

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН

Сучасна автомобільна промисловість характеризується високим рівнем складності виробничих процесів і широкою кооперацією між постачальниками. У таких умовах контроль якості запчастин набуває стратегічного значення для забезпечення безпеки руху, надійності транспортних засобів та зниження експлуатаційних витрат.

Однією з ключових проблем є велика кількість контрафактних і низькоякісних компонентів, що надходять на ринок без належної сертифікації. Контрафактні запчастини можуть мати приховані дефекти матеріалу, технологічні похибки або невідповідність розмірних параметрів, що не завжди можна виявити традиційними методами контролю.

Невідповідність стандартам або дефектні компоненти можуть призвести до: підвищеної аварійності та ризику для життя водія й пасажирів; скорочення строку служби автомобіля та збільшення витрат на ремонт і обслуговування; втрати репутації виробників і дилерів, а також фінансових збитків для компаній; порушення екологічних стандартів через підвищений знос і несправності агрегатів.

Таким чином, актуальність проблеми обумовлена низкою системних викликів.

По-перше, ускладнення конструкцій сучасних автомобілів (збільшення кількості електронних систем, використання нових композиційних матеріалів, впровадження електричних і гібридних технологій) призводить до підвищення вимог до точності виготовлення деталей, їхньої взаємозамінності та довговічності.

По-друге, глобалізація постачань та мультивиробничі ланцюги створюють ризик втрати прозорості контролю якості. Багато автомобільних концернів використовують сотні підрядників, розташованих у різних країнах. Відсутність єдиної цифрової системи верифікації часто призводить до зниження відстежуваності походження деталей і підвищує ризики потрапляння на ринок контрафактних або низькоякісних запчастин. За даними Європейської асоціації автовиробників (ACEA), близько 10–15 % запчастин на вторинному ринку не відповідають технічним стандартам і мають потенційну загрозу безпеці.

По-третє, традиційні методи контролю (візуальний, вибірковий або механічний) дедалі менше відповідають сучасним вимогам щодо швидкості, об'єктивності та точності вимірювань. Вони не забезпечують повного охоплення виробничого процесу, залежать від людського фактора і не дають можливості виявляти дефекти прихованої структури матеріалу або мікротріщини.

Для підвищення ефективності контролю якості необхідно впроваджувати інноваційні підходи, зокрема:

1. Інноваційні технології візуального контролю

Використання систем машинного зору (Machine Vision) на основі алгоритмів глибокого навчання (Deep Learning) дозволяє автоматизувати процес перевірки геометричних і поверхневих параметрів деталей [1, 6].

Сучасні промислові комплекси (наприклад, Siemens, Keyence, Cognex) забезпечують точність виявлення мікрodefektів до 10 мікрометрів, що значно перевищує можливості візуального контролю людиною.

Застосування 3D-сканування та високошвидкісних камер дає змогу створювати цифрові моделі деталей і зіставляти їх з CAD-еталонами, що мінімізує виробничі похибки.

2. Цифрова простежуваність та блокчейн-ідентифікація

Інноваційним напрямом розвитку контролю є впровадження цифрових паспортів запчастин (Digital Twin, Digital ID), які містять інформацію про походження, стандарти перевірки та результати тестування [8].

Технологія блокчейн забезпечує захищене зберігання даних, унеможливаючи їх підробку, що дозволяє ефективно боротися з контрафактною продукцією.

Кожна запчастина може маркуватися QR-кодом або RFID-міткою, що містить унікальний ідентифікатор. Такі системи впроваджуються компаніями Bosch, Continental і ZF як складова цифрових платформ контролю якості.

3. Інтелектуальні системи діагностики

Використання штучного інтелекту і машинного навчання у контролі якості дозволяє створювати адаптивні системи, що аналізують великі обсяги сенсорних даних з метою виявлення прихованих дефектів [5].

Ці методи особливо ефективні для предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance), коли система прогнозує ймовірність відмови компонента на основі історичних даних про вібрацію, температуру та навантаження [7].

4. Методи неруйнівного контролю

Неруйнівний контроль залишається базовим елементом системи перевірки якості. Сучасні технології — ультразвуковий контроль із фазованими решітками (PAUT), рентгенівська томографія та лазерна інтерферометрія — дозволяють проводити аналіз внутрішньої структури запчастин без їх руйнування [2 – 4].

Магнітно-дисперсійний метод контролю якості використовується для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у феромагнітних автомобільних деталях, забезпечуючи високу точність оцінювання їхньої надійності без руйнування структури матеріалу.

Неруйнівні методи контролю залишкових напружень, зокрема рентгенографічний, нейтронографічний та магнітний, дають змогу точно визначати напружено-деформований стан поверхневого шару та глибину його залягання без пошкодження деталі.

Використання термофарб для визначення температурних полів і зон перегріву автомобільних деталей, зокрема елементів ДВЗ, дає змогу оцінити теплове навантаження, виявити потенційні дефекти та підвищити надійність і довговічність деталей.

Застосування таких методів у поєднанні з цифровими системами збору даних підвищує точність контролю до 98–99% навіть для складних металевих вузлів, таких як гальмівні диски, поршні та підшипники.

5. Інтегровані системи управління якістю

Сучасні підприємства переходять до комплексних систем управління якістю (QMS), інтегрованих із виробничими процесами через платформи MES та ERP.

Це забезпечує автоматичний збір даних контролю, їх аналітичну обробку та формування звітів відповідно до вимог стандартів ISO/TS 16949 [9].

Використання таких платформ, як Siemens Opcenter, SAP QM та Dassault 3DEXPERIENCE, сприяє створенню замкнутого циклу управління якістю — від проектування до постпродажного сервісу.

Висновки

Інноваційні технології контролю якості автомобільних запчастин забезпечують перехід від вибіркового до безперервного, автоматизованого контролю.

Використання машинного зору, штучного інтелекту, блокчейну та цифрової простежуваності підвищує точність перевірки, зменшує людський фактор і сприяє боротьбі з контрафактом.

Подальший розвиток цих технологій визначатиме конкурентоспроможність автомобільної промисловості у межах парадигми індустрії 4.0.

Комплексне впровадження перелічених технологій формує підґрунтя для створення єдиної інтегрованої системи управління якістю автомобільних запчастин, заснованої на принципах цифровізації, автоматизації та сталого розвитку. Така система повинна охоплювати всі стадії життєвого циклу — від проектування і виготовлення до експлуатації та перероблення.

Список літератури:

1. Hütten N., Alves Gomes M., Hölken F., Andricevic K., Meyes R., Meisen T. Deep Learning for Automated Visual Inspection in Manufacturing and Maintenance: A Survey of Open-Access Papers // *Applied System Innovations*. 2024. Vol. 7, No. 1. Article 11.
2. Tai J.-L., et al. Recent Trends in Non-Destructive Testing Approaches for Structural Health Monitoring. *Materials*. 2025. Vol. 18, No. 13. Article 3146.
3. Silva M. I., et al. Review of conventional and advanced non-destructive testing (NDT) techniques. *Progress in Materials Science*. 2023. Vol. (review).
4. Vithanage R. K. W., et al. Development of a phased array ultrasound roller probe for ultrasonic inspection. *NDT & E International*. 2022. Vol. (article).
5. Tabernik D., Šela S., Skvarč J., Skočaj D. Segmentation-Based Deep-Learning Approach for Surface-Defect Detection // *arXiv preprint*. 2019.
6. Shafiee M. J., Famouri M., Bathla G., Li F., Wong A. TinyDefectNet: Highly Compact Deep Neural Network Architecture for High-Throughput Manufacturing Visual Quality Inspection // *arXiv preprint*. 2021.
7. Theißler A., et al. Predictive maintenance enabled by machine learning: methods and industrial applications. *Expert Systems with Applications*. 2021. Vol. (article).
8. Deng S., et al. A systematic review on digital twin applications in the automotive industry. *Transportation Research Procedia. Journal of Manufacturing Systems*. 2023.
9. Cavaliere G., et al. Performances of an in-line deep learning-based inspection system integrated in an industrial production plant. *Procedia Manufacturing*. 2024.