

формування професійно-ділового та творчого потенціалів інженерно-технічних фахівців. В даний час актуальними стають не лише професіоналізм, компетентність, творчий підхід до справи, ініціативність, а й висока відповідальність не лише за власне технічні рішення, а й за їхні соціальні, психологічні, організаційні та екологічні наслідки.

Перелік посилань

1. Борецько Н. Ю. Педагогічні умови професійно-прикладної фізичної підготовки студентів вищих технічних навчальних закладів : Автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.04. Х., 2008. 20 с.
2. Кокарева А. М. Сучасний стан професійної підготовки інженерів в технічному університеті. *Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка. Психологія.* 2017. 1(10). 77–81.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕВЕРСИВНОГО ІНЖИНІРИНГУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОШКОДЖЕНЬ КУЗОВНИХ ПАНЕЛЕЙ КОМБІНОВАНИМ FDM-ДРУКОМ

канд. техн. наук, доцент Дудукалов Юрій Володимирович
здобувач освіти, гр. АПМ-31-23 Журавльов Вячеслав Анатолійович
здобувачка освіти, гр. АПМ-41-22 Єрмакова Тетяна Сергіївна
здобувач освіти, гр. АПМ-41-22 Самойленко Роман Володимирович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У доповіді наведені результати досліджень, що спрямовані на підвищення ефективності ремонту засобів автомобільного транспорту (ЗАТ) за рахунок підвищення рівня інформаційного забезпечення виробничих процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

Важливими складовими елементами процесу ефективного ремонтного виробництва є мехатронне операційне обладнання і наскрізні комп'ютерні технології. Саме таке поєднання відіграє вирішальну роль в забезпеченні необхідної якості продукції, раціональному використанню ресурсів, створенні оптимальних умов функціонування і економічної доцільності [1].

Застосування адитивних технологій продовжує поширюватись, вони поки займають невеликий відсоток на виробничих підприємствах, найчастіше використовуються для створення прототипів деталей [1–3]. Також за допомогою 3D-друку виготовляється багато унікальної та індивідуальної продукції. Існує можливість врахувати особливості виробів, обрати оптимальні режими друку, щоб покращити якість деталі і скоротити час на її подальшу обробку в умовах ТОіР.

Адитивне виробництво вже зараз використовується для виготовлення не лише прототипів, а також деталей і механізмів. Здобутки останніх років

дали змогу суттєво розширити номенклатуру матеріалів, що використовуються в 3D-друці. Розкид по вартості не дає широкий доступ до друку металами, проте інші технології набагато дешевші й більш розповсюджені. Також відзначимо, що існують пошкодження кузовних панелей, виправлення яких потребує виготовлення спеціальних накладок або нанесення значного шару компенсуючого покриття дорого вартісних шпаклівок [4, 5].

Технологія відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей на принципах реверс-інжинірингу в умовах ТОВІР включає технологічне та інформаційне забезпечення, застосування якого забезпечує сканування пошкодженої панелі, створення її 3D-моделі і FDM-друк накладки [5, 6].

3D-сканування має деякі обмеження пов'язані з кольором та фактурою, бо чорні та дзеркально гладкі поверхні скануються погано. Приклад поганої поверхні та оточення – чорний блискучий автомобіль, денне освітлення. Для сканування подібних поверхонь автомобіль доведеться матувати спеціальним спреєм, він забарвлює поверхню в білий, матовий колір, який легко сканується.

Другий проблемний момент – слабо виражена геометрія та текстура на деяких елементах автомобіля, наприклад – на капоті чи дверях. При скануванні таких елементів сканеру «немає за що вчепитися» і скани зшиваються програмою з великою похибкою, або сканер повідомляє, що втратив геометрію.

Виконується 3D-друк криволінійної накладки з верхньою і нижньою сканованими поверхнями. Верхня сканована поверхня відповідає поверхні панелі, яку потрібно відновити. В якості прототипу виступає непошкоджене аналогічне місце панелі подібного (або симетричне цього ж) автомобіля. Нижня сканована поверхня знімається з поверхні, що відновлюється. Між верхньою і нижньою сканованими поверхнями встановлюється координатна відповідність за допомогою маркерів, чорно-білих або світло відбиваючих стікерів, спеціально виконаних базових отворів.

Для інформаційного супроводження використовуються програмні засоби CAD-інжинірингу і слайсери [4, 6]. Також програма слайсер додає ребра жорсткості та підтримки, де вони потрібні. У FDM-друці існує декілька ключових напрямків модифікацій. Вони безпосередньо впливають як на сам процес друку, так і на його кінцевий результат. Із них можна зазначити напрямки впливу, такі як зміна товщини шару, вибір матеріалу та щільності заповнення моделі, використання під час друку підтримки та інше.

В рамках експерименту було розглянуто коефіцієнт щільності та типи внутрішнього заповнення, що застосовуються під час 3D-друку; проведено розрахунки теплового напруження та силових навантажень автомобільної накладки з різних матеріалів і різних типів заповнення у програмі Fusion 360.

Коефіцієнт щільності та типи заповнення, що використовуються під час 3D-друку, напряму пов'язані з міцністю отриманих виробів. Чим вища щільність заповнення, тим вище міцність і менше гнучкість накладки.

Типовий технологічний процес відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей за принципами реверс-інжинірингу із застосуванням FDM-принтерів для виготовлення накладок із полімерних матеріалів включає наступні операції [7, 8].

1. Виконується рихтування для відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля. Вимоги до поверхні, що відновлюється, відповідають рівню лише попередньої або чорнової підготовки, без шпаклювання, зачистки і фарбування, потрібно забезпечити високий рівень адгезії для кріплення локальної вставки. Також можуть виконуватись по краях пошкодження 3 базових отвори діаметром 3 мм для базування і прив'язки сканованого зображення.

2. Виконується сканування місця відновлення на сканері. Апробовано використання «RandeVision», «Spectrum». До їх комплектності входили 3 об'єктиви, поворотний стіл для сканування з різних ракурсів.

3. В пакеті GeomagicDesign X виконується обробка сканованих зображень, вони поєднуються в одну модель в форматі STL-файлу для подальшої обробки. 3D-модель правимо і адаптуємо під друк. Для цього переводимо в твердотільну модель в САД програмі. Пропонується застосовувати Fusion 360 для роботи в опції MESH по параметричним або по базовим функціям. В переводі від сканованої моделі у вигляді трикутних полігонів виникає багато проблем пов'язаних з їх великою чисельністю. Трикутних полігонів повинно бути для Fusion 360 не більше 10 тисяч, а реальна чисельність становить 100 – 200 тисяч. Зменшити неможливо без втрати якості деталі. Тому треба діяти через програмні засоби Cura.

4. В пакеті GeomagicDesign X вирівнюється модель в системі координат і виконується автоматична розбивка на фрагменти поверхні накладки. Параметри розбивки підбираємо дослідним шляхом. Фрагменти можна об'єднувати і роз'єднувати, змінювати межі. Створюється площина і вектор спрямування в системі координат. По цій моделі вже виконується команда «Ескіз по сітці». Ескіз відображається по зовнішнім межах і сітці ординат. По зовнішнім межах – з невеликим запасом. Командою «Підігнати по сітці» робимо підгонку, командою «Обрізати» ріжемо непотрібне.

5. Пропонується варіант 3D-друку криволінійної накладки з верхньою і нижньою відсканованими поверхнями. Верхня сканована поверхня відповідає поверхні панелі, яку потрібно відновити. В якості прототипу виступає непошкоджене аналогічне місце панелі подібного (або симетричне цього ж) автомобіля. Нижня сканована поверхня знімається з поверхні, що відновлюється. Між верхньою і нижньою сканованими поверхнями встановлюється координатна відповідність по 3 базовим отворами.

6. Створену модель необхідно зберегти в форматі STL-файлу, після STL-файл завантажується в програму слайсер, де і формуються шари друку і налаштовуються інші настройки. Зберігаємо в форматі G-кода.

7. Модель готова до друку. Сам процес проходить безпосередньо за допомогою комбінованого FDM-друкузгідно розробленого G-кода. Процес друку відбувається за принципом нанесення розігрітого матеріалу до напіврідкого стану матеріалу на перший – нижній шар, а потім екструдер здійснюючи циклічні руху шар за шаром формує виріб, кожен наступний шар накладається на попередній.

8. Заключна операція передбачає точну орієнтацію і надійну фіксацію накладки механічними засобами або клейовими композиціями, зачистку і фарбування.

Для забезпечення міцності полімерного виробу застосовується поліфункціональний 3D-принтер з пристроями для модифікування матеріалів імпульсним високочастотним електромагнітним полем. Результати досліджень свідчать про перспективність запропонованої технології реверс-інжинірингу відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля і обґрунтованість прийнятих рішень.

Виконаний аналіз досягнутого рівня застосування адитивних технологій, можливостей способів реверс-інжинірингу відновлення панелей кузова виявив, що вони можуть бути ефективно застосовані для відновлення кузовних панелей автомобіля в умовах ТОiP. В запропонованій технології ремонту з використанням сканування як пошкодженої локації, так і поверхні, що відновлює початковий стан панелі, використовуються засоби технологічного та інформаційного забезпечення процесу реверс-інжинірингу. Для підвищення якості відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля виготовленням накладок із полімерних матеріалів FDM-друком доцільно застосування поліфункціональних 3D-принтерів на основі робочих комбінованих процесів генерації з модифікуванням високочастотним електромагнітним полем полімерних матеріалів.

Перелік посилань

1. Dudukalov Y., Ternyuk M., Kholodov M. et al., Synthesis of Fuel Systems Boron-Containing Metalized Fuels for Vehicles. *SAE Technical Paper*. 2020-01-2155. 2020, doi: 10.4271/2020-01-2155.

2. Дудукалов Ю.В., Сорокін В.Ф., Тернюк М.Е., Ківіренко О.Б. Формування способів підвищення ефективності застосування 3D-принтерів для комбінованого FDM-друку з модифікацією полімерних матеріалів. *Зб. ХАІ «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології»*. 2023. 98. 99–113. doi: [10.32620/oikit.2023.98.09](https://doi.org/10.32620/oikit.2023.98.09)

3. Пермяков О.А., Яковенко І.Е., Калініченко В.А., Скиба О.С., Южкович П. Реверсивний інжиніринг та впровадження сучасних методів і

засобів контрольних операцій. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні*. 2023. 2 (8). 91–99.

4. Воронков С.В., Дудукалов Ю.В., Гущин І.В. Класифікаційні характеристики дефектів FDM-друку полімерними композиційними матеріалами виробів складної геометричної форми. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств* : III Всеукраїнський науково-практичний онлайн-семінар : збірник матеріалів : 29 травня 2024 р. Харків, ХНАДУ, 2024. 57–59.

5. Дудукалов Ю.В., Литовка Д.А., Воронков С.В. Іноваційний спосіб забезпечення бездефектного FDM-друку виробів складної геометричної форми. *Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи* : IV Міжнародна науково-практична інтернет конференція : збірник матеріалів : 20-21 березня 2025 р. Полтава, 2025. 319–323.

6. Дудукалов Ю.В., Ковальов Б. В. Методика комбінованого FDM-друку модифікуванням полімерних матеріалів. *Матеріалознавство і технології* : Міжнародна науково-технічна конференція : тези: ХНАДУ, 2022. 178–183.

7. Дудукалов Ю.В., Глушкова Д.Б., Багров В.А., Сорокін В.Ф. та інші 3D-принтер для комбінованого друку об'єктів. № у 202107787 від 03.08.2022, Бюл. № 31.

8. Кавуля І.В., Дудукалов Ю.В., Власов Я.О. 3D-принтери для бездефектного FDM друку з модифікацією електромагнітним полем виробів із полімерних матеріалів. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств* : III Всеукраїнський науково-практичний онлайн-семінар : збірник матеріалів : 29 травня 2024 р. Харків, ХНАДУ, 2024. 70–73.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНОЇ ВТУЛКИ ІЗ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ШАРНІРІВ ПІДВІСОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

д-р техн. наук, професор Дущенко Владислав Васильович

д-р техн. наук, професор Маслієв Вячеслав Георгійович

аспірант Якунін Олександр Олександрович

Харківський національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

канд. техн. наук, доцент Нанівський Роман Антонович

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

PhD. Маслієв Антон Олегович

Збройні Сили України

На часі спостерігається поширення використання в техніці «Smart» матеріалів, інакше – магнітореологічних еластомерів (МРЕ), завдяки тому, що їх жорсткість та демпфуючі властивості суттєво змінюються під впливом магнітного поля, яке називають «керуючим». До прикладу, такі матеріали