

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: «Інтелектуальні технології в виробництві кузовних
деталей легкових автомобілів»

Пояснювальна записка

Виконав: студент 2 курсу, групи
6ПМ

Спеціальності 131-

Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Крючок Д.П.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник Дмитрієв

Д.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2025

Херсонський національний технічний
університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

- Інститут, факультет, відділення інженерії та транспорту
- Кафедра, циклова комісія Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
- Освітньо-кваліфікаційний рівень магістра
- Напрямок підготовки _____
- Спеціальність 131- Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової
комісії _____

Сєліверстов І.А.

«06» вересні 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Гончар Віктор Вікторович

1. Тема проекту «Інтелектуальні технології в виробництві кузовних деталей легкових автомобілів».

Керівник проекту (роботи) Дмитрієв Дмитро Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові наукова ступінь, вчене звання)

Затвердженні наказом вищого навчального закладу від 28.08.2025 року № 373-с.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.01.2025

3. Вихідні дані по проекту (роботи) проект вузла освітлювального устаткування автомобіля з метою збільшення активного захисту пішохода
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Застосування концептуальних ідей ДТ у автопромисловості
5. Застосування сучасних методів імітаційного моделювання 3D об'єктів із подальшим аналізом вихідних даних
6. Дослідження прикладів практичного використання смарт технологій у виробництві

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної Роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук джерел до роботи, вибір методів та методології дослідження	20.09.24	20.09.24
2	Програмне забезпечення, предметна складова роботи,	07.10.24	
3	Створення віртуальних копій об'єктів, дослідження стану моделі у заданих умовах	21.10.24	
4	Робота над розділом розробки цифрового двійника частини виробничої ланки	25.11.24	
5	Оформлення структури роботи	29.11.24	
6	Підготовка матеріалу до презентування роботи	13.12.24	
7	Завершення оформлення проекту	15.12.24	

Студент _____ Крючок Д.П.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Дмитрієв Д.О.

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ

РОЗДІЛ 1.

1.1. Застосування ДТ при виготовленні кузовних деталей 7-17

1.2. Особливості устаткування освітлювальних приладів у
транспортних засобах загального користування 17-21

1.3 Аналіз фізико-механічних властивостей та
дифектоскопіювання готових виробів 21-33

1.5 Огляд методу побудови ізосклер 33-36

РОЗДІЛ 2.

2.1 Теоретичні засади створення маршрутної карти процесу
штампування. 36-43

2.2 Застосування методів ультразвукового дифектоскопіювання
при холодному штампуванні листового прокату 43-50

2.3 Моделювання ланки виробничого процесу за допомогою програмного середовища Plant simulation	50-56
--	-------

ВСТУП

Створення надійної та довговічної конструкції кузова, що відповідала би сучасним уявленням дизайнерських ідеалів є нелегкою задачею, оскільки, нерідко виникають протиріччя між зовнішнім виглядом та функціоналом.

Як приклад можна навести конструкцію фар у марки Mazda miata. Освітлювальні прилади знаходились у передній частині авто під капотом, та мали висувний механізм. Оскільки, з практичної точки зору, нововведення не відрізнялось серед раніше представлених на ринку варіантів, попит можна пояснити естетичною складовою продукту. У ході експлуатації було виявлено ряд недоліків, що могли спричиняти нещасні випадки: підвищена травматичність пішоходів при ДТП, створення аварійної ситуації у разі несправності зсувного механізму, тощо. Історія налічує низку прикладів, подібного роду, коли конструкторські рішення призводили до виникнення потенційно небезпечних ситуацій. Нажаль, занадто часто корективи вводять уже після зафіксованих нещасних випадків.

Щорічно, технічні вимоги до виробів автомобільної промисловості стають все жорсткіші. Задля задоволення потреб ринку, виробнику необхідно застосовувати новітні способи організації виробничого процесу. Лавино подібний прорив спричинила четверта промислова революція, основні принципи якої дозволили вивести взаємодію реального та цифрового простору на новий рівень.

Раніше цифрова техніка виконувала допоміжну роль - проводила обчислення виведених людиною формул або виконувала прописаний алгоритм на засадах із положень Булевої алгебри. Основний концепт лінії

виробничої ланки, або фізико-технічні властивості матеріальних об'єктів знаходилися безпосередньо у свідомості розробника. Робота з ідеями на абстрактному рівні, довгий час була прерогативою людського розуму з усіма присутніми йому недоліками та перевагами, але ситуація змінюється. Стрімкий розвиток цифрових та комп'ютерних технологій на початку 2000-х став підґрунтям для так званої Industrial 4.0. Віднині фізичні об'єкти, процеси та виробництва цілком можуть бути розміщені у віртуальному просторі, що дає змогу проводити випробування що необмежені рамками часу та фінансової складової. Цифровій моделі доступні різні способи взаємодії з реальним світом - можливий варіант уособлення (зв'язок з навколишнім середовищем відсутній, використовується, здебільше для перевірки придатності деталей, або цілих приладів у зборі у заздалегідь визначених умовах); варіант із сенсорною системою (частіше використовується для вивчення, дані з датчиків зчитуються та корегують характеристики моделі) варіант зі зворотнім зв'язком(доцільно уживаний для автоматизації, взаємодія між середовищами передбачає об'ємний потік інформації, все частіше для обробки використовують технології машинного навчання.

1.1 Застосування DT при виготовленні кузовних деталей.

Принцип дії цифрового двійника базується на взаємодії реального і віртуального середовища. На початковому етапі проектування стає у нагоді принцип імітаційного моделювання, проведення віртуальних випробувань дає змогу детально відслідкувати характер навантаження, з можливістю візуального представлення навантаження. Функціоналом для тестування володіють більшість сучасних програмних середовищ для CAD та CAM розробки. Для прикладу у даній роботі проведенні обчислення у Fusion 360.

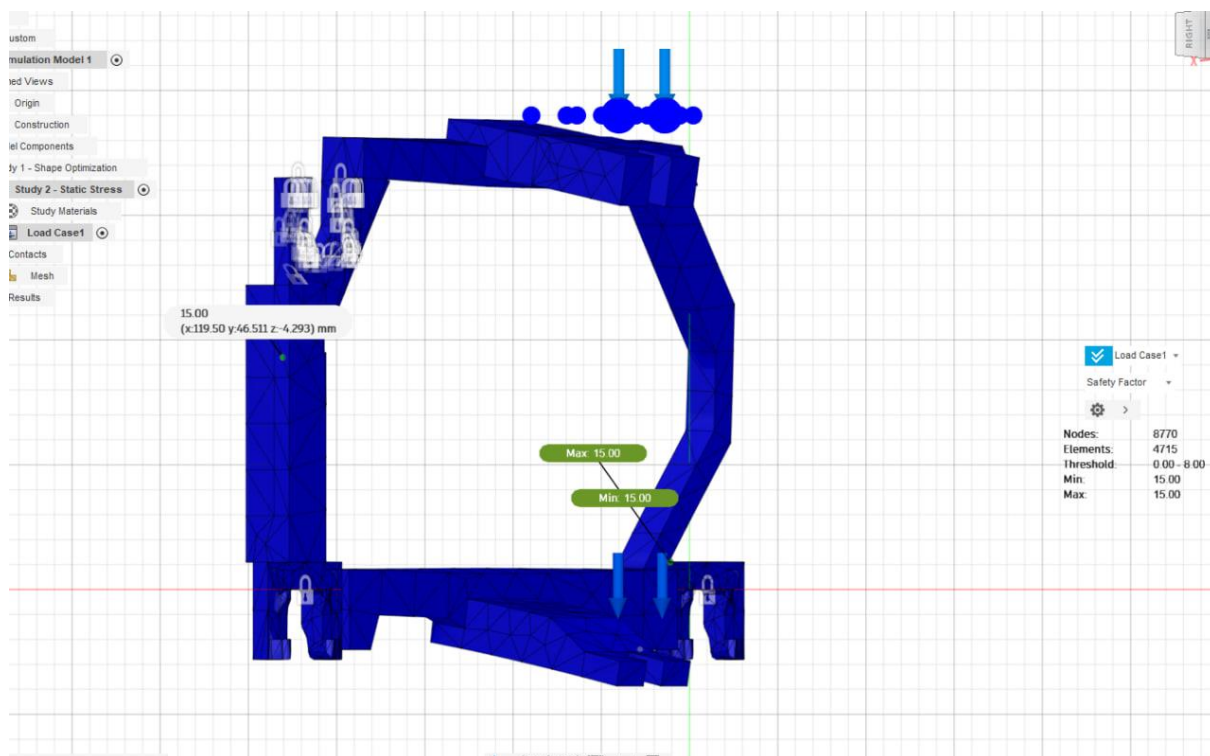


Рис.1

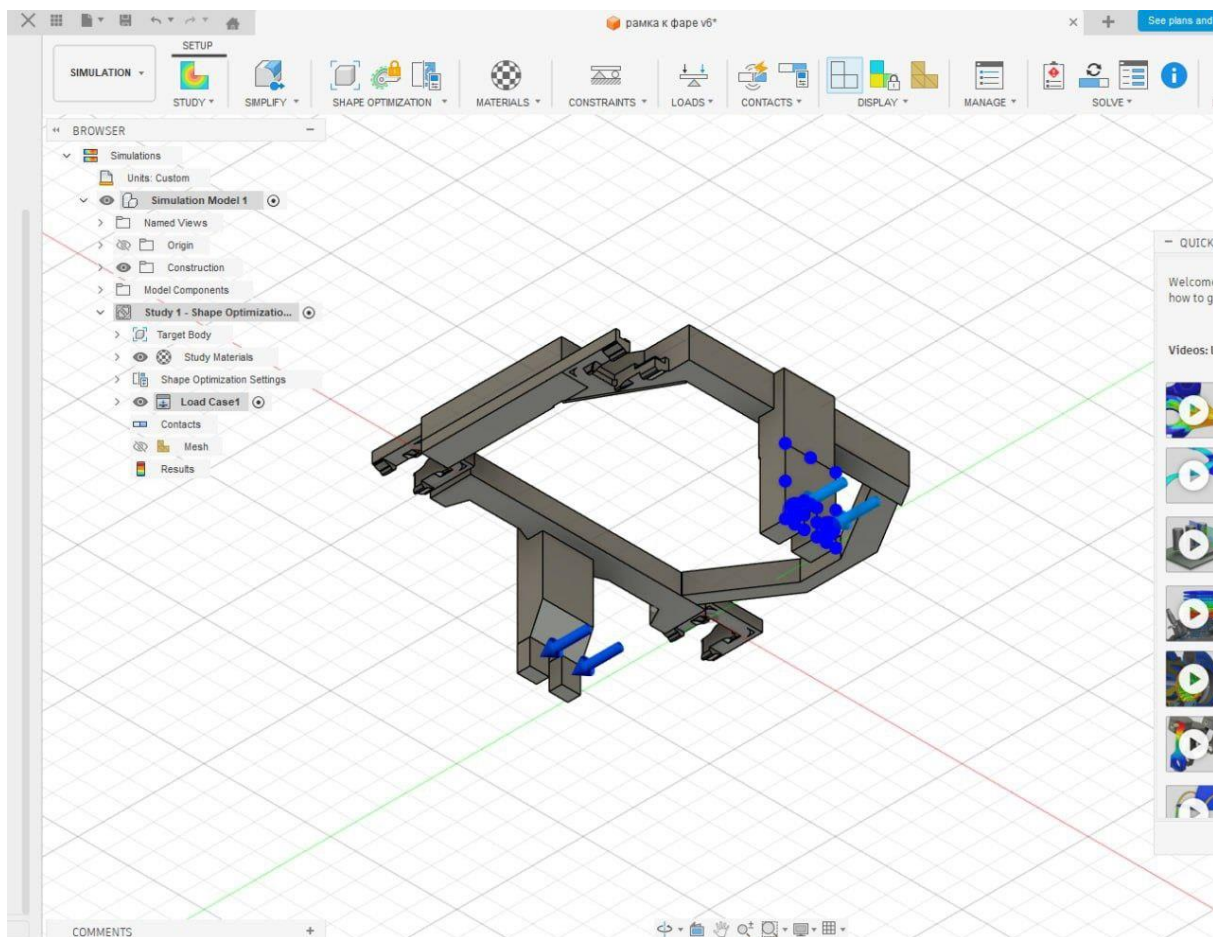


Рис.2

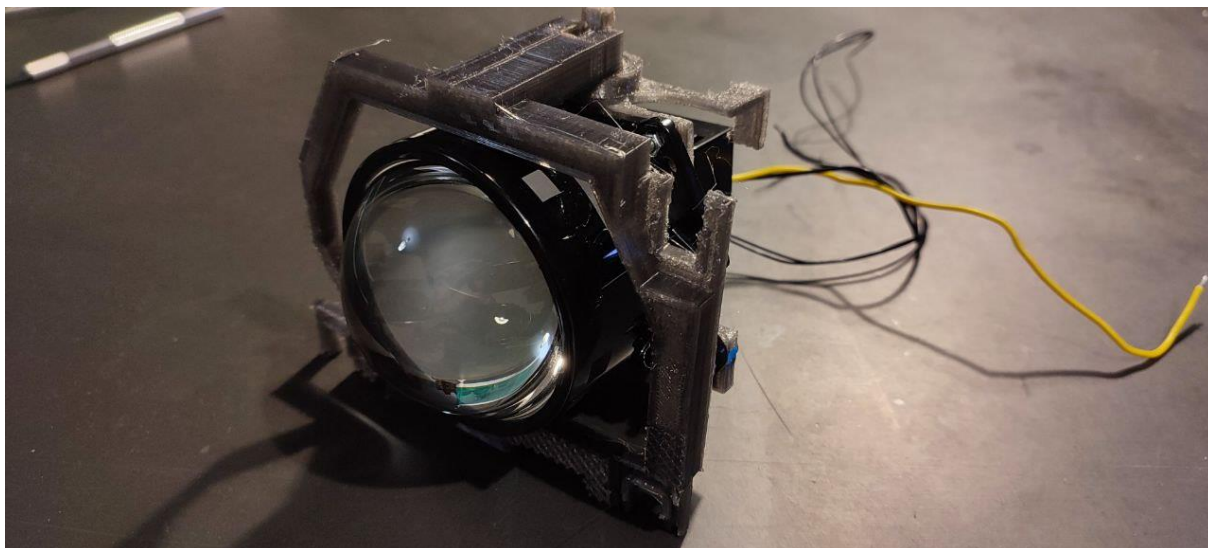


Рис.3

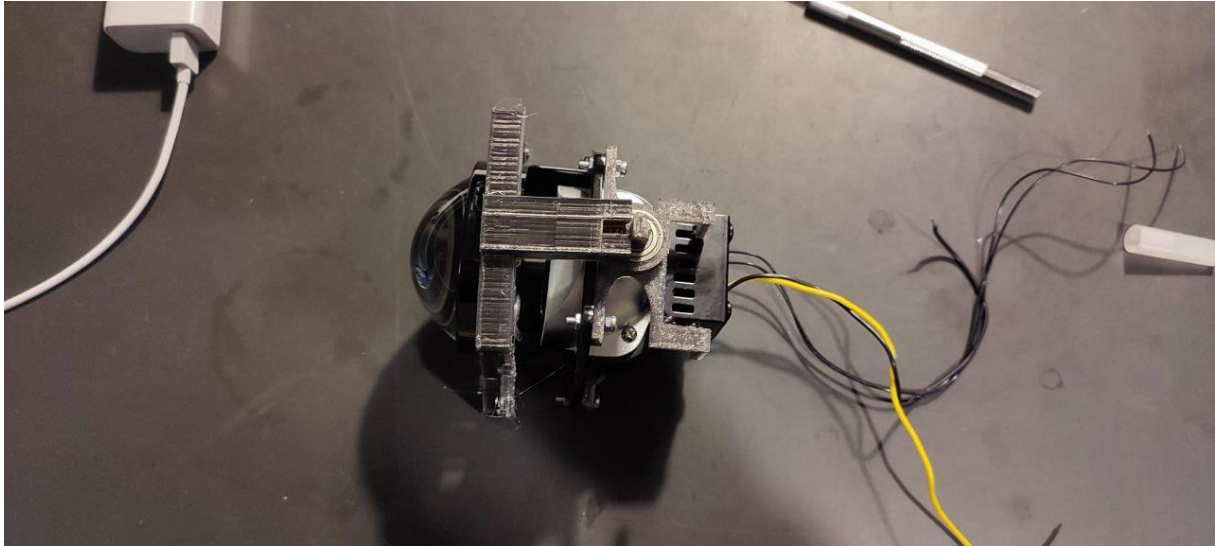


Рис.4

Наведена вище симуляція представляє собою автоматично спроектований епюр для об'ємної моделі деталі, що слугує частиною механізму освітлювального устаткування авто. Важливість якості освітлення для безпечного використання є доволі об'ємною темою, тому матеріал детально розглянуто у наступному розділі.

Принцип створення епюра подібний у більшості програм, для демонстрації було використано наступний алгоритм дій:

- Створення чернового варіанту деталі, у відповідності до необхідних функціональних задач, що поставлені перед нею. Стосовно прикладу, маємо справу із конструкцією, що володіє значним запасом міцнісних характеристик.
- Моделювання випробувань, для створення симуляції необхідно задати ряд умов, що відображають дії реальних сил.

- На вибір матеріалу впливає ряд технологічних та економічних чинників, зачасту, доцільним є компромісний варіант. Наприклад, конструкція виготовлена із вуглецевого волокна(композитним методом) володіє значним міцнісними показниками, але високою вартістю зумовлена вузька направленість ужитку.

- Визначення граничних навантажень. У більшості випадків посиляється на класичні положення з прикладах дисциплін опору матеріалів та теорії руйнування. [1] Зачасту, у автомобільній промисловості для виготовлення кузову використовують ізотропічні матеріали, їх властивості не залежать від напрямку прикладення сил. Винятком можуть слугувати лише спортивні моделі авто. В рамках роботи їх розглядати не будемо, адже технологічний процес виготовлення має вузьку направленість, та має мало спільного із загальною темою.

- Створення сітки. Необхідно для розділення масиву на сукупність малих фрагментів, часто у якості останніх виступають трикутні полігони, рідше полігони з n - мірною основою. Робота із сіткою є основою диференційного методу, що полягає у обчисленні характеристик малих части, загальний результат отримується як середнє значення із низки проміжних результатів. Популярність методу полягає у особливостях архітектури сучасної обчислювальної техніки, математичні операції та співвідношення величин переносяться у машинний код, далі у двійкову систему, та виконуються послідовно. Оптимальною стратегією в описаних умовах і є розділення складних процесів на більш прості. Із погляду на стрімкий розвиток технологій квантових комп'ютерів, підхід до вирішення подібних проблем, закономірно, може набути видозмін.

- Виконання розрахунків.

Розрахунки проводяться автоматично, задача розробника - коректно задати перелік початкових фізичних умов, обрати необхідну точність, з якою буде представлена імітаційна модель, та оцінити отриманий результат за критеріями адекватності(результат може суттєво відрізняється від прогнозованого та не відповідати поставленим вимогам ДСТУ, ISO чи внутрішнім стандартам якості. У такому випадку, відповідальний робітник, мусить перевірити, чи коректно введені дані. Та повторити обчислення.

-Обробка результатів. Важливо пам'ятати, що розрахункова модель, у звичному розуміння, є лише допоміжним інструментом, доки формулювання задачі та прийняття рішення виконуються людиною. Загальний принцип індустрії 4.0 полягає у автономній взаємодії сегментів, що існують у різних середовищах але консолідовані у єдину технічну систему. Вищеописаний процес утворення розрахункової моделі, може слугувати ланкою повноцінного цифрового двійника, за умови введення додаткових елементів. Припустимо, що постановка задачі да її виконання будуть здійснюватися у окремих середовищах, у такому випадку иожемо говорити про структурну модель DT. [Thematic Section - Production Engineering leading the Digital Transformation].

На практиці все частіше можна зустріти застосування цифрового двійника виробничого процесу, або його ланки. Отриманий об'єкт можна розглядати із двох сторін - прикладної та наукової. Звичайно, враховуючи новизну обговорюваної теми, складно встановити строгу градацію категорій. . [A Digital Twin Case Study on Automotive Production Line]. У ході дослідження були виявлені при

Практичною складовою питання є отримання приросту виробництва. Аналіз симуляції дозволяє виявити слабкі місця у організації процесу.

Сучасний етап розвитку автомобілебудування характеризується стрімкою інтеграцією цифрових технологій у всі стадії життєвого циклу виробу — від концептуального проєктування до серійного виробництва та експлуатації. Особливого значення в цьому процесі набувають експериментальні методи виробництва кузовних деталей, які дозволяють поєднати інноваційні підходи до формоутворення з принципами гнучкого, адаптивного та ресурсоефективного виробництва. У рамках концепції Індустрії 4.0 такі методи розглядаються не лише як технологічні новації, а як складові кіберфізичних виробничих систем.

Кузовні деталі автомобіля виконують не тільки естетичну, але й конструктивну та безпекову функцію, що зумовлює високі вимоги до точності, повторюваності та якості їх виготовлення. Традиційні методи штампування та зварювання, незважаючи на свою відпрацьованість, мають обмеження щодо гнучкості та швидкості адаптації до змін конструкції. Саме тому експериментальні методи, зокрема адитивні технології, інкрементне формування листового металу, гібридні процеси та цифрові двійники, набувають дедалі більшої актуальності.

Концепція Індустрії 4.0 у виробництві кузовних деталей

Індустрія 4.0 базується на інтеграції інформаційних технологій, автоматизації, аналізу великих масивів даних та штучного інтелекту у виробничі процеси. Основними її елементами є кіберфізичні системи, інтернет речей, хмарні обчислення та автономні виробничі модулі. У контексті виготовлення кузовних деталей це означає перехід від жорстко

регламентованих технологічних маршрутів до адаптивних процесів, здатних самостійно оптимізувати параметри формоутворення.[2]

Цифровізація виробництва дозволяє створювати віртуальні моделі технологічних процесів, прогнозувати поведінку матеріалу під час деформації та мінімізувати кількість фізичних експериментів. Водночас експериментальні методи не втрачають свого значення, а навпаки — стають основою для валідації цифрових моделей та калібрування симуляційних середовищ.

Адитивні технології як експериментальний підхід

Одним із найбільш перспективних експериментальних методів у виробництві кузовних деталей є адитивне виготовлення. Хоча безпосереднє друкування великих кузовних елементів поки що обмежене технологічними та економічними чинниками, адитивні технології активно застосовуються для виготовлення прототипів, формоутворювального оснащення, а також допоміжних елементів виробничих ліній.

Використання тривимірного друку дозволяє значно скоротити час розробки нових кузовних панелей, особливо на етапі дослідно-конструкторських робіт. [5] У поєднанні з топологічною оптимізацією та чисельними методами аналізу адитивні технології забезпечують створення легких і міцних конструкцій, що відповідають сучасним вимогам до зниження маси автомобіля.

Інкрементне формування листового металу

Інкрементне формування листового металу (Incremental Sheet Forming, ISF) є експериментальним методом, який набуває поширення в умовах малосерійного та індивідуалізованого виробництва. Сутність методу полягає у поступовій локальній деформації листа за допомогою інструмента з числовим програмним керуванням без використання традиційних штамсів.

Цей підхід є особливо актуальним у рамках Індустрії 4.0, оскільки дозволяє швидко змінювати геометрію виробу шляхом коригування цифрової моделі без значних витрат на переналадження обладнання. Експериментальні дослідження в цій галузі спрямовані на визначення граничних параметрів формування, аналіз напружено-деформованого стану матеріалу та підвищення точності готових деталей.

Гібридні технологічні процеси

Перспективним напрямом є поєднання експериментальних методів з традиційними технологіями у вигляді гібридних процесів. Наприклад, комбінування інкрементного формування з локальним нагрівом або лазерною обробкою дозволяє розширити технологічні можливості при роботі з високоміцними сталями та алюмінієвими сплавами.[4]

Часто, маємо справу з даними, отриманими на основі реального продукування, що дозволяє говорити про їх імперичний характер. Але мала повторюваність отриманих результатів, здебільш пов'язаних із індивідуальним підходом для кожного випадку(що суперечить загальному впровадженню) та певною технологічною " інертністю", не дає можливості цілком і повністю відносити отриманні дані до практичного підтвердження тої чи іншої віртуальної цифрової моделі. Проблеми подібного роду

завжди супроводять значні технологічні відкриття, адже суть питання полягає у методології, яка створюється паралельно із її підходом.

Прикладом може слугувати внесок гері Форда у індустрію початку XX сторіччя. Перелік нововведень: впровадження вертикальної інтеграції, конвеєрної лінії, масового виробництва, 8 годинного робочого дня, та створення соціальних програм призвело до виникнення нового терміну - "фордизм".

Повертаючись до нашого випадку, використання критеріїв "практичний" та "науковий" може мати суміжні аспекти, приведені приклади із наукових статей та літератури можуть слугувати аргументами тверджень обох типів. Під прикладом практичного застосування варто розуміти сукупність віртуальних та фізичних структур, утворених на основі процесу виробництва цілком, або ключової для підприємств частини. Що успішно функціонувала тривалий час автономно, мала реальний приріст характеристик, була успішно відтворена у декількох місцях. Решту прикладів варто віднести до теоретичного або наукового представлення цифрових двійників.

Для дослідницьких моделей у значній мірі притаманна гнучкість.

Що дозволяє із більшою ефективністю використовувати окремі елементи імітаційної системи. [8]. Методи опрацювання великих даних можливо комбінувати із типами датчиків, із яких отримані вхідні дані, стосовно стану обладнання, алгоритми машинного навчання простіше поєднати із іншими типами робота механічних комплексів виробництва.

У статті наведено приклад реально функціонуючого виробництва, на базі якого було проведено дослідження використання ДТ. Основою для створення стали модель поточного компонування обладнання на території закладу та витяг із актуального поточного кошторису ресурсів. Маємо низку позитивних статистичних змін: зниження помилок при проектуванні на 70%; скорочення часу, необхідного для виконання планових робіт на 30%; ефективність ужитку фінансового ресурсу зросла на 15%.[7]

1.2 Особливості устаткування освітлювальних приладів у транспортних засобах загального користування

Освітлення автомобіля посідає важливе місце серед технічних чинників, що визначають рівень безпеки дорожнього руху. У сучасних умовах зростання інтенсивності транспортних потоків, ускладнення дорожньої інфраструктури та підвищення середньої швидкості руху роль світлотехнічних систем транспортних засобів набуває особливої актуальності. Ефективне освітлення безпосередньо впливає на якість зорового сприйняття водія, його здатність швидко орієнтуватися в дорожній обстановці та своєчасно реагувати на потенційні небезпеки.[14]

Зір є основним каналом отримання інформації під час керування автомобілем, оскільки, за різними оцінками, понад 80 % інформації водій отримує саме візуально. У темну пору доби або за умов недостатньої природної освітленості (туман, дощ, сніг, сутінки) ефективність зорового аналізу значною мірою залежить від характеристик штучного освітлення. Недостатній рівень освітленості проїзної частини знижує контрастність об'єктів, ускладнює розпізнавання пішоходів, дорожніх знаків, розмітки та

перешкод, що може призводити до помилкових рішень і, як наслідок, до дорожньо-транспортних пригод.

Зовнішні світлові прилади автомобіля виконують комплексну функцію, яка поєднує забезпечення видимості для водія та інформування інших учасників дорожнього руху. Фари ближнього світла призначені для освітлення дороги без засліплення зустрічного транспорту, тоді як дальнє світло забезпечує максимальну дальність огляду за відсутності інших транспортних засобів попереду. Правильне використання та налаштування цих режимів має принципове значення для безпеки, оскільки помилки у застосуванні світлових приладів можуть створювати небезпечні ситуації не лише для водія, а й для оточуючих.[15]

Окрему увагу слід приділити технічному стану фар та їх світлорозподілу. Зношення ламп, помутніння розсіювачів, механічні пошкодження або неправильне регулювання кута нахилу фар призводять до зниження ефективності освітлення. У деяких випадках світловий потік може бути спрямований вище або нижче оптимального рівня, що або не забезпечує достатньої видимості дорожнього полотна, або створює ефект засліплення для зустрічних водіїв. Обидва варіанти негативно впливають на безпеку руху та потребують систематичного контролю під час технічного обслуговування автомобіля.

Суттєвий вплив на безпеку має також спектральний склад та інтенсивність світла. Сучасні тенденції розвитку автомобільного освітлення пов'язані з переходом від традиційних галогенних ламп до ксенонових та світлодіодних джерел світла. Такі технології забезпечують вищу світлову віддачу, кращу рівномірність освітлення та більший ресурс роботи. Водночас вони потребують точнішого налаштування та дотримання нормативних вимог,

оскільки надмірна яскравість або неправильна колірна температура можуть викликати дискомфорт і втому зору як у самого водія, так і в інших учасників руху.[16]

Протитуманні фари відіграють важливу роль у специфічних умовах експлуатації транспортного засобу. Їх конструкція та розташування дозволяють освітлювати нижню частину простору перед автомобілем, зменшуючи ефект відбиття світла від крапель туману або опадів. Однак неправильне використання протитуманних фар за умов доброї видимості може мати протилежний ефект, збільшуючи рівень засліплення та створюючи додаткові ризики. Це підкреслює необхідність не лише технічної справності системи освітлення, а й належної підготовки водіїв щодо її коректного використання.

Важливим аспектом безпеки є також сигнальне освітлення автомобіля, до якого належать габаритні вогні, стоп-сигнали, покажчики поворотів та аварійна сигналізація. Ці елементи забезпечують комунікацію між учасниками дорожнього руху, дозволяючи прогнозувати дії інших водіїв і зменшувати ймовірність конфліктних ситуацій. Несправність або недостатня яскравість сигнальних вогнів може призвести до несвоєчасного реагування з боку інших водіїв, що особливо небезпечно в умовах щільного руху або на високих швидкостях.[17]

Окрім зовнішнього освітлення, значну роль у забезпеченні безпеки відіграє внутрішнє освітлення салону автомобіля. Хоча воно не впливає безпосередньо на освітлення дороги, його неправильна організація може негативно позначатися на психофізіологічному стані водія. Надмірна яскравість внутрішніх світлових елементів у нічний час здатна викликати осліплення або

зниження адаптації очей до темряви, тоді як занадто слабе освітлення ускладнює зчитування інформації з приладової панелі. Освітлення панелі приладів, мультимедійних систем і навігаційних дисплеїв повинно бути узгоджене з умовами руху та індивідуальними особливостями водія. Сучасні автомобілі дедалі частіше оснащуються системами автоматичного регулювання яскравості, які адаптуються до рівня зовнішнього освітлення. Такі рішення сприяють зниженню навантаження на зоровий апарат водія та підвищенню загального рівня комфорту і безпеки під час керування.[18]

Проблема втоми водія тісно пов'язана з якістю освітлення. Недостатній або нерівномірний світловий потік змушує водія постійно напружувати зір, що призводить до швидшого настання втоми, зниження концентрації уваги та збільшення часу реакції. У довготривалих поїздках, особливо в нічний час, цей фактор може стати критичним. Таким чином, оптимізація світлотехнічних характеристик автомобіля є важливим елементом профілактики аварійності.

З точки зору системного підходу, освітлення автомобіля слід розглядати як складову загальної концепції активної безпеки. Воно взаємодіє з іншими системами, такими як гальмівна система, системи допомоги водієві та інформаційні технології. Наприклад, сучасні адаптивні фари здатні змінювати напрямок світлового пучка залежно від кута повороту керма або швидкості руху, що підвищує ефективність освітлення на криволінійних ділянках дороги.

У контексті розвитку автомобільної промисловості та впровадження інноваційних технологій питання освітлення набуває нового змісту. Інтелектуальні системи освітлення, що

взаємодіють з датчиками та електронними системами автомобіля, відкривають нові можливості для підвищення безпеки. Водночас їх використання потребує відповідного нормативного регулювання та адаптації правил дорожнього руху до нових технічних реалій. Підсумовуючи, можна стверджувати, що освітлення автомобіля є багатокomпонентною системою, від ефективності якої значною мірою залежить безпека водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху.[19] Його значення проявляється як у прямому впливі на видимість і зорове сприйняття, так і в опосередкованому впливі на психофізіологічний стан водія. Удосконалення систем освітлення, регулярний контроль їх технічного стану та підвищення культури використання світлових приладів є необхідними умовами зниження аварійності та підвищення загального рівня безпеки дорожнього руху.

1.3 Аналіз фізико-механічних властивостей та дифектоскопіювання готових виробів

У виробництві авто ведеться постійний пошук нових матеріалів використання яких у конструкціях дозволило би покращити їх характеристики. Значна частина досліджень пов'язана із частинами, що знаходяться під навантаженням, адже в них зосереджена переважна частина маси конструкції. Для зовнішнього обромлення найросповсюдженішим матеріалом залишається листовий метал.

Потенційні дефекти виробу можуть виникати по ряду причин: виробничий брак, втомлювані навантаження, зовнішні чинники (корозія, перепади температур, механічні ушкодження)

Для запобігання браку прокудукції застосовують комплекс методів. Першочергово проводиться огляд геометричних параметрів. Він може бути проведений шляхом вимірювання основних величин, передбачених у технічній документації з урахуванням допусків. На практиці даний етап часто автоматизований - деталь розміщують у спеціальному верифікаційному обладнанні та виконується фото або відео зйомка. Відстань між об'єктом та камерою фіксована, що дозволяє враховувати оптичні викривлення та перспективні скорочення. У такий спосіб можливо швидко оцінити відхилення від номінальної форми, наявність тріщин, раковин на поверхні виробу. Метод застосовується для деталей простої форми та малих габаритів.

Для запобігання браку прокудукції застосовують комплекс методів. Першочергово проводиться огляд геометричних параметрів. Він може бути проведений шляхом вимірювання основних величин, передбачених у технічній документації з урахуванням допусків. На практиці даний етап часто автоматизований - деталь розміщують у спеціальному верифікаційному обладнанні та виконується фото або відео зйомка. Відстань між об'єктом та камерою фіксована, що дозволяє враховувати оптичні викривлення та перспективні скорочення. У такий спосіб можливо швидко оцінити відхилення від номінальної форми, наявність тріщин, раковин на поверхні виробу. Метод застосовується для деталей простої форми та малих габаритів.

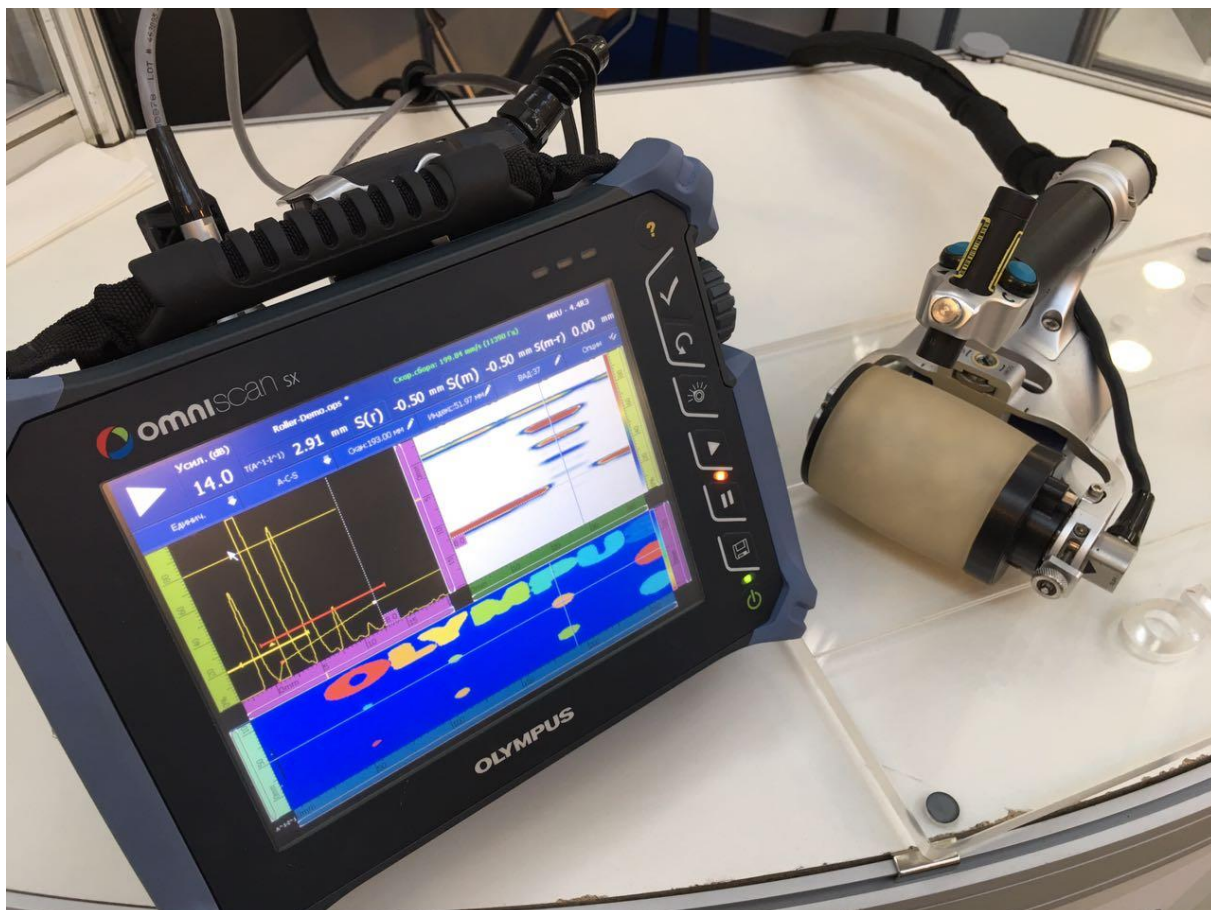


Рис.5

Розповсюдженням методом з'єднання окремо виготовлених елементів є зварювання. Воно забезпечує високу надійність та рівномірність розповсюдження навантаження по площі конструкції, адже в утвореній зварювальній ванні метал(сплав) переміщується, утворюючи суспільну структуру. При використанні болтів або заклепок, необхідно додатково розраховувати їх кількість та діаметр, для забезпечення бажаної міцності. Крім того, для тонкостінних металів, додаткові отвори можуть ослабити конструкцію, виступаючи у ролі концентраторів напруги. Відсутністю зазначених недоліків пояснюється частота вживання зварювання. Контроль якості шва здійснюється за допомогою спеціального приладу ультразвукового дефектоскопу, зображений на рисунку 2. Метод, за яким

працює інструмент, полягає у особливостях проходження ультразвуку. Спеціальний п'єзодатчик створює коливання частотою від 0.5 до 25 МГц, чутливий елемент вловлює відлуння. Таким чином можна виявити пори, включення шлаку, непровари, непомітні зовні.

У порівнянні рентгенографією метод менш точний, оскільки оцінює лише вузький проміжок матеріалу у зоні дії датчику також відсутня можливість отримання зображення внутрішньої структури. Але, для потреб автопромисловості, ультразвукове дослідження краще адаптоване, відсутність шкідливого впливу рентгенівського випромінювання, простота та швидкість здійснення випробування зумовлюють розповсюдження застосування.

Серед методів неруйнівного контролю широке поширення отримала магнітна дефектоскопія, яка відзначається високою інформативністю при дослідженні ферромагнітних матеріалів. Одним із найбільш ефективних її різновидів є метод із застосуванням рідкої магнітної суспензії, що особливо доцільний для контролю тонкостінних і складнопрофільних кузовних деталей автомобіля.

Загальні положення магнітної дефектоскопії

Магнітна дефектоскопія базується на фізичному явищі намагнічування ферромагнітних матеріалів у зовнішньому магнітному полі. У разі відсутності суцільності металу або наявності внутрішніх дефектів відбувається порушення рівномірності магнітного потоку. Внаслідок цього

в зоні дефекту формуються локальні магнітні поля розсіювання, які виходять на поверхню виробу.

Для виявлення таких полів застосовують спеціальні магнітні індикатори, які дозволяють візуалізувати дефекти та визначити їх характер, розміри й орієнтацію. Залежно від фізичного стану індикаторного матеріалу магнітну дефектоскопію поділяють на сухий порошковий метод і метод із використанням рідкої магнітної суспензії.

Особливості рідкої магнітної суспензії

Рідка магнітна суспензія являє собою дисперсну систему, що складається з дрібних феромагнітних частинок, рівномірно розподілених у рідкому середовищі. Як носій можуть застосовуватися водні або масляні розчини з додаванням стабілізуючих і антикорозійних компонентів. Для підвищення чутливості контролю часто використовують флуоресцентні частинки, які добре помітні в ультрафіолетовому випромінюванні.

Під час контролю деталь намагнічується одним із можливих способів, після чого на її поверхню наноситься суспензія. Під дією полів розсіювання магнітні частинки концентруються в місцях дефектів, формуючи чітку індикаторну картину.

Переваги застосування рідкої суспензії для кузовних деталей автомобіля

Висока чутливість методу

Однією з основних переваг застосування рідкої магнітної суспензії є здатність виявляти дефекти малих розмірів. Завдяки високій рухливості частинок у рідкому середовищі забезпечується їх швидка реакція навіть на незначні поля розсіювання. Це дозволяє фіксувати мікротріщини, втомні ушкодження та дефекти зварних з'єднань на ранніх стадіях їх розвитку.

Для кузовних деталей автомобіля, які в процесі експлуатації зазнають багаторазових циклічних навантажень, така властивість методу є надзвичайно важливою з точки зору попередження аварійних ситуацій.

Ефективність контролю деталей складної форми

Кузов автомобіля характеризується складною геометрією, наявністю криволінійних поверхонь, ребер жорсткості та важкодоступних зон. Рідка магнітна суспензія забезпечує рівномірне змочування поверхні, легко проникаючи в заглиблення та стики.

На відміну від сухих індикаторів, рідка форма дозволяє отримати стабільну та однорідну індикацію дефектів по всій площі деталі, що суттєво підвищує якість контролю кузовних елементів.

Підвищення точності та наочності результатів

Використання рідкої суспензії сприяє формуванню чітких і контрастних слідів дефектів, що спрощує їх візуальне сприйняття та аналіз. Особливої ефективності метод набуває при застосуванні флуоресцентних суспензій, які забезпечують високу видимість дефектів у затемнених умовах.

Це зменшує ймовірність суб'єктивних помилок оператора та підвищує достовірність результатів дефектоскопічного контролю.

Збереження поверхні кузовних деталей

Кузовні елементи автомобілів, як правило, виготовляються з тонколистової сталі, чутливої до механічних пошкоджень. Рідка магнітна суспензія не має абразивного впливу на поверхню деталі, що виключає ризик утворення подряпин або інших пошкоджень.

Крім того, сучасні склади суспензій містять антикорозійні добавки, які знижують ймовірність розвитку корозії після завершення контролю.

Висока продуктивність процесу

Метод магнітної дефектоскопії з використанням рідкої суспензії добре пристосований до механізації та автоматизації. Це дозволяє застосовувати його як у серійному виробництві автомобілів, так і під час ремонтно-

відновлювальних робіт. Скорочення часу контролю при збереженні високої якості результатів робить даний метод економічно вигідним для підприємств автомобільної галузі.

Аналіз особливостей магнітної дефектоскопії з використанням рідкої суспензії свідчить про її високу ефективність при контролі кузовних деталей автомобіля. Поєднання високої чутливості, наочності результатів, безпечності для поверхні матеріалу та технологічної зручності зумовлює широке застосування даного методу в автомобілебудуванні.

Застосування рідкої магнітної суспензії дозволяє своєчасно виявляти дефекти, підвищувати рівень безпеки транспортних засобів і забезпечувати відповідність кузовних конструкцій сучасним вимогам надійності та довговічності.

Серед таких методів важливе місце займає капілярна дефектоскопія, що базується на фізичному явищі проникнення рідин у вузькі поверхневі порожнини під дією капілярних сил. Завдяки простоті реалізації та універсальності даний метод широко використовується в машинобудуванні, авіаційній, автомобільній та енергетичній галузях. Разом з тим капілярні методи мають як суттєві переваги, так і певні обмеження, що визначають доцільність їх застосування в конкретних умовах.

Загальна характеристика капілярних методів дефектоскопіювання

Капілярна дефектоскопія належить до методів поверхневого неруйнівного контролю та призначена для виявлення відкритих дефектів, таких як тріщини, пори, раковини, непровари та мікророзриви, які виходять на

поверхню виробу. Принцип дії методу полягає в здатності спеціальних індикаторних рідин проникати в найдрібніші поверхневі дефекти за рахунок капілярного ефекту.

Процес контролю зазвичай включає кілька основних етапів: ретельне очищення поверхні деталі, нанесення пенетранта, видалення його надлишків, нанесення проявника та візуальну оцінку результатів. Залежно від типу використовуваних індикаторних матеріалів розрізняють кольорові (контрастні) та флуоресцентні капілярні методи.

Переваги капілярних методів дефектоскопіювання

Універсальність щодо матеріалу виробу

Однією з найбільш вагомих переваг капілярних методів є їх практична незалежність від фізичних властивостей матеріалу деталі. На відміну від магнітних методів, які застосовуються лише до ферромагнітних матеріалів, капілярна дефектоскопія може використовуватися для контролю сталей, алюмінієвих сплавів, титану, кольорових металів, а також неметалевих матеріалів.

Ця властивість робить капілярні методи особливо цінними для контролю деталей складних конструкцій, виготовлених із різномірних матеріалів.

Висока чутливість до поверхневих дефектів

Капілярні методи дозволяють виявляти дефекти надзвичайно малих розмірів, включно з мікротріщинами, ширина яких може становити частки мікрометра. Завдяки високій проникній здатності пенетрантів забезпечується заповнення навіть найтонших поверхневих порожнин, що значно підвищує ймовірність виявлення небезпечних пошкоджень.

Це особливо важливо для деталей, що працюють в умовах змінних навантажень, де навіть незначні поверхневі дефекти можуть стати причиною втомного руйнування.

Простота реалізації та відносно низька вартість

Технологія капілярної дефектоскопії не потребує складного або дорогого обладнання. У більшості випадків достатньо стандартного набору матеріалів і пристроїв, що робить метод доступним для застосування як у виробничих умовах, так і в ремонтних майстернях.

Відсутність потреби в складних електромагнітних або радіаційних установках зумовлює низькі експлуатаційні витрати та простоту підготовки персоналу.

Висока наочність результатів контролю

Результати капілярного контролю мають чітке візуальне відображення у вигляді кольорових або світних індикаторних слідів на поверхні деталі. Це значно полегшує процес виявлення дефектів та їх попередню оцінку.

У разі використання флуоресцентних пенетрантів контрастність індикації значно зростає, що підвищує достовірність результатів і зменшує вплив суб'єктивного фактора.[9]

Недоліки капілярних методів дефектоскопіювання

Обмеженість лише поверхневими дефектами

Основним недоліком капілярних методів є їх нездатність виявляти внутрішні або підповерхневі дефекти, які не мають виходу на поверхню виробу. Таким чином, капілярна дефектоскопія не може використовуватися як універсальний метод контролю та часто потребує поєднання з іншими способами неруйнівного контролю.

Це обмежує сферу застосування методу в тих випадках, коли існує ймовірність наявності глибинних дефектів матеріалу.

Високі вимоги до підготовки поверхні

Ефективність капілярного контролю значною мірою залежить від якості очищення поверхні деталі. Наявність мастила, фарби, іржі або інших

забруднень може перешкоджати проникненню пенетранта в дефекти, що призводить до зниження чутливості методу або отримання хибнонегативних результатів.

Процес підготовки поверхні є трудомістким і може суттєво збільшувати загальний час проведення контролю.

Вплив умов навколишнього середовища

Результати капілярної дефектоскопії можуть залежати від температури, вологості та освітленості робочого місця. Занадто низька або висока температура здатна змінювати в'язкість пенетранта, погіршуючи його капілярні властивості

Крім того, при використанні флуоресцентних методів необхідне спеціальне освітлення, що ускладнює проведення контролю в польових умовах.

Неможливість автоматичної кількісної оцінки дефектів

Капілярні методи в основному забезпечують якісну оцінку наявності дефектів, тоді як точне визначення їх глибини або об'єму є утрудненим. Аналіз результатів значною мірою ґрунтується на досвіді оператора, що може впливати на повторюваність і об'єктивність оцінки.

Висновки

Капілярні методи дефектоскопіювання є ефективним і широко застосовуваним засобом виявлення поверхневих дефектів у деталях різного призначення. До їх основних переваг належать універсальність щодо матеріалу виробу, висока чутливість, простота реалізації та наочність результатів контролю.

Водночас обмеженість методу лише поверхневими дефектами, підвищені вимоги до підготовки поверхні та залежність від зовнішніх умов визначають необхідність обґрунтованого вибору сфери його застосування. Найбільш доцільним є використання капілярної дефектоскопії в комплексі з іншими методами неруйнівного контролю, що дозволяє отримати повнішу та більш достовірну інформацію про технічний стан виробів.

1.4 Огляд методу побудови ізосклер

У сучасній судово-технічній експертизі дорожньо-транспортних пригод особливого значення набувають методи, що дозволяють з високим ступенем обґрунтованості встановлювати параметри руху транспортних засобів та механізм виникнення аварійних ситуацій. Одним із таких методів є метод, розроблений професором В. В. Огородніковим, який ґрунтується на енергетичному аналізі процесу зіткнення та дослідженні пластичних деформацій транспортних засобів.

Необхідність розроблення подібних підходів зумовлена обмеженими можливостями традиційних методик визначення швидкості руху

автомобілів. Зокрема, методи, що базуються на аналізі гальмівного шляху або слідів ковзання, не можуть бути застосовані у випадках їх відсутності або часткового знищення. Крім того, результати таких розрахунків істотно залежать від дорожніх умов, стану покриття та технічного стану транспортного засобу, що ускладнює отримання достовірних висновків.

Метод Огороднікова базується на фундаментальних положеннях механіки деформівного твердого тіла та законі збереження енергії. Відповідно до цього підходу, дорожньо-транспортна пригода розглядається як короткочасний динамічний процес, у межах якого відбувається перетворення кінетичної енергії транспортного засобу на інші види енергії, основною з яких є робота пластичної деформації елементів кузова.[10]

Суттєвим положенням методу є твердження про те, що величина та характер пластичних деформацій несуть інформацію про умови зіткнення, зокрема про швидкість руху транспортного засобу до моменту контакту. Оскільки конструктивні елементи автомобіля мають відомі або визначувані жорсткісні характеристики, аналіз глибини, площі та просторового розподілу деформацій дозволяє оцінити енергію, витрачену на їх формування.

У межах методу деформація розглядається не як однорідний процес, а як складний напружено-деформований стан, що формується під дією

розподілених навантажень.[10] Для систематизації аналізу використовується уявлення про зони рівної деформації, які дозволяють описати зміну інтенсивності зминання в різних ділянках кузова. Такий підхід забезпечує більш точне відображення реального механізму взаємодії транспортних засобів під час зіткнення.

Центральним елементом методу Огороднікова є складання енергетичного балансу зіткнення. У загальному вигляді цей баланс полягає у зіставленні кінетичної енергії руху транспортного засобу з сумарною енергією, витраченою на пластичну деформацію, переміщення транспортних засобів після удару та інші втрати. При цьому основна увага зосереджується саме на енергії деформації як домінуючій складовій енергетичних перетворень.

Практична реалізація методу передбачає послідовне виконання кількох етапів. На першому етапі здійснюється детальне дослідження пошкоджень транспортного засобу з фіксацією їх геометричних параметрів. Далі встановлюється механізм деформації та напрям дії навантажень. На наступному етапі виконується розрахунок роботи пластичної деформації з урахуванням жорсткісних характеристик конструкції. Завершальним етапом є визначення швидкості руху транспортного засобу шляхом зіставлення отриманої енергії з кінетичною енергією руху.[11]

Перевагою методу Огороднікова є його універсальність та можливість застосування у випадках відсутності гальмівних слідів. Це робить його особливо ефективним у складних експертних ситуаціях, де традиційні методи не дають надійних результатів. Водночас метод потребує високого рівня кваліфікації експерта та ретельного дотримання методичних вимог.

Таким чином, метод Огороднікова є науково обґрунтованим інструментом судово-технічної експертизи, який дозволяє підвищити достовірність встановлення параметрів дорожньо-транспортних пригод і має важливе практичне значення для експертної діяльності.

Технологічні основи формування маршрутної карти процесу штамповки капота автомобіля[12]

Розділ 2

2.1 Теоретичні засади створення маршрутної карти процесу штампування

Вступ

У сучасному автомобілебудуванні кузовні деталі великої площі, зокрема капоти, належать до найбільш відповідальних елементів з точки зору точності геометрії, якості поверхні та повторюваності параметрів у серійному виробництві. Забезпечення стабільної якості таких деталей досягається не лише вибором відповідного штампувального обладнання, а

й науково обґрунтованим проєктуванням технологічного процесу, ключовим елементом якого є маршрутна карта. Саме маршрутна карта визначає послідовність операцій, взаємозв'язок між ними, використання обладнання та нормативи часу, що в сукупності формує виробничу логіку процесу (Ковальов, 2016).

Метою даної роботи є детальний опис процесу створення маршрутної карти штамповки капота автомобіля з холоднокатаної сталеві листові прокатки товщиною 0,8–1,2 мм з урахуванням вимог серійного виробництва. Теоретичні передумови формування маршрутної карти

Маршрутна карта є основним документом технологічної підготовки виробництва і відображає структурований опис технологічного процесу виготовлення деталі. У теорії обробки металів тиском маршрутна карта розглядається як результат декомпозиції складного формоутворювального процесу на окремі технологічні операції, кожна з яких має власну мету, обладнання та контрольні параметри (Романов, 2018).

Для великогабаритних панелей, отриманих методом холодної штамповки, маршрутна карта повинна враховувати:

фізико-механічні властивості матеріалу;

допустимі ступені пластичної деформації;

необхідність проміжного контролю геометрії;

мінімізацію внутрішніх напружень і дефектів формоутворення.

Таким чином, створення маршрутної карти не є формальним переліком операцій, а результатом інженерного аналізу всього життєвого циклу деталі на стадії формоутворення.

2. Обґрунтування вибору матеріалу та заготовки

Капот автомобіля у даному процесі виготовляється з холоднокатаної сталевий листовий прокатки товщиною 0,8–1,2 мм. Такий діапазон товщин є типовим для зовнішніх кузовних панелей, оскільки забезпечує компроміс між жорсткістю, масою та формоздатністю матеріалу (Kalpakjian, Schmid, 2014).

Використання холоднокатаного прокату дозволяє отримати:

однорідну мікроструктуру;

підвищену чистоту поверхні;

стабільні механічні властивості по всій площі заготовки.

Саме ці характеристики є критичними для операцій глибокої витяжки, які становлять ядро маршрутної карти.

3. Логіка формування послідовності операцій

3.1 Приймання та контроль листа

Початковою операцією маршрутної карти є приймання і контроль листового матеріалу. Вона має запобіжний характер і спрямована на

виключення з подальшого процесу заготовок із поверхневими дефектами, відхиленнями товщини або порушенням площинності. Як зазначає Кравченко (2015), раннє виявлення дефектів значно знижує ймовірність браку на етапах формоутворення.

3.2 Розмотування та вирубка заготовки

Операція вирубки формує геометрично коректну заготовку, що відповідає контурам майбутнього капота з урахуванням припусків на витяжку. Використання преса зусиллям близько 300 т є обґрунтованим з огляду на товщину матеріалу та площу різку. Дана операція визначає точність базування деталі на всіх наступних етапах.

3.3 Пробивка технічних отворів

Пробивка отворів під петлі, замкові механізми або технологічні елементи до початку глибокої витяжки зменшує ризик локальних розривів матеріалу на пізніших стадіях. Такий підхід відповідає рекомендаціям класичної теорії листового штампування (Банников, 2017).

4. Формоутворювальні операції як ядро маршрутної карти

4.1 Глибока витяжка

Операція глибокої витяжки, виконувана на гідравлічному пресі зусиллям близько 800 т, є ключовою в усьому процесі. Саме на цьому етапі формується просторовий контур капота, його радіуси, вигини та основна жорсткість. Гідравлічний привід забезпечує плавність ходу та можливість

точного регулювання зусилля притискача, що є критичним для запобігання зморшкоутворенню та розривам (Hosford, Caddell, 2011).

4.2 Формування профілю

Після первинної витяжки здійснюється уточнювальне формування профілю на серво-пресі. Ця операція дозволяє скоригувати локальні відхилення, стабілізувати геометрію та зменшити пружне повернення матеріалу. Застосування серво-пресів обґрунтоване їх здатністю змінювати швидкість і траєкторію руху повзуна залежно від ділянки деформації.

5. Операції обробки кромки та контролю

Тримминг кромки є необхідним для видалення надлишкового матеріалу, що утворився під час витяжки. Правильне розміщення цієї операції у маршрутній карті після основного формоутворення зменшує ризик деформації готової деталі. Подальша очистка і видалення задирок забезпечують безпечність та якість поверхні перед передачею деталі на наступні стадії виробництва.

Проміжний контроль геометрії, закладений у маршрутну карту, відіграє роль зворотного зв'язку між проєктним задумом і фактичним результатом. Використання вимірювальних стендів дозволяє оперативно коригувати параметри процесу, що відповідає принципам статистичного управління якістю (Montgomery, 2013).

6. Завершальні операції та узагальнення часу

Операції маркування та пакування завершують маршрутну карту. Вони забезпечують простежуваність деталі в межах виробничої системи та збереження геометрії під час транспортування.

Сумарний нормативний час 16–20 хвилин, зазначений у маршрутній карті, є типовим для серійного штампувального виробництва з частковою автоматизацією та включає як основні, так і допоміжні операції.

Висновки

Процес створення маршрутної карти штамповки капота є багатоступеневим інженерним завданням, що поєднує теоретичні положення обробки металів тиском і практичні аспекти організації виробництва. Розглянута маршрутна карта відображає логічно обґрунтовану послідовність операцій, яка забезпечує отримання якісної кузовної деталі з мінімальними втратами матеріалу та часу. Такий підхід відповідає сучасним вимогам автомобільної промисловості та може бути використаний як основа для подальшої оптимізації технологічних процесів.

Маршрутная карта на деталь: Капот – штамповка

Обозначение детали: [внутренний код]

Материал: Холоднокатаная стальная листовая прокатка, толщина 0,8–1,2 мм

Единица измерения: мин

Операции:

01 – Прием/контроль листа – Зона контроля – 2 мин

02 – Разматывание и вырубка заготовки – Пресс 300t – 2 мин

03 – Пробивка технических отверстий – Пресс 300t – 1 мин

04 – Глубокая вытяжка 1 – Гидропресс 800t – 1 мин

05 – Формирование профиля – Серво-пресс – 1 мин

06 – Тримминг кромок – Тримминг-линия – 1 мин

07 – Очистка/удаление заусенцев – Дробемёт – 2 мин

08 – Промежуточный контроль – Измерительный стенд – 3 мин

09 – Усилительные операции (если предусмотрено) – Прессы – 2 мин

10 – Маркировка/упаковка – Автомат – 1 мин

Итого ориентировочное время: 16–20 мин (включая вспомогательные операции)

2.2 Застосування методів ультразвукового дифектоскопіювання при холодному штампуванні листового прокату

Наявний технологічний процес містить етап проміжного контролю, у маршрутній карті він зазначений під номером вісім. У ході практичної частини, було розширено контрольний етап шляхом виконання додаткової дифектоскопії поверхні виробу. Впровадження має на меті поліпшення якості готової продукції, зменшення відсоткового вмісту браку у партіях деталей на проведеному етапі.

Теоретичними засади нововведення базуються дослідженні робіт та статей, пов'язаних із практичним застосуванням ультразвуку з метою виявлення мікроскопічних пошкоджень матеріалу. Жорсткість кузову сучасного автомобілю залежить від як від якості окремих елементів, так і від конструкції у цілому. Кінцевим етапом створення нової моделі авто, перед початком масового виробництва є моделювання реальної аварійної ситуації. Конструкція здатна зберегти життя та здоров'я людини лише при правильній збірці та мінімізації дефектів, спричинених проведенням технологічних операцій. Мікро тріщини, пори, розшарування напряму впливають на характер деформації авто при аварії.

Неруйнівний контроль матеріалів та виробів є невід’ємною складовою сучасного промислового виробництва. Його застосування дозволяє забезпечити надійність і безпеку експлуатації відповідальних конструкцій без порушення їх цілісності. Серед різноманітних методів неруйнівного контролю особливе місце займає ультразвукова дефектоскопія, яка характеризується високою чутливістю, універсальністю та можливістю виявлення внутрішніх дефектів у матеріалі.

Ультразвукові дефектоскопи широко використовуються в енергетиці, авіаційній та суднобудівній промисловості, нафтогазовому комплексі, машинобудуванні, а також у сфері технічної діагностики будівельних металоконструкцій. Ефективність ультразвукового контролю значною мірою визначається технічними можливостями використовуваного обладнання, рівнем його автоматизації та підготовкою персоналу.

У зв’язку з цим актуальним є порівняльний аналіз конкретних моделей ультразвукових дефектоскопів, що дозволяє визначити доцільність їх застосування в різних виробничих умовах. У даній роботі розглядаються два прилади, які отримали широке розповсюдження у практиці неруйнівного контролю, а саме дефектоскоп USM 35 та дефектоскоп УСД-60.

2. Загальна характеристика дефектоскопа USM 35

USM 35 є портативним ультразвуковим дефектоскопом, розробленим для проведення ручного ультразвукового контролю в умовах виробництва та польових робіт. Конструктивно прилад виконаний у міцному корпусі, що забезпечує його захист від механічних пошкоджень, пилу та вологи. Це дозволяє використовувати USM 35 у складних умовах експлуатації,

зокрема на відкритих майданчиках та у виробничих цехах з підвищеним рівнем забруднення.



Рис. 6

Прилад підтримує роботу з широким спектром ультразвукових перетворювачів, включаючи прямі, похилі та роздільно-суміщені. Частотний діапазон дозволяє проводити контроль як тонкостінних виробів, так і масивних металевих конструкцій. Основним режимом відображення

інформації є А-скан, який надає оператору можливість візуально оцінювати наявність та параметри відбивних неоднорідностей у матеріалі.

Однією з ключових переваг USM 35 є простота налаштування та експлуатації. Інтерфейс приладу орієнтований на практичного користувача та не потребує складних процедур програмування. Це робить його зручним для використання в умовах, де важлива оперативність проведення контролю.

3. Загальна характеристика дефектоскопа УСД-60

УСД-60 належить до класу універсальних цифрових ультразвукових дефектоскопів, призначених для виконання як ручного, так і механізованого контролю. На відміну від USM 35, цей прилад орієнтований на більш складні та відповідальні завдання неруйнівного контролю, включаючи контроль серійних виробів та інтеграцію в автоматизовані системи.[13]

Прилад забезпечує роботу в декількох режимах відображення сигналів, серед яких А-скан та В-скан. Можливість формування В-сканів значно підвищує інформативність контролю, оскільки дозволяє отримувати двовимірне зображення внутрішньої структури виробу. Це особливо важливо при контролі зварних з'єднань, товстостінних деталей та виробів складної геометрії.



Рис.7

УСД-60 оснащений розширеними функціями цифрової обробки сигналів, включаючи фільтрацію, регулювання підсилення за часом, побудову зон контролю та збереження результатів вимірювань. Завдяки цьому прилад може використовуватися для детального аналізу дефектів та документування результатів контролю.[13]



Рис.8

Вище приведено зображення меню дифектоскопа УСД -60 із зображеними координатними показниками вказуючих на нерівномірність структури за відображенням амплітудних характеристик. Також прилад володіє високою роздільною здатністю близько двох нанометрів, що зменшити вірогідність похибки.

4. Порівняння технічних можливостей

З технічної точки зору USM 35 та УСД-60 відрізняються рівнем функціональності та складністю реалізованих алгоритмів обробки сигналів. USM 35 орієнтований на виконання стандартних завдань ультразвукового контролю, де основну роль відіграє виявлення дефектів та оцінка їх глибини залягання.

УСД-60, у свою чергу, забезпечує більш глибокий аналіз сигналів за рахунок використання багатозонного контролю та можливості одночасної обробки декількох параметрів. Це дозволяє підвищити достовірність результатів та зменшити ймовірність помилкових висновків.

Важливою відмінністю є також обсяг пам'яті та можливості архівування даних. USM 35 переважно використовується для оперативного контролю, де збереження великих масивів інформації не є критичним. Натомість УСД-60 орієнтований на систематичний контроль з обов'язковим документуванням результатів, що є важливим при проведенні експертних обстежень та сертифікації виробів.

5. Практичне застосування приладів

На практиці USM 35 найчастіше застосовується для контролю зварних швів трубопроводів, металоконструкцій, резервуарів та інших об'єктів, де потрібна мобільність та швидкість виконання робіт. Завдяки невеликій масі та автономному живленню прилад зручний для використання під час виїзних перевірок і ремонтних робіт.

УСД-60 знаходить застосування в умовах серійного виробництва та лабораторного контролю. Його часто використовують на підприємствах, де необхідно забезпечити стабільну якість продукції та виконувати контроль за встановленими методиками з високим рівнем повторюваності результатів. Можливість інтеграції з механізованими сканерами робить УСД-60 ефективним інструментом для автоматизованих ліній контролю.

6. Економічні аспекти та ціноутворення

Вартість ультразвукового дефектоскопа є одним із ключових факторів при виборі обладнання. USM 35 належить до приладів середнього цінового сегмента, що робить його доступним для невеликих підприємств та організацій, які виконують неруйнівний контроль епізодично.

УСД-60 є більш дорогим обладнанням, що обумовлено його розширеними функціональними можливостями та складнішою апаратною реалізацією. Проте у випадках, коли необхідно виконувати регулярний контроль великої кількості виробів або забезпечити високий рівень точності та документування результатів, витрати на придбання такого приладу є економічно обґрунтованими.

7. Вимоги до кваліфікації персоналу

Рівень підготовки персоналу безпосередньо впливає на ефективність використання ультразвукових дефектоскопів. Для роботи з USM 35, як правило, достатньо базової кваліфікації фахівця з ультразвукового контролю, знання основ поширення ультразвукових хвиль та навичок інтерпретації А-сканів.

Експлуатація УСД-60 потребує більш глибоких знань у галузі ультразвукової дефектоскопії, включаючи розуміння принципів формування В-сканів, роботи з зонами контролю та аналізу складних сигналів. Це зумовлює необхідність додаткового навчання та підвищення кваліфікації персоналу.

8. Узагальнені висновки

Проведений аналіз показує, що дефектоскопи USM 35 та УСД-60 орієнтовані на різні сегменти завдань неруйнівного контролю. USM 35 є оптимальним вибором для мобільних та оперативних перевірок, де важливими є простота використання та автономність. УСД-60, у свою чергу, доцільно застосовувати в умовах промислового виробництва та експертного контролю, де необхідні розширені функціональні можливості та висока інформативність результатів.[13]

Таким чином, вибір конкретного дефектоскопа має здійснюватися з урахуванням специфіки контрольованих об'єктів, обсягів робіт, економічних можливостей підприємства та рівня підготовки персоналу.

2.3 Моделювання ланки виробничого процесу за допомогою програмного середовища Plant Simulation.

Серед програмних продуктів для імітаційного моделювання промислових систем особливе місце займає Tecnomatix Plant Simulation, який широко використовується для аналізу потоків матеріалів, завантаження обладнання, логістики та виробничої ефективності. Моделювання у цьому середовищі дозволяє відтворити реальний виробничий процес з урахуванням технологічних операцій, часових параметрів, ресурсних обмежень і логічних зв'язків між елементами системи.

У даній роботі розглядається моделювання процесу виготовлення деталі «Капот – штамповка» на основі маршрутної карти, що відображає послідовність технологічних операцій та їх часові характеристики.

2. Характеристика об'єкта моделювання та вихідні дані

Об'єктом дослідження є виробничий процес штампування деталі типу «Капот», що застосовується в автомобільній промисловості. Деталь виготовляється з холоднокатаного сталевого листового прокату товщиною від 0,8 до 1,2 мм. Матеріал характеризується високою пластичністю та придатністю до операцій глибокої витяжки.

Маршрутна карта є основним технологічним документом, який використовується як вихідна база для побудови імітаційної моделі. Вона містить перелік операцій, типи обладнання, зони виконання робіт та нормативний час виконання кожної операції. Одиницею вимірювання часу прийнято хвилини.

Технологічний маршрут включає десять основних операцій, починаючи з приймання та контролю листового матеріалу і завершуючи маркуванням та пакуванням готової деталі. Загальна тривалість виробничого циклу, з урахуванням допоміжних операцій, становить у середньому від 16 до 20 хвилин.

3. Методологія проектування імітаційної моделі в Plant Simulation

Проектування віртуальної моделі у середовищі Plant Simulation здійснюється поетапно та базується на системному підході. На першому етапі виконується декомпозиція виробничого процесу, тобто розбиття загального процесу виготовлення деталі на окремі технологічні операції відповідно до маршрутної карти.

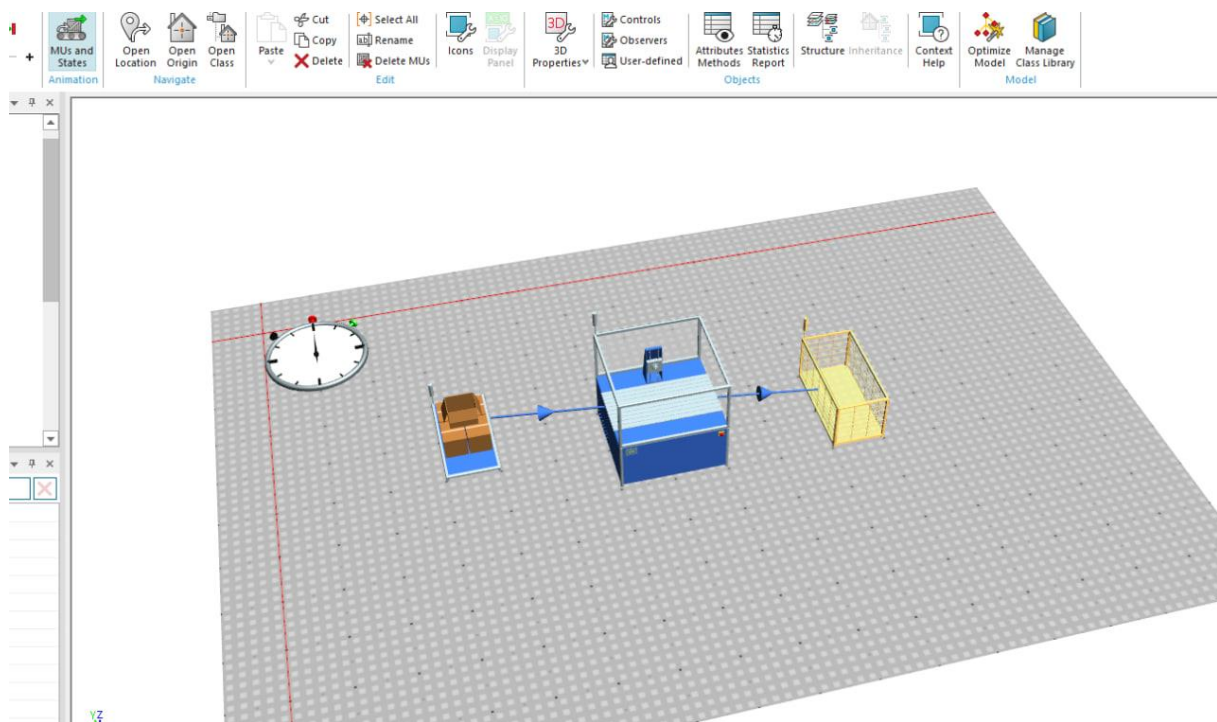


Рис. 9

З урахуванням орієнтованості програмного забезпечення на візуальний інтерфейс, вище наведено приклад найпростішої ланки. Вона складається із входу, умовного верстату, що відображає параметри роботи реального обладнання, виходу, як кінцевого етапу операції, готова деталь. елемент що вказує на послідовність виконання зображень у вигляді стрілок між об'єктами.

Кожна операція у моделі представляється у вигляді окремого об'єкта (SingleProc, Assembly, Buffer тощо), який відповідає конкретному виду обладнання або виробничої зони. Для кожного об'єкта задаються параметри обробки, зокрема:

тривалість операції;

тип оброблюваного матеріального потоку;

логіка приймання та передачі заготовок;

можливі обмеження по потужності або чергах.

На другому етапі формується структура матеріального потоку, яка відображає послідовність проходження заготовки через усі операції.

Зв'язки між об'єктами моделі реалізуються за допомогою конекторів, що забезпечують коректний рух деталей у відповідності до технологічного маршруту.

Важливим аспектом є врахування зон контролю та проміжних перевірок, які не змінюють геометрію деталі, але суттєво впливають на загальний час циклу та завантаження ресурсів.

4. Реалізація маршрутної карти у віртуальній моделі

4.1 Приймання та контроль листа

Перша операція моделі відповідає зоні приймання та контролю вхідного матеріалу. У Plant Simulation вона реалізується як процес із фіксованим часом обробки 2 хвилини. На цьому етапі перевіряється якість листового прокату, його товщина та відповідність технічним вимогам. Модель дозволяє врахувати можливі затримки, пов'язані з браком або повторним контролем.

4.2 Розмотування та вирубка заготовки

Друга операція виконується на пресі зусиллям 300 тонн. У моделі цей процес відображається як основна формоутворююча операція з тривалістю 2 хвилини. Важливим є коректне задання параметрів продуктивності преса та можливого накопичення заготовок перед операцією.

4.3 Пробивка технічних отворів

Наступна операція також здійснюється на пресі 300 тонн і має менший нормативний час — 1 хвилина. У моделі враховується, що ця операція може бути вузьким місцем при збільшенні обсягу виробництва.

4.4 Глибока витяжка

Операція глибокої витяжки першого переходу виконується на гідравлічному пресі зусиллям 800 тонн. У Plant Simulation вона

моделюється з урахуванням високої енергоємності процесу та обмеженої пропускної здатності обладнання.

4.5 Формування профілю та триммінг

Формування остаточного профілю деталі виконується на серво-пресі, після чого здійснюється обрізка кромки на спеціалізованій триммінг-лінії. У моделі ці операції розташовуються послідовно, що дозволяє проаналізувати їх сумарний вплив на ритмічність виробництва.

4.6 Очищення, контроль та допоміжні операції

Операції очищення від заусенців, проміжного контролю, можливого посилення конструкції, а також маркування і пакування реалізуються як окремі блоки моделі. Особлива увага приділяється операції проміжного контролю, оскільки її тривалість (3 хвилини) є однією з найбільших у маршруті. Саме на даній стадії виробництва запропоновано впровадження додаткової дифектоскопії.

5. Аналіз результатів моделювання та можливості оптимізації

Після побудови моделі та запуску імітації в середовищі Plant Simulation стає можливим проведення кількісного аналізу виробничого процесу. До основних показників, які оцінюються, належать:

загальний час виробничого циклу;

завантаження обладнання;

довжина та час перебування в чергах;

пропускна здатність системи.

На основі зібраних даних та описаної методології було створено модель тех процесу.

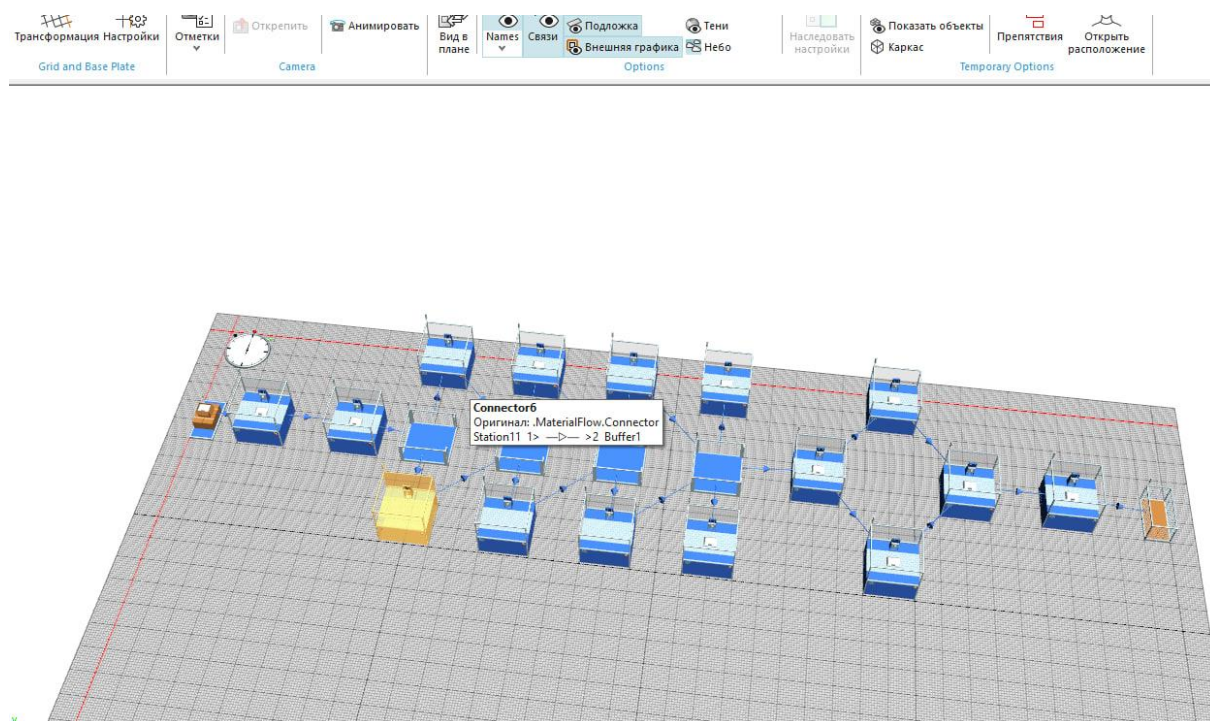


Рис.10

Висновок

У ході проведення роботи було дослідження різні аспекти та погляди на застосування комп'ютерно інтегрованих технологій у виготовленні деталей

автомобілів та збірних вузлів. Застосовані положення із індустрії 4.0 такі як представлення концепції цифрового двійника інтернету речей у серійному виробництві. Детально розглянуто проблематику та особливості визначення поверхневого стану кузовних деталей автомобіля. Було запропоновано додання методу поверхневого дефектом копіювання для поліпшення якості кінцевої продукції. Аналізуючи викладений в рамках роботи матеріал вказує на кореляцію між загальною міцністю кузова автомобіля та його міцності, а як наслідок і шан збереження життя та здоров'я людини у разі винесення дорожньо-транспортної пригоди. Теоретичною основою для створення загального розуміння механіки ушкоджень при аварія взято із робіт Огороднікова В. А.

ДЖЕРЕЛА

- 1 - [Писаренко Г.С. Опір матеріалів с. 87]
- 2 - [Коваленко В. П. Сучасні технології автомобілебудування : навч. посіб. – Київ : Наукова думка, 2019. – 312 с. – С. 110–125]
- 3 – [Бойко О. М., Пермяков В. О. Металеві конструкції та методи їх формоутворення : підручник. – Київ : КНУБА, 2018. – 256 с. – С. 208–220.]
- 4 – [Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios // Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences. – 2016. – P. 3928–3937. – P. 3929–3933.]

5- [Groche P., Fritsche D. Incremental Sheet Metal Forming: State of the Art and Future Perspectives // Production Engineering. – 2020. – Vol. 14. – C. 1–15. – P. 3–8.]

6 – [Schumacher A., Erol S., Sihn W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 52. – P. 161–166. – P. 162–164.]

7 –[Industry 4.0 in Automotive Manufacturing: A Digital Twin Approach C. 3]

8 - . [Thematic Section - Production Engineering leading the Digital Transformation A Production System for the auto parts industry with elements of Industry 4.0 Ст. 3-6]

9 – [Щербінський В.Г., Алешин Н.П. – Випробування на непроникність. Капілярна та магнітна дефектоскопія ст. 10-15]

10 – [Спосіб визначення швидкості транспортних засобів у момент зіткнення Патент України: № 2003043308, виданий 17.05.2004]

11 – [В. А. Огородников, Т. Ф. Архіпова, М. В. Кожушаний (2020) Энергия деформаций автотранспортных средств в условиях дорожно-транспортных происшествий Ст. 11, 36-40]

12 – [Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) Авторы: В. А. Огородников, В. Б. Кисельов, І. О. Сивак ст. 50]

13 - [Дипломна робота "Сравнительный анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов. Тарасенко Евгений Валерьевич" С. 37-49]

14 [Бабков В. Ф. Безпека дорожнього руху : навч. посіб. – Київ : Вища школа, 2008. – 312 с].

15 – [Клименко В. І., Погорілий В. М. Основи безпеки дорожнього руху : підручник. – Київ : Знання, 2012. – 415 с].

16 – [Правила ЄЕК ООН № 48. Єдині технічні приписи щодо встановлення світлових і світлосигнальних приладів транспортних засобів].

17 – [Говорущенко М. Я. Технічна експлуатація автомобілів : навч. посіб. – Харків : ХНАДУ, 2014. – 528 с].

18 – [ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010.

19 – [Лобанов Є. М. Інженерна психологія в автомобільному транспорті : навч. посіб. – Київ : НАУ, 2011. – 286 с.]

20 – [Кузьмін В. М. Активна та пасивна безпека автомобіля : монографія. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2016. – 340 с].

зображення:

. <https://emin.asia/s-cdn/ec/ec46319106cd9a79e497406c18d11ade1e2736fa.jpg>

<https://www.kropus.com/images/products/usound/pic603.jpg>

<https://www.kropus.com/images/products/usound/pic601.jpg>

https://dsnspb.ru/uploads/2018_11/Omni-Roll.jpg

додаткові джерела, що використані у роботі:

. ДСТУ ISO 4287:2012 — Специфікації геометрії виробів. Структура поверхні: Профільний метод. Терміни, визначення та параметри шорсткості.

2. ДСТУ ISO 25178-2:2014 — Тривимірна шорсткість поверхні (3D параметри).

3. Горбов В. И. Контроль и измерение шероховатости поверхности. — М.: Машиностроение, 1980.

4. Калиновский А. А., Кузнецов В. И. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении. — К.: Вища школа, 2006

5. Панасюк В. В. Метрологія, стандартизація та сертифікація. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2010.

6. Бойко Ю. М. Основи вимірювальної техніки та метрології. — К.: КНЕУ, 2013.

1. Whitehouse, D. J. Handbook of Surface Metrology. — Institute of Physics Publishing, 1994.

2. Stout, K. J., Blunt, L. Three-Dimensional Surface Topography: Measurement, Interpretation and Applications. — Elsevier, 2000

3. Dong, W. P., Sullivan, P. J., Stout, K. J. Comprehensive study of parameters for characterizing surface roughness. — Wear, 1992.

4. Thomas, T. R. Rough Surfaces. — Imperial College Press, 1999.

5. ISO 25178 series — Geometrical Product Specifications (GPS): Surface Texture: Areal.

