здійснити хімічно шляхом занурення деталі в ємність зі спеціальним розчинником матеріалу підтримують структур. Другий етап полягає в механічній обробці деталі з метою зниження шорсткості зовнішніх шарів. Ця обробка проводиться абразивним інструментом, наприклад, наждачним папером з різною зернистістю в порядку зниження розміру зерен абразиву. Третій етап постобробки полягає у хімічній обробці ремонтного виробу. Прикладом такої обробки може бути витримка в ацетоновій бані виробів, надрукованих з пластику ABS.

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

У разі відповідності ремонтного елемента технічним вимогам, він монтується на деталь, що відновлюється. Перед початком монтажу поверхні, що з'єднуються, знежирюються. Перш ніж проводити знежирення необхідно переконатися, що знежирювач хімічно нейтральний до матеріалу деталей. Знежирювач наноситься на чисту бавовняну тканину та нею обробляються поверхні. Після обробки необхідно почекати деякий час для того, щоб з поверхні деталей зникли сліди знежирювача.

Ремонтний елемент потім встановлюється на попередньо підготовлений

монтажний майданчик деталі і фіксується в необхідному положенні. Перевіряється правильність установки елемента, після чого він з'єднується з деталлю методом 3D-зварювання з режимами. При необхідності відремонтована деталь забарвлюється за відомими технологіями [5].

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

Способи створення отворів та різьбових поверхонь у деталях машин, виготовлених методами 3D-друку представлено в додатку Б.

Таблиця 3.2

Розрахунок собівартості відновлення пластмасових деталей транспортних засобів

Метод ремонту	Витрати $H_{\text{ЦЕХ}}$, грн	Витрати $H_{\text{ЗАВ}}$, грн
Заміна деталі	73,92	4 448,05
Встановлення ремонтного кронштейна	237,16	1 584,48
Зварювання нагрітим газом	560,56	2 363,68
Склеювання	169,4	347,8
Ремонт із застосуванням 3М™ Automix™	300,3	1 091,42
3D-зварювання	1 301,3	2 677,18

Розрахунок собівартості відновлення пластмасових деталей транспортних засобів на прикладі блок-фари із застосуванням різних методів ремонту представлений у таблиці 3.2 .

Проведені розрахунки показують, що застосування розробленої технології відновлення пластмасових деталей транспортних засобів є доцільною, незважаючи на те, що собівартість ремонту перевищує собівартість інших методів (за винятком заміни деталі).

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів, що виникають в ході експлуатації, причин їх виникнення та існуючих способів ремонту. Встановлено, що традиційні методи ремонту пластикових деталей автомобілів не дозволяють повністю усунути пошкодження, особливо в разі втрати елементів. Показано, що застосування технологій 3D-друку дозволить суттєво автоматизувати процес ремонту автомобілів та підвищити якість виконуваних робіт.

Розроблено теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей транспортних засобів, що відновлюються з використанням методів 3D-друку. Математична модель дозволяє визначити величини параметрів режиму 3D-друку, при яких будуть досягнуті задані характеристики виробу. В результаті проведення моделювання встановлено, що експериментальні значення міцності при розтягуванні зразків, виготовлених із розрахованими величинами параметрів режиму 3D-друку, перевищують розрахункові в середньому на 5%. Отже, передбачається запас міцності виробів.

Розроблено програму для вибору параметрів 3D-друку, яка може призначати параметри відповідно до заданих характеристик міцності конструкції і розраховувати характеристики міцності відповідно до заданих параметрів 3D-друку. Реалізовано можливість редагування та поповнення баз даних, що містять фізико-механічні характеристики існуючих на ринку філаментів для 3D-друку та технічні характеристики 3D-принтерів, які використовуються для виконання основного розрахунку.

Вивчено вплив технологічних факторів на в'язко-пружні та міцнісні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та температури екструдуювання філаменту надає обернено пропорційний вплив на міцнісні та в'язкопружні характеристики. Збільшення відсотка заповнення та модифікатора подачі прямо пропорційно впливає на міцнісні та в'язкопружні характеристики.

Вплив зміни висоти шару на міцнісні та в'язкопружні характеристики носить нелінійний характер.

Вивчено вплив технічних факторів на експлуатаційні характеристики кшпастикових деталей транспортних засобів, відновлених за допомогою 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та висоти шару призводить до збільшення відсотка вологопоглинання, а збільшення модифікатора подачі, відсотка заповнення та температури призводить до зниження відсотка вологопоглинання.

Досліджено міцність різних способів з'єднання елементів деталей між собою, у тому числі при низьких температурах. Визначено, що найбільш міцним способом з'єднання є 3D-зварювання (60% від міцності цілісних зразків). Склеювання є другим за міцністю способом з'єднання деталей (40,4% від міцності цільних зразків). Таким чином, автоматизоване з'єднання 3D-зварюванням дозволить підвищити міцність з'єднання за рахунок рівномірної подачі присадкового матеріалу та зниження впливу людського фактора на технологічний процес.

Розроблено технологію ремонту пластмасових деталей транспортних засобів з використанням методів 3D-друку. Встановлено, що застосування адитивних технологій дозволить підвищити технологічність ремонту та надійність пластмасових деталей машин, а також знизити матеріаломісткість ремонту автомобілів.

Також дана технологія допомагає значно скоротити час на ремонт, забезпечує високу точність відновлення та є економічно вигідною, особливо для деталей, що більше не виробляються або є важкодоступними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В. М., Спирін А. В., Полєвода Ю. А., Твердохліб І. В. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
2. Гунько І. В. Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
3. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin–Rzeszow, 2017. Vol.17, No1, P. 41-48.
4. Spirin A., Baranovsky V. Matematical model of diagnostication of fuel apparatus of automotive diesels. *Scientific journal innovative solutions in modern science*. 2018. №2 (21). P. 33-46.
5. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16-20.
6. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34-36.
7. Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Монтаж акселерометрів при віброакустичному діагностуванні машин і механізмів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2 (97). С. 52-55.
8. Гунько І. В., Спирін А. В., Холодюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : ВНАУ. 2006. 76 с.
9. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 207 с.
10. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР.

Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.

11. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Значення технічного діагностування тракторів і автомобілів в сільському господарстві. *XLVI-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 27-28 березня 2017 р. : тези доповіді.* URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt2017/paper/view/1764/2362> (дата звернення: 12.04.2018).

12. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 221 с.

13. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : Х-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.: тези доповіді.* Вінниця, 2017. С. 138-142.

14. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 50 с.

15. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Методи віброакустичного діагностування технічного стану вузлів і агрегатів машин. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій : VI-а Міжн. конф., м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р.: тези доповіді.* Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 34-36.

16. Борисюк Д. В. Виброакустическая диагностика дефектов и неисправностей подшипников качения. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2014. № 4 (76). С. 50-53.

17. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 51 с.

18. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді.* Вінниця, 2018. С. 28-30.

19. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану

матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.

20. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).

21. Волков В. П., Грицук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.

22. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.

23. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів. О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов, В. О. Павленко. Київ : Грамота, 2005. 352 с.

24. 3D printing trends 2020: industry highlights and market trends. *Trend report*. 2020. Р. 38.

25. B. van den Berg, E. Kosta. 3D Printing: Legal, Philosophical and Economic Dimensions. T.M.C. ASSER PRESS. 2016. 212 p.

26. ДСТ 12.0.003-74*. ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори Класифікація.

27. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

28. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

29. Бондаренко Є.А., Дрончак В.О. Освітлення виробничих приміщень : довідник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 61 с.

30. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

31. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

32. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги.

33. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей,

що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням. Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. Вінниця : ВНТУ, 2012. 64 с.

34. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. Харків: "Форт", 2009. 736 с.

35. Борисюк Д.В., Наумов В.Г. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей автомобілів. *Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць, 2023. С. 76-78.*