

APPLICATION OF ALLOYING MATERIALS AND ABSORBING COATINGS
IN LASER STRENGTHENING OF ROAD TRANSPORT DETAILS

Y. Kovalchuk*, O. Pushka, A. Voitik

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

The method of surface laser treatment can be used to strengthen the parts of motor vehicles used in the agro-industrial complex. In this method, the strength and wear resistance of metal car parts also depend on the use of various absorbing coatings and alloying elements. Absorbing coatings allow the processed steel sample to receive a much larger part of the energy of laser radiation, while significantly reducing the reflection of the beam from the surface of the part being strengthened. As a result of the study of the effect of absorbing coatings on the depth of laser treatment of steel 45, it was determined that the best results were obtained in the case of using coatings containing carbon black in the form of aerosols, as well as aluminum and zinc oxides, which provides a significant increase in the depth of the laser exposure zone. Effective use of absorbing coatings will significantly increase laser efficiency, allowing the use of a laser of lower power and contributing to a reduction in the cost of reinforcing automotive parts. In order to achieve high wear resistance of the surface layers of parts, it is advisable to apply surface alloying with the use of special absorbing coatings during their processing with a laser beam. Thanks to laser microalloying of surface layers with chemical elements and compounds, the strengthening efficiency of various iron-carbon alloys is achieved. Carbide, oxide, boride phases of components of absorbent coatings have the highest wear resistance. The study of laser hardening of 40X steel allows us to draw conclusions that in order to obtain wear-resistant layers on the surface of the corresponding parts, it is necessary to apply an absorbent coating and apply surface alloying. At the same time, layers doped with boride, carbide, nitride, and oxide phases have the highest wear resistance. For specific steel parts, the choice of laser hardening mode depends on many factors. Continuous lasers are the most promising.

Key words:

road transport,
laser hardening,
laser exposure zone,
alloying materials,
absorbent coatings

Article history:

Received 14.05.2023

Accepted 17.06.2023

***Corresponding author:**

temp14053@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi49.1026

To cite this article:

Kovalchuk, Y., Pushka, O., & Voitik, A. (2023). Application of alloying materials and absorbing coatings in laser strengthening of road transport details. *Agricultural Machines*, 49, 99-104. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026>

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

ЗАСТОСУВАННЯ ЛЕГУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПОГЛИНАЮЧИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**Ю.О. Ковальчук*, О.С. Пушка, А.В. Войтік***Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Для зміцнення деталей автомобільного транспорту, що використовується в агропромисловому комплексі, може застосовуватися метод поверхневого лазерного оброблення. У випадку використання цього методу міцність та зносостійкість металевих деталей автомобілів залежать від застосування різних поглинаючих покриттів та легуючих елементів. Поглинаючі покриття дозволяють зразку зі сталі, що оброблюється, отримувати більшу частину енергії лазерного випромінювання внаслідок зменшення відбиття променя від поверхні деталі, яка зміцнюється. У результаті дослідження впливу поглинаючих покриттів на глибину лазерного оброблення сталі 45 визначено, що найкращі результати отримано для випадку використання покриттів, які містять сажу у вигляді аерозолі, а також оксиди алюмінію та цинку, що забезпечують збільшення глибини зони лазерного впливу. У випадку ефективного застосування поглинаючих покриттів відбудеться підвищення коефіцієнта корисної дії лазера, що дозволить застосовувати лазер меншої потужності та сприятиме зниженню собівартості зміцнення деталей автомобільного транспорту. Для досягнення високої зносостійкості поверхневих шарів деталей доцільно під час їхнього оброблення лазерним променем застосовувати поверхнєве легування з використанням спеціальних поглинаючих покриттів. Завдяки лазерному мікролегуванню поверхневих шарів хімічними елементами та сполуками досягається підвищення ефективності зміцнення різних залізовуглецевих сплавів. Карбідні, оксидні, боридні фази складових поглинаючих покриттів мають найбільш високу зносостійкість. Дослідження лазерного зміцнення сталі 40Х дозволяє зробити висновки, що для отримання зносостійких шарів на поверхні деталей необхідно наносити поглинаюче покриття і застосовувати поверхнєве легування.

Ключові слова:

автомобільний транспорт,
лазерне зміцнення,
зона лазерного впливу,
легуючі матеріали,
поглинаючі покриття

Історія публікації:

Отримано 14.05.2023

Затверджено 17.06.2023

***Автор для листування:**

temp14053@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi49.1026

Цитувати цю статтю:

Ковальчук, Ю. О., Пушка, О. С., & Войтік, А. В. (2023). Застосування легуючих матеріалів та поглинаючих покриттів при лазерному зміцненні деталей автомобільного транспорту. *Сільськогосподарські машини*, 49, 99-104. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під час виготовлення або відновлення деталей автомобільного транспорту широко застосовуються лазерні технології (*Dobras & Rutkowska-Gorczyca, 2019*). Тепер актуальним завданням є покращення властивостей та збільшення ресурсу напрацювання деталей автотранспорту, що використовуються в агропромисловому комплексі. Зокрема, для зміцнення деталей може використовуватися метод поверхневого лазерного оброблення. Ефективність використання цього методу для підвищення міцності та зносостійкості металевих деталей автомобілів залежить від застосування різних поглинаючих покриттів і легуючих елементів. Поглинаючі покриття дозволяють зразку зі сталі, що оброблюється, отримувати ще більше енергії лазерного випромінювання, суттєво зменшуючи при цьому відбиття променя від поверхні деталі, що зміцнюється (*Ковальчук та ін., 2017*).

Різні поглинаючі покриття впливають на глибину поверхневого лазерного оброблення залізвуглецевих сплавів, що, в свою чергу, впливає на ресурс напрацювання деталей автомобільного транспорту. Також актуальним є дослідження технологічних особливостей лазерного зміцнення сталевих деталей шляхом мікролегування поверхні (*Казаков та ін., 2021*). Для досягнення високої зносостійкості поверхневих шарів деталей доцільно під час їхнього оброблення лазерним променем використовувати поверхневе легування із застосуванням спеціальних поглинаючих покриттів. Завдяки лазерному мікролегуванню поверхневих шарів хімічними елементами та сполуками підвищується міцність різних залізвуглецевих сплавів. Зокрема, карбідні, оксидні, боридні фази складових поглинаючих покриттів мають найвищу зносостійкість.

Мета дослідження – дослідити вплив різних поглинаючих покриттів та легуючих елементів на характеристики залізвуглецевих сплавів для покращення їхніх механічних властивостей, а також для збільшення ресурсу напрацювання деталей автотранспорту.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проводили із використанням основних положень теорії фізики твердого тіла, теорії взаємодії концентрованих потоків

енергії з речовиною, тертя та зношування в абразивному середовищі. Особливу увагу приділено дослідженню: кінетики структури, напружено-деформованого стану поверхонь, елементного складу. Під час оброблення результатів експериментальних досліджень використані методи математичної статистики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Під час лазерного оброблення деталей автотранспорту важливим фактором, що визначає їх міцність та зносостійкість, є глибина зміцненого шару, на яку впливають параметри цього процесу, зокрема поглинаючі покриття, що наносяться на відповідну поверхню зразків. У цьому випадку зразок із залізвуглецевих сплавів, що оброблюється, отримує значно більше енергії лазерного випромінювання внаслідок використання поглинаючих покриттів, що зменшують відбиття від поверхні деталі, яка зміцнюється, лазерного променя (*Григор'янц та ін., 2008*).

За результатами експериментального дослідження, яке проведене на полірованому зразку зі сталі 45, визначено як змінюється глибина зони лазерного впливу залежно від поглинаючих покриттів (**рис. 1**). Очевидно, що швидкість лазерного оброблення деталей суттєво впливає на ефективність використання поглинаючих покриттів. Вона визначає час впливу лазерного випромінювання та температуру поверхні зразка. Оплавлення поверхні зразка, який зміцнюється, не відбувається у випадку збільшення швидкості лазерного впливу понад 6 мм/с. Значне збільшення глибини зони лазерного впливу має місце внаслідок використання покриттів, що містять сажу у вигляді аерозолу та оксиди алюмінію й цинку (на **рис. 1** – криві 1–4).

У випадку ефективного використання поглинаючих покриттів значно зросте поглинання енергії лазерного випромінювання, збільшиться коефіцієнт корисної дії лазера, що дозволить для оброблення деталей на потрібну глибину використовувати лазерну установку меншої потужності. Звичайно, всі можливі випадки лазерного зміцнення сталі 45 за застосування різних поглинаючих покриттів результати дослідження не охоплюють.

Не можна вважати розв'язаною проблему розроблення більш дешевих, ефективних та високотехнологічних покриттів для лазерного

поверхневого оброблення залізвуглецевих сплавів, тому існує необхідність продовжувати дослідження в цьому напрямі. Також доцільно для досягнення високої зносостійкості поверхневих шарів деталей автомобільного транспорту під час їхнього оброблення лазерним променем застосовувати поверхневе легування, яке може використовуватися разом із поглинаючими покриттями.

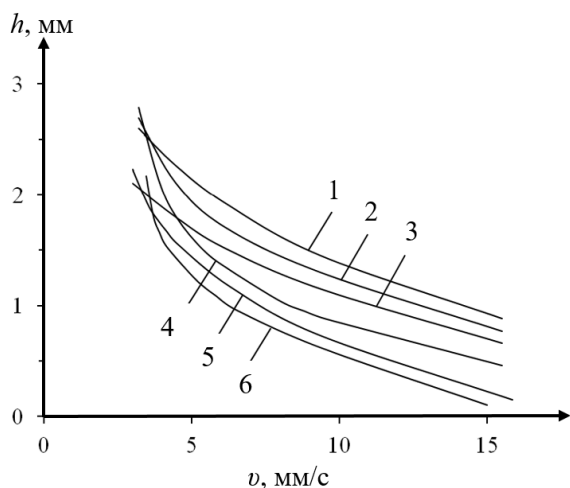


Рис. 1 – Зміна глибини зони лазерного впливу на полірованій сталі 45 під час дослідження різних поглинаючих покриттів ($E \cong 20$ МВт/м²) (Григор'яни та ін., 2008):

- 1 – аерозольна сажа; 2 – Al_2O_3 з органічним сполучником; 3 – водяний розчин ZnO ;
- 4 – ZnO з органічним сполучником;
- 5 – водяний розчин сажі; 6 – розчин графіту в ацетоні

У процесі мікролегування помітні дві зони: зона легування та зона термічного впливу (ЗТВ). Саме в першу зону, що у вигляді розплаву, подається легуюча речовина. При цьому відбувається нагрівання другої зони без її оплавлення. Зона термічного впливу спостерігається за периметром зони легування. Встановлено, що найбільшу твердість ЗТВ матиме лише після перетворення мартенситу в процесі лазерного легування. Однак, за легування певної площі поверхні зразків відбувається відпуск ЗТВ до твердості початкового матеріалу, тобто під легованим шаром розташовується практично незміцнена основа.

Найбільший вплив на процес та якість обробленої поверхні зразка чинить швидкість

переміщення променя лазера або зразка, потужність лазерного випромінювання, а також товщина покриття під час лазерного легування.

Кількість елементів мікролегування, що відносяться до одиниці об'єму оплавленого металу, значно впливає на структуру зони легування. Вміст легуючих елементів у зоні лазерного впливу має тенденцію до зростання зі зростанням швидкості переміщення променя лазера або зразка та зменшення потужності випромінювання.

Збільшення вмісту легуючих елементів у зоні лазерного впливу відбувається за збільшення шару поглинаючого покриття до деякої межі. Із підвищенням концентрації графіту в зоні оплавлення під час проведення цементації сталі відбувається зміна зони лазерного легування. У поверхневих шарах спостерігається структура білого чавуну, який отримано з рідкої фази. До структурних складових зміцненого шару входять мартенсит та залишковий аустеніт. Після лазерного борування зміцнена зона складається з фериту та боридів Fe_2B й FeB . Зі збільшенням кількості бору у легованій зоні вміст фериту зменшується, а вміст боридів – збільшується. Особливістю цієї зони є те, що металографічно ці фази невиразні, а також відсутня характерна для дифузійних боридних шарів голчастість. Легована зона має зернисту структуру. При цьому можливо збільшити концентрацію легуючої речовини в зоні легування з метою отримання нових фаз. Із паст на основі графіту після лазерної цементації були отримані зони, що містять цементит і включення структурно-вільного графіту. Після лазерного борування фази склалися із бориду заліза (FeB) та фази на основі бору.

Результати мікрорентгеноспектрального, металографічного та рентгеноструктурного аналізу показали, що основою цієї фази є одна з модифікацій бору (Казаков та ін., 2021). Отримання легованих зон, які містять структурно-вільний графіт, що виконує роль твердого мастила, а також високотвердих сполук на основі бору та інших металів, має сприяти збільшенню зносостійкості робочих шарів. Формуються фази, що мають особливу будову, зумовлюють особливості структурних перетворень у зонах лазерного легування. Задані властивості поверхонь можна отримати завдяки відведенню теплоти від розплаву в

певному напрямку під час кристалізації. Після лазерної цементації спостерігається текстура цементитних пластин, які розташовані перпендикулярно до напрямку відведення теплоти. Текстура лазерних боридних зон відрізняється від текстури боридних покриттів, що отримані за твердофазної дифузії.

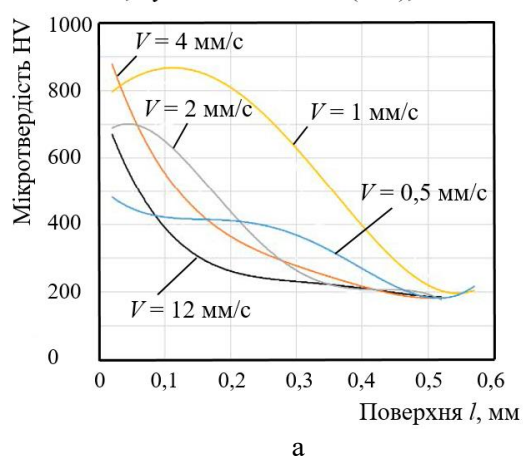
Внаслідок дії лазерного променя поверхня зразків нагрівається та відбувається утворення доріжок, що мають різну товщину, і, як наслідок, утворюються шари з різними характеристиками. За насичення поверхні розплаву бором товщина лазерних доріжок становить 90–140 мкм. Масштабний фактор, що характеризує співвідношення маси, форми зразка, режиму та площі оброблення, визначає ступінь впливу температури поверхні на процес лазерного легування. Це доводить необхідність оптимізації режимів лазерного легування деталей для отримання необхідної властивості поверхні конкретної марки сталі.

Існує необхідність у дослідженнях не тільки розподілу мікротвердості у шарах металу після лазерного легування, а й зносостійкості за різних режимів, крихкості металу. Опір зношуванню лазерних боридних шарів на порядок вищий, ніж у цементованих лазерних шарів. Крихкість лазерних боридних шарів за різних режимів оброблення нижча крихкості дифузійних боридних шарів. Отже, лазерне борування необхідно використовувати для деталей, що зазнають зношування, з великими питомими навантаженнями та ударами.

Для легування поверхні деталі можуть застосовуватися лазери імпульсної та безперервної дії, проте для промислового застосування найбільш перспективні лазерні установки безперервної дії, які мають більш високу продуктивність. Ці відмінності зумовлюють особливості утворення структури та властивостей легованих зон, що отримані із використанням лазерів безперервної дії.

Завдяки лазерному мікролегуванню поверхневих шарів хімічними елементами та сполуками досягають ефекту зміцнення різних матеріалів. Карбідні, оксидні, боридні фази у складі поглинаючих покриттів мають найбільш високу зносостійкість. Однак, при виборі режиму лазерного легування необхідно враховувати фактори: стан поверхні, що оброблюється; мікроструктура металу та його склад; температурний фактор. Найбільш перспективними для цієї мети є лазери безперервної дії. Підвищення мікротвердості зони лазерного впливу спостерігається у середньовуглецевих сталях, навіть у випадку незначного наповнення зони легуючими елементами. Під час оброблення сталі 40X зона лазерного оплавлення має мікротвердість значно вищу, ніж у сталі 45. Це свідчить про доцільність введення легуючих елементів як в основу сталі, так і через поверхневий шар зразка, що оброблюється (Казаків та ін., 2021). Результати дослідження впливу зміцнювальних домішок карбіду бору та карбіду вольфраму у поглинаючому покритті (гуаш жовта) подані на рис. 2.

Сталь 40X; Гуаш жовта + ВК12(WC); $P = 250$ Вт



Сталь 40X; Гуаш жовта + В4С; $P = 250$ Вт

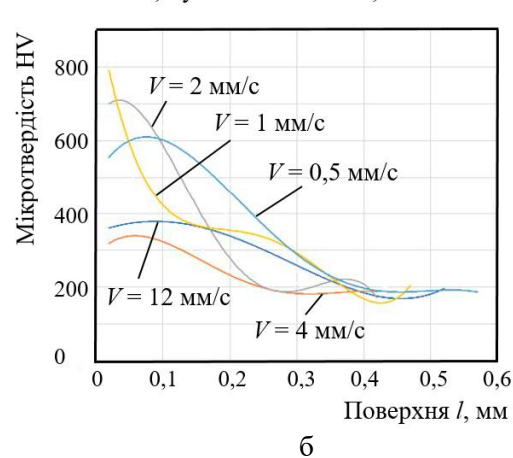


Рис. 2 – Зміна мікротвердості HV за глибиною зони l та швидкістю V лазерного оброблення за різних варіантів покриттів (Казаків та ін., 2021):
а – гуаш жовта + ВК12; б – гуаш жовта + В4С

Лазерне термозміцнення сталей може використовуватися також для підвищення зносостійкості поверхні деталей, що працюють в умовах тертя. Особливі структури у шарах за лазерного оброблення поверхонь деталей можна отримати лише використовуючи висококонцентровані джерела енергії, зокрема лазери. Зносостійкість сталі 45 після лазерного термозміцнення збільшується більш ніж у 2–4 рази порівняно зі сталлю, що загартована у звичайний спосіб. Також лазерне оброблення зразків, що виготовлені зі сталі 40X, підвищує зносостійкість порівняно із звичайним загартуванням та відпуском. У випадку лазерного оброблення безперервним CO₂-лазером зразків зі сталей 45 і 40X без оплавлення поверхні підвищується втомна міцність сталей.

ВИСНОВКИ

Лазерне зміцнення поверхні сталевих деталей автомобільного транспорту дозволяє отримати позитивні результати за оброблення сталей, які мають у своєму складі вміст вуглецю більший за 0,3% і достатній вміст легуючих елементів, що дозволяють отримати тверді фази.

У результаті проведеного дослідження впливу поглинаючих покриттів на глибину лазерного оброблення сталі 45 визначено, що найкращі результати спостерігаються у випадку використання покриттів, які містять сажу у вигляді аерозолі, а також оксиди алюмінію та цинку, що забезпечує значне збільшення глибини зони лазерного впливу.

У випадку ефективного застосування поглинаючих покриттів відбувається значне підвищення коефіцієнта корисної дії лазера, що дозволяє використовувати лазер меншої потужності та сприятиме зниженню вартості зміцнення деталей автомобільного транспорту.

Дослідження лазерного зміцнення сталі 40X дозволяє зробити висновки, що для отримання зносостійких шарів на поверхні

деталей необхідно наносити поглинаюче покриття, а також застосовувати поверхневе легування. У цьому випадку найбільшу зносостійкість мають шари, що леговані боридними, карбідними, нітридними та оксидними фазами. Для сталевих деталей вибирати режими лазерного зміцнення необхідно з урахуванням багатьох чинників. До цих факторів належать матеріали, з яких виготовлені деталі автомобільного транспорту, їх хімічний склад, вимоги до маси та форми, вимоги щодо фізико-механічних властивостей і умов експлуатації. Найбільш перспективним для лазерного зміцнення деталей є процес із використанням лазерів безперервної дії.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Dobras, D., & Rutkowska-Gorczyca, M. (2019). The use of color etching to study the microstructure of laser welded steel used in the automotive industry. *Materials Testing*, 61(11), 1087-1094. <https://doi.org/10.3139/120.111424>
- Григорьянц, А. Г., Шиганов, И. Н., & Мисюров, А. И. (2008). *Технологические процессы лазерной обработки (Technological processes of laser handling)*. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
- Казаков, С. С., Федосеев, А. В., & Матвеев, Ю. И. (2021). Упрочнение среднеуглеродистых сталей за счет микролегирования поверхностей (*Strengthening of medium-carbon steels due to micro-alloying of surface*). *Вестник НГИЭИ*, 4(119), 51-61. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2021-4-51-61>
- Ковальчук, Ю. О., Пушка, О. С., & Войтик, А. В. (2017). Влияние поглинающих покрытий на глубину лазерной обработки деталей сельскохозяйственной техники из стали 45 (*Effect of absorbing coatings on the depth of laser processing of agricultural machinery parts from steel 45*). *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація»*, 30, 16-21.