

Захарчук О.В., Захарчук В.І., Хомич С.М., Приступа С.О.
Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РЕМОНТІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ

Економічна ефективність відновлення деталей полягає в тому, що собівартість відновлення зазвичай нижча за вартість нових деталей, так як при цьому невелика трудомісткість та тривалість процесу, а також невеликі затрати на матеріали. Одним із найкращих та прогресивних способів відновлення деталей є застосування гальванічних покриттів. Розглядаються проблеми та можливості, пов'язані з нанесенням гальванічних покриттів на автомобільних компонентах під час ремонту. Технологічні процеси гальванізації пов'язані з необхідністю наявності вартісного обладнання, великими витратами енергії, води і хімічних матеріалів, а також шкідливим впливом на навколишнє середовище. В умовах відсутності авторемонтних заводів цей спосіб відновлення можна віднести до машинобудівних технологій. Основні методи включають насталування, хромування та нікелювання. Вибір доцільного металу для гальванічного покриття залежить головним чином від врахування критеріїв вартості покриття, мікротвердості поверхні, тривалості нанесення та коефіцієнта відбиття, а також екологічного критерію. Прийняті технічні рішення щодо вибору відповідного гальванічного покриття були встановлені методом аналізу ієрархій. Вибираючи метал для гальванічного покриття, який відповідав би різним критеріям, було визначено доцільне покриття для деталей автомобіля. Нікель є найбільш пріоритетним вектором.

Ключові слова: ремонт автомобілів, відновлення деталей автомобілів, гальванічні покриття, метод аналізу ієрархій, критерії вибору доцільного покриття.

ВСТУП

Сучасні автомобілі представляють собою складні технічні системи довготривалого користування. Під час експлуатації автомобілів відбуваються незворотні погіршення робочих характеристик їх складових частин. За сучасних економічних умов авторемонтне виробництво набуває нового підходу. Багатономенклатурність деталей, що утворилася внаслідок значної різноманітності рухомого складу, при незначній кількості кожного найменування пред'являє особливі вимоги до вибору технологічних процесів відновлення та зміцнення деталей.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

До відомих способів нарощування шару металу відносять наплавлення, газотермічне напилення, припікання порошкового матеріалу та електролітичне осаджування. До недоліків наплавлення відносять високий термічний вплив, що призводить до короблення деталей, нераціональність застосування для відновлення поверхонь з незначними зношеннями [1]. Покриття, отримані напиленням, мають значну пористість та недостатньо міцне зчеплення з основою [2]. Недоліком металізації та припікання порошкового матеріалу є нерівномірність властивостей за шириною нанесеного шару покриття [3].

Одним із найкращих та прогресивних способів відновлення деталей є застосування гальванічних покриттів. Із гальванічних покриттів найбільш широко застосовуються насталування, хромування, нікелювання, цинкування та практично будь-які метали в якості витратних матеріалів для нарощування. Тому, застосування заходів нарощування металевих поверхонь деталей шляхом гальванічної обробки є актуальним завданням для підтримання роботоздатності автомобілів.

Більшість деталей працюють в умовах, де експлуатаційні навантаження сприймаються в основному їх поверхневим шаром. Стійкість до зносу, ініціювання та розвиток внутрішніх тріщин, виникнення центрів корозії залежать від опору поверхневого шару руйнуванню. Тому в багатьох випадках доцільно відновлювати та покращувати експлуатаційні властивості не всієї деталі, а достатньо нанести покриття з необхідними властивостями на її робочі поверхні [4]. Використання покриттів пов'язане з впровадженням фундаментально нового підходу до відновлення та покращення експлуатаційних властивостей: міцність та вантажопідйомність деталі забезпечуються за рахунок матеріалу, з якого вона виготовлена, а стійкість до зносу, корозії та інших факторів зростає за рахунок застосування багатофункціональних покриттів [4].

Відновлення поверхневого шару деталі досягається за допомогою нанесення на поверхню деталі, яку слід відновити, матеріалів, які відрізняються за своїми властивостями від основного матеріалу деталі та відповідають умовам її експлуатації (зносу, корозія). Багатофункціональні покриття дозволяють збільшити термін служби деталей транспортних засобів під час відновлення

зношених частин і, водночас, зменшити витрати на сплави сталі та сплави [4]. Використання покриттів дозволить збільшити термін служби частин технічного обладнання шляхом підвищення стійкості до зносу, зміцнення поверхневого шару, відновлення зношених частин при заміні дорогих матеріалів на більш економічні [5].

За допомогою нарощування зношені поверхні валів відновлюються шляхом нанесення покриттів на їх робочі поверхні, які стійкі до абразивного, корозійного та інших видів зносу та руйнування. У той же час підвищення тепловиділення під час нанесення покриттів значної товщини за допомогою методів насипання викриває геометрію деталей, які слід відновити, скорочує їх термін служби, і насипання покриттів значної товщини вимагає видалення значних допусків під час заключної механічної обробки [5].

Методи нанесення не забезпечують збереження початкових властивостей матеріалу покриття; вони вносять значні зміни в структуру матеріалу відновлюваних частин. Це пов'язано з тим, що матеріал покриття нагрівається до температур, що перевищують його температуру плавлення, що призводить до зниження фізико-механічних властивостей покриттів і, в результаті, неможливо отримати високі експлуатаційні властивості деталей [6].

Отже, збільшення терміну служби технічного обладнання за рахунок зменшення інтенсивності зносу таких важливих та вартісних частин, як вали, за допомогою нанесення багатофункціональних покриттів, отриманих з використанням адитивних технологій, є однією з основних задач у сфері ремонту.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є вибір доцільного гальванічного покриття для відновлення деталей автомобілів шляхом застосування методу аналізу ієрархій.

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні **завдання**:

- Аналіз проблем та перспектив нанесення на деталі автомобілів гальванічних покриттів з метою відновлення.

- Прийняття технічних рішень вибору доцільного гальванічного покриття на основі методу аналізу ієрархій.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На початковому етапі здійснюється вибір основних критеріїв, які впливають на вибір металу для гальванічного покриття. Гальванічний метод є поширеною технікою нанесення металевих покриттів в різних галузях промисловості, включаючи ремонт автомобілів. При виборі металу для гальванічного покриття звертається увага на такі фактори: вартість, мікротвердість, термін служби покриття, коефіцієнт відбиття гальванічного покриття, екологічні критерії. Кількість і геометричні параметри компонента визначають вартість покриття.

При збільшенні товщини, яка задається технічними вимогами, вартість збільшується непропорційно і визначається згідно формули:

$$C = K_z \cdot (C_1 - C_2), \quad (1)$$

де C – вартість нанесення покриття, грн.;

C_1 – вартість робіт по нанесенню покриття товщиною 1 мкм/дм²;

C_2 – вартість додатково затрачених матеріалів і робіт (очищення, шліфування, полірування та ін.), грн.;

K_z – коефіцієнт затрат на збільшення трудомісткості та машинного часу.

Зниження вартості нанесення покриття здешевлює собівартість виробництва.

Оцінка мікротвердості гальванічного покриття здійснюється шляхом визначення величини площини відбитка індикатора при заданому навантаженні за формулою Віккерса:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (2)$$

де HV – мікротвердість покриття, Н/мм²;

P – навантаження, Н;

d – діагональ відбитка, мм.

Збільшення мікротвердості гальванічних покриттів тягне за собою збільшення зносостійкості гальванічних покриттів, яка обумовлена конкретною технологією та може бути оцінена по закону Фарадея:

$$\tau = \frac{\rho \cdot \delta}{\epsilon \cdot j_c \cdot \eta \cdot 100}, \quad (3)$$

де τ – тривалість процесу гальванічної обробки, год;
 j_c – катодна густина струму, А/м²;
 δ – задана товщина покриття, м;
 ϵ – електрохімічний еквівалент металу, г/(Агод);
 ρ – густина металевого покриття, г/м³;
 η – вихід металу по струму.

Скорочення часу процесу електролізу призводить до підвищення продуктивності гальванічного процесу. Коефіцієнт відбиття гальванічного покриття визначається відношенням потоку випромінювання, відбитого металом, до випромінювання, що падає на поверхню:

$$K_{\text{відб}} = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $K_{\text{відб}}$ – коефіцієнт відбиття, %;
 Φ – потік відбитого випромінювання, Вт;
 Φ_0 – потік падаючого випромінювання, Вт.

Збільшення коефіцієнта відбиття металевих покриттів має опосередкований вплив на корозійну та жаростійкість, а отже, і на термін служби компонента.

Для оцінки екологічної небезпеки процесів при гальванічній обробці існує «екологічний критерій»:

$$EK = \sum_{m=1}^M \frac{c_m^{\max}}{ПДК_m}, \quad (5)$$

де EK – екологічний критерій;
 c_m^{\max} – максимальна концентрація m-ного токсичного компонента електроліту, мг/л;
 M – число токсичних компонентів, од.

Чим більше значення екологічного критерію, тим екологічно небезпечніші стічні води, в склад яких входить той чи інший компонент розчину електроліту.

На рисунку 1 показано ієрархічну структуру, яка складається з мети дослідження (вибору доцільного гальванічного покриття); критерії, які впливають на вибір; та різних видів металів.

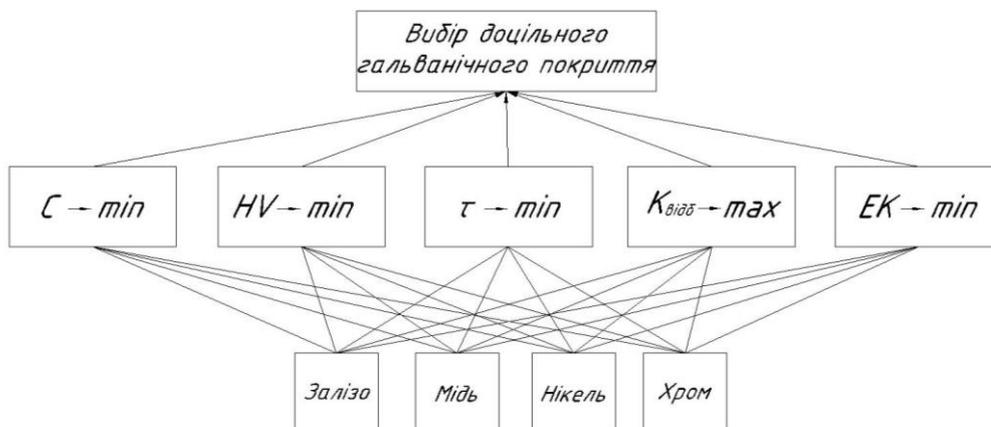


Рисунок 1 – Ієрархія мети, критеріїв та альтернатив при виборі гальванічного покриття

В таблиці 1 наведені розрахунки значень критеріїв (1)-(5) для альтернатив покриття.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

При нанесенні захисних покриттів та відновленні деталей транспортних засобів широке поширення отримав спосіб гальванічного осадження металів. Цей спосіб застосовується для компенсації зношених поверхонь деталей, а також при нанесенні захисних та антикорозійних покриттів [7-8]. Із гальванічних покриттів можуть застосовуються практично будь-які метали. Дане дослідження присвячене вибору доцільного покриття при ремонті і відновленні деталей.

Таблиця 1 – Вихідні значення критеріїв для різних металів покриття

Критерій \ Метал	C, грн	HV, МПа	τ, год	K _{відб} , %	EK
Цинк	20	550	0,516	55	0,4

Мідь	26	700	0,265	73	20
Нікель	24	3500	0,214	66	5,2
Хром	60	9000	1,662	62	10,2
Сталь	35	560	1,05	70	8,5

ВИСНОВКИ

Проаналізовано проблеми та перспективи нанесення на деталі автомобілів гальванічних покриттів з метою відновлення. Основними способами є насталування, хромування, нікелювання та ін.

Було здійснено прийняття технічних рішень вибору доцільного гальванічного покриття на основі методу аналізу ієрархій. Вибрано основні критерії, які впливають на вибір металу для гальванічного покриття: вартість нанесення; мікротвердість; тривалість нанесення; коефіцієнт відбиваючої здатності; екологічний критерій. Шляхом багатокритеріального вибору металу для гальванічної обробки здійснено пошук найкращого покриття для деталей автомобіля. Максимальне значення вектору глобального пріоритету відповідає металу «Нікель».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- Ahieiev M., Gritsuk I., Litikova A., Bilousov I., Vrublevskiy R., Boboshko O., Smyrnov O., Saraieva I., Khudiakov I., Pohorletskiy D. Application of combined electric arc coatings for parts and units of vehicles recovery in Repair Technologies. *SAE Technical Paper Series*, 2021. DOI: 10.4271/2021-01-5100.
- Ляшенко Б.А., Агеєв М.С., Волков В.П., Захарчук О.В., Устінцев С.М. Побудова методології оптимального використання багатоопераційних технологій відновлення та зміцнення поверхонь деталей суднових механізмів в процесі ремонту. *Вісник Приазовського державного технічного університету*, 2021, №43, с. 191–202.
- Лопата Л.А., Лопата В.М., Медведєва Н.А., Туник Т.М. Дослідження відновлення автомобільних деталей типу «вал» електродуговою металізацією. *Конструирование и технология производства с/х машин*, Кіровоград: КНТУ, 2005, вип. 35, с. 409–416.
- Агеєв М.С., Грицук І.В., Солових Е.К. Застосування комбінованих технологій відновлення для підвищення ресурсу деталей засобів транспорту. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2020, вип. 194, с. 81–92. DOI: 10.18664/1994-7852.194.2020.230412.
- Mateichyk V., Ahieiev M., Mościszewski J., Ustincev S., Volodarets M., Kovbasenko S. The use of additive technologies for the restoration and strengthening of parts of transport means. *Transportation Research Procedia*, 2023, vol. 74, p. 592–599. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.11.186.
- Ляшенко Б.А., Солових Є.К., Лопата Л.А., Марчук В.С. Підвищення міцності та довговічності деталей машин агропромислового комплексу багатфункціональними покриттями. *Доп. сесії Наукової ради з проблеми «Механіка деформівного твердого тіла» НАН України*, Полтава, 15–16 жовтня 2008, с. 15–31.
- Livesey W.A., Robinson A. *The Repair of Vehicle Bodies*. Engineering & Technology. 2010. 456 P. ISBN 0750667532. <https://doi.org/10.4324/9780203075470>.
- Duffu J.E. *Auto Body Repair Technology*. 2011. ISBN 0750667532.

REFERENCES

- Ahieiev, M., Gritsuk, I., Litikova, A., Bilousov, I., Vrublevskiy, R., Boboshko, O., Smyrnov, O., Saraieva, I., Khudiakov, I., & Pohorletskiy, D. (2021). Application of combined electric arc coatings for parts and units of vehicles recovery in repair technologies. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2021-01-5100>.
- Liashenko, B. A., Ahieiev, M. S., Volkov, V. P., Zakharchuk, O. V., & Ustintsev, S. M. (2021). Pobudova metodolohii optymalnoho vykorystannia bahatooperatsiinykh tekhnolohii vidnovlennia ta zmitsnennia poverkhon detailiei sudnovykh mekhanizmiv v protsesi remontu [Development of a methodology for the optimal use of multi-operation technologies for restoration and strengthening of ship mechanisms surfaces during repair]. *Visnyk Pryazovskoho Derzhavnoho Tekhnichnoho Universytetu*, (43), 191–202.
- Lopata, L. A., Lopata, V. M., Miedvedieva, N. A., & Tunik, T. M. (2005). Doslidzhennia vidnovlennia avtomobilnykh detalei typu "val" elektroduhovoioi metalizatsiieiu [Research on restoration of automobile shaft-type parts by electric arc metallization]. *Konstruirovaniie i tekhnologiiia proizvodstva s/kh mashin*, (35), 409–416.
- Ahieiev, M. S., Hrytsuk, I. V., & Solovykh, E. K. (2020). Zastosuvannia kombinovanykh tekhnolohii vidnovlennia dlia pidvyshchennia resursu detalei zasobiv transportu [Application of combined restoration technologies to improve the service life of transport parts]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT*, (194), 81–92. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.194.2020.230412>.

5. Mateichyk, V., Ahieiev, M., Mościszewski, J., Ustincev, S., Volodarets, M., & Kovbasenko, S. (2023). The use of additive technologies for the restoration and strengthening of parts of transport means. *Transportation Research Procedia*, 74, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.186>.
6. Liashenko, B. A., Solovykh, Ye. K., Lopata, L. A., & Marchuk, V. Ye. (2008, October 15–16). Pidvyshchennia mitsnosti ta dovhovichnosti detalei mashyn ahropromyslovoho kompleksu bahatofunktionalnymy pokryttiamy [Improving the strength and durability of agricultural machinery parts with multifunctional coatings]. *Conference of the Scientific Council on the Problem “Mechanics of a Deformable Solid Body” of the NAS of Ukraine*, Poltava, 15–31.
7. Livesey, W. A., & Robinson, A. (2010). *The repair of vehicle bodies*. Engineering & Technology. <https://doi.org/10.4324/9780203075470>.
8. Duffu, J. E. (2011). *Auto body repair technology*. Cengage Learning. ISBN 0750667532.

V. Zakharchuk, O. Zakharchuk, S. Khomych, S. Prystupa. The Use of Mechanical Engineering Technologies in the Repair and Restoration of Parts

The economic efficiency of parts restoration lies in the fact that the cost of restoration is usually lower than the cost of new parts, since the process requires relatively little labor and time, as well as low material expenses. One of the best and most advanced methods of restoring parts is the application of galvanic coatings. The problems and opportunities associated with the application of galvanic coatings to automotive components during repair and restoration are considered. Galvanization processes are associated with the need for expensive equipment, high consumption of energy, water, and chemical materials, as well as harmful effects on the environment. In the absence of automobile repair plants, this method of restoration can be attributed to mechanical engineering technologies. The main methods include hardening, chrome plating, nickel plating, and others. The choice of a suitable metal for galvanic coating mainly depends on such criteria as coating cost, surface microhardness, coating time, reflection coefficient, as well as environmental factors. The technical decisions regarding the choice of an appropriate galvanic coating were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). This is a mathematical-logical decision-making method that helps to select the best option among several alternatives when multiple criteria are considered. By choosing a metal for galvanic coating that meets different criteria, the most appropriate coating for automotive parts was determined. Nickel proved to be the most prioritized option.

Keywords: automobile repair, automotive parts restoration, galvanic coatings, Analytic Hierarchy Process, coating selection criteria.

ЗАХАРЧУК Віктор Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: victavto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

ЗАХАРЧУК Олег Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: Zaharchukov205@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>

ХОМИЧ Сергій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса, Луцький національний технічний університет, e-mail: smhh@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0926-8703>

ПРИСТУПА Станіслав Олексійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет, e-mail: s.prystupa@lntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-3705-1541>

Victor ZAKHARCHUK, Doctor of Science in Engineering, Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: victavto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

Oleg ZAKHARCHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: Zaharchukov205@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>.

Serhii KHOMYCH, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Head of the Department of Agricultural Engineering named after Professor H.A. Khailis, Lutsk National Technical University, e-mail: smhh@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0926-8703>

Stanislav PRYSTUPA, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of Electronics and Telecommunications, Lutsk National Technical University, e-mail: s.prystupa@lntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-3705-1541>

Дата надходження статті до видання: 10.09.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.09.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1922