

APPLICATION OF LASER STRENGTHENING OF ROAD TRANSPORT DETAILS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Y. Kovalchuk, I. Lisoviy*

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine



Key words:

method of surface laser treatment,
laser strengthening,
road transport details,
wear resistance,
laser exposure zone

Article history:

Received 20.04.2021

Accepted 15.05.2021

*Corresponding author:

temp14053@gmail.com

ABSTRACT

The influence of laser hardening on the properties of the surface layer of iron-carbon alloys, from which various parts of motor transport used in agriculture are made, is analyzed. The peculiarities of the formation of the microstructure in the zone of laser influence for iron-carbon alloys as a result of application of the method of surface laser treatment are considered. It is determined that due to the possibility of austenite to have different effects on the wear resistance of alloys, the choice of hardening mode and the corresponding structural state in the laser zone should be made taking into account the operating conditions of a particular part. For example, for a pair of friction engine cylinder – compression ring residual austenite can contribute to better running of these parts. The distribution of microhardness along the depth of hardening of the corresponding samples of iron-carbon alloys during continuous laser treatment is shown. The dependence of the depth of the laser impact zone in the processed sample on the speed of laser processing is given. The speed of movement of the laser beam on the surface of the processed sample at which the melting zone appears is determined. It is shown that on the surface of the samples treated with a continuous CO₂-laser, an inhomogeneous distribution of residual macrostresses is observed, and there is certain symmetry about the center of the band. As a result, it was obtained that laser hardening provides much better indicators of relative wear, coefficient of friction and the number of cycles before running on the corresponding friction pairs compared to conventional hardening. It is determined that iron-carbon alloys used by domestic manufacturers of road transport parts can be effectively treated with laser radiation.

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В АПК

Ю.О. Ковальчук, І.О. Лісовий*

Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна



Ключові слова:

метод поверхневого лазерного оброблення, лазерне зміцнення, деталі автомобільного транспорту, зносостійкість, зона лазерного впливу

Історія публікації:

Отримано 20.04.2021

Затверджено 15.05.2021

*Автор для

листування:

temp14053@gmail.com

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано вплив лазерного зміцнення на властивості поверхневого шару залізвуглецевих сплавів, з яких виробляються різноманітні деталі автомобільного транспорту. Розглянуто особливості формування мікроструктури в зоні лазерного впливу для залізвуглецевих сплавів у результаті застосування методу поверхневого лазерного оброблення. Визначено, що внаслідок можливості аустеніту спричиняти різний вплив на зносостійкість сплавів, вибір режиму гартування та відповідного йому структурного стану в зоні лазерного впливу повинен проводитися із урахуванням умов експлуатації деталі. Так, для пари тертя циліндр двигуна – компресійне кільце залишковий аустеніт може сприяти кращому припрацюванню цих деталей. Показано розподіл мікротвердості за глибиною гартування зразків із залізвуглецевих сплавів під час оброблення лазером безперервної дії. Представлена залежність глибини зони лазерного впливу в оброблюваному зразку від швидкості лазерного оброблення. Визначено швидкість переміщення лазерного променя поверхнею оброблюваного зразка, за якої з'являється зона плавлення. Показано, що на поверхні зразків, що оброблені CO₂-лазером безперервної дії, спостерігається неоднорідний розподіл залишкових макронапружень. Лазерне гартування забезпечує кращі показники відносного зносу, коефіцієнта тертя та числа циклів до припрацювання пар тертя порівняно із звичайним гартуванням. Таким чином, залізвуглецеві сплави можуть ефективно оброблятися лазерним випромінюванням.

<https://doi.org/10.36910/acm.vi46.520>

Стан питання та постановка проблеми

Серед виробників автомобільного транспорту, що активно використовується в сільському господарстві, не втрачає своєї актуальності питання покращення механічних властивостей та збільшення ресурсу виробітку деталей. Однією із першочергових задач, що стоять перед виробниками, є забезпечення високих експлуатаційних характеристик деталей, які найбільше зношуються та виходять з ладу.

Деталі автомобільного транспорту, що виготовляються із чавуну, сталі 45 та інших залізвуглецевих сплавів, повинні задовольняти встановлені вимоги щодо міцності та зносостійкості.

Одним із методів зміцнення деталей автомобільного транспорту є поверхнєве лазерне оброблення. Щоб ефективно застосовувати цей метод, необхідно чітко уявляти всі внутрішні процеси в зоні лазерного впливу (ЗЛВ) зміцнюваних зразків, які відбуваються внаслідок лазерного оброблення.

Дослідження [1–5] лазерного оброблення деталей різної техніки в нашій державі мають локальний характер. Тому існує потреба в теоретичних та експериментальних дослідженнях на лазерних установках і комплексах та практичного встановлення результатів на спеціальному обладнанні і стендах, а також у полі. Все це вимагає значного фінансування, яке, фактично, відсутнє. Вченими із різних країн також проводилися теоретичні та експериментальні дослідження лазерного оброблення матеріалів [6–8]. Більшість досліджень мають несистемний характер. До кінця не вирішеним залишається питання щодо узагальнення та систематизації результатів окремих досліджень.

Мета дослідження – забезпечення підвищення міцності та ресурсу виробітку деталей автомобільного транспорту шляхом застосування лазерного оброблення.

Матеріали і методи

Питання використання методу поверхневого лазерного оброблення деталей автомобільного транспорту в сільському господарстві досліджувалося шляхом всебічного аналізу наукових та науково-технічних джерел інформації.

Результати дослідження та обговорення

У поперечному перерізі зміцненої лазером смуги залізвуглецевих сплавів із використанням CO₂-лазеру безперервної дії можна виділити кілька основних зон (рис. 1) [6]: зону оплавлення (зону гартування з рідкого стану), зону гартування, зону відпуску і вихідну структуру матеріалу. Деякі з цих зон в окремих випадках можуть бути відсутніми

(наприклад, зона відпуску при гартуванні попередньо відпаленого металу або зона оплавлення при гартуванні без оплавлення поверхні).

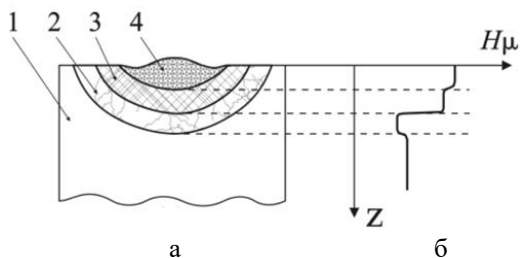


Рис. 1 – Схема поперечного перерізу зони лазерного оброблення (а) і розподілу в ній мікротвердості за глибиною (б):

1 – вихідний метал; 2 – зона відпуску; 3 – зона гартування;
4 – зона гартування з рідкого стану

На рис. 2 [6] представлено характерний зовнішній вигляд оброблених лазерним випромінюванням доріжок без оплавлення та з оплавленням поверхні.

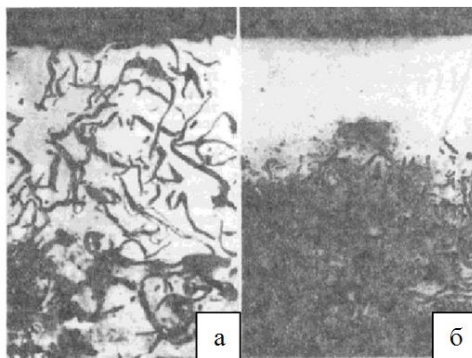


Рис. 2 – Структура загартованих зон після оброблення CO₂-лазером зразків із сірого перлітного чавуну:

а – гартування без оплавлення (x50); б – гартування з оплавленням (x25)

У свою чергу кожна зона може містити декілька шарів та мати відмінності в мікроструктурі, в елементному складі, в співвідношенні складових фаз тощо. Дендритна будова зони оплавлення є типовою для сталей, дендрити ростуть перпендикулярно до межі поділу в напрямку відводу тепла в тіло досліджуваного зразка. При цьому

карбіди, зазвичай, розчиняються, тому визначальною структурною складовою є мартенсит.

Під час оплавлення чавунів графіт розчиняється в розплаві і після кристалізації формується дрібнодисперсна структура білого чавуну. Ступінь розчинення графіту залежить від його виду (пластинчастий, кульовий) і від тривалості термічного циклу. Виділення газів, адсорбованих графітом, часто призводить до утворення пор (як це видно на рис. 2, б). Також поширеними дефектами є тріщини.

У твердому стані зони гартування сталі неоднорідні за перерізом. Як впливає із загальних положень, в глибині поряд із мартенситом є елементи вихідної структури: ферит (для доевтектоїдної сталі) і цементит (для заевтектоїдної сталі), а ближче до поверхні після охолодження гомогенізованого аустеніту формується мартенсит і залишковий аустеніт.

Перекристалізація супроводжується подрібненням зерна і гомогенізацією аустеніту, особливо якщо проводити її протягом достатнього часу без сильного перегріву, тобто із витримкою за температури, що вища за T_a . Розчинення надлишкового цементиту при перегріві заевтектоїдних сталей призводить до підвищення частки залишкового аустеніту і до зниження мікротвердості порівняно із зоною оптимального нагріву, що містить поряд із мартенситом нерозчинені карбіди.

Під час лазерного гартування без оплавлення фазові перетворення в матриці чавунів пов'язані з її структурою та зі ступенем її насиченості вуглецем. Найбільше матриця насичується вуглецем поблизу скупчень графіту, особливо, якщо вони мають розвинену поверхню і достатньо довгий час нагрівання. Мікротвердість в зоні загартування, зважаючи на велику неоднорідність структури, відрізняється великим діапазоном значень (від 3000 МПа до 9000 МПа), причому в феритних чавунах мікротвердість завжди менша, ніж у перлітних.

У першу чергу ступінь гартування характеризується твердістю матеріалу. Кожна зона обробленої лазерним випромінюванням смуги має свою мікротвердість, і, як правило, розподіл мікротвердості за глибиною матеріалу має вигляд, що зображений на рис. 1, б.

З метою оптимізації технологічного процесу гартування поверхні чавунів лазером, необхідно оцінити вплив тривалості дії випромінювання τ на структуру та твердість цих сплавів.

Здійснюючи лазерне оброблення безперервним CO₂-лазером, при зміні τ для чавуну СЧ21 у межах 0,16–1,2 с, швидкість охолодження нагрітого об'єму металу перевищує критичну швидкість загартування, про що свідчить твердість отриманих у ЗЛВ структур (рис. 3) [6].

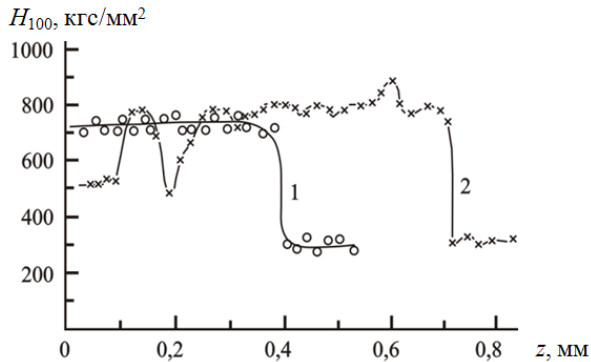


Рис. 3 – Розподіл мікротвердості за глибиною зони лазерного впливу в чавуні СЧ21 ($P_0 = 2,2$ кВт):
1 – $\tau = 0,16$ с; 2 – $\tau = 1,2$ с

У структурі ЗЛВ чавуну СЧ21 на співвідношення аустенітної та мартенситної складових істотно впливає тривалість випромінювання. Зі збільшенням τ у приповерхневому шарі та в глибині ЗЛВ з'являються окремі ділянки залишкового аустеніту з мікротвердістю $H_{100} = 500\text{--}560$ кгс/мм². У глибинних областях ЗЛВ аустеніт локалізується навколо включень фосфідної евтектики, тобто в найбільш збагачених вуглецем ділянках.

Необхідно зазначити, що структурна неоднорідність за глибиною ЗЛВ, яка виникає при збільшенні τ , супроводжується нерівномірним розподілом твердості. На кривій мікротвердості, що відповідає $\tau = 1,2$ с (рис. 3), є провали, пов'язані з попаданням індентора мікротвердоміру на аустенітні ділянки. Збільшення кількості залишкового аустеніту, яке спостерігається зі збільшенням τ , ймовірно, пов'язане із великим насиченням твердого розчину вуглецем. Оскільки аустеніт може чинити різний вплив на зносостійкість, то вибір режиму гартування чавуну СЧ21 та відповідного йому структурного стану в ЗЛВ повинен проводитися із урахуванням умов експлуатації конкретної деталі. У парі тертя, наприклад циліндр двигуна – компресійне кільце, залишковий аустеніт може сприяти кращому припрацюванню цієї пари. Для сталі 45 також може успішно застосовуватися лазерне гартування. За різних швидкостей лазерного оброблення відбувається вплив на різну глибину зміцнюваного зразка (рис. 4) [7].

У випадку збільшення швидкості оброблення ($v > 66$ мм/с) та якщо задані параметри лазерного зміцнення, то оплавлення поверхні дослідного зразка не відбувається.

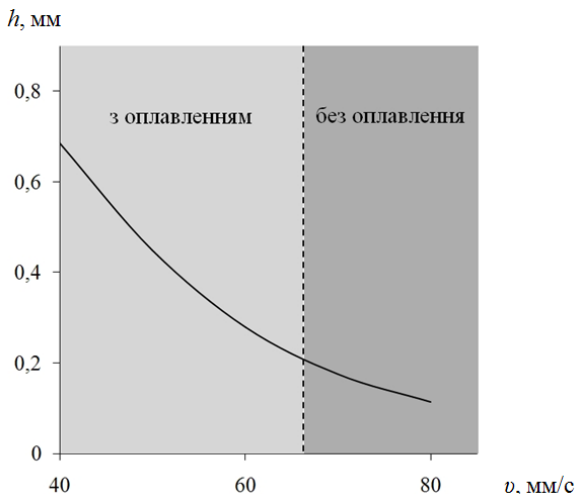


Рис. 4 – Залежність глибини ЗЛВ сталі 45 від швидкості оброблення ($P = 3,1$ кВт, поглинаюче покриття – аерозольна сажа)

Застосовування лазерного гартування дозволяє також підвищити зносостійкість пар тертя автомобільного транспорту, що працюють як в умовах сухого тертя, так і в абразивно-масляному середовищі. Зменшення зношування деталей після лазерного гартування обумовлене низкою факторів: великою твердістю поверхні, високою дисперсністю структури, збільшеними несучими властивостями поверхні, зменшеним коефіцієнтом тертя тощо.

На зносостійкість також впливає нерівномірність властивостей локальних ділянок обробленої поверхні. Зміцнення з перекриттям, а також нанесення окремих плям або доріжок лазерного зміцнення призводить до утворення знеміцнених та незміцнених ділянок у місцях, де метал опромінювався два та більше разів або зовсім не опромінювався. Ці ділянки можуть бути місцями релаксації залишкових структурних та термічних напружень. Крім того, часткове випаровування матеріалу в ЗЛВ викликає утворення мікрозаглиблень, в яких утримується мастило. Це також сприяє збільшенню зносостійкості під час роботи пар тертя.

За умови тертя-ковзання сталі 45, що загартована лазерним безперервним випромінюванням без оплавлення, по загартованій і низьковідпущеній сталі ШХ15 зношування й коефіцієнт тертя суттєво знижуються порівняно зі звичайним гартуванням сталі 45. Також після

застосування методу поверхневого лазерного оброблення різко зменшується час припрацювання пар тертя (рис. 5) [7].

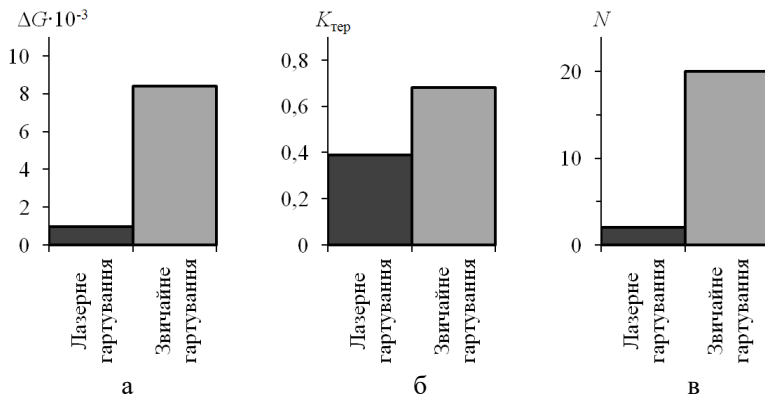


Рис. 5 – Порівняння відносного зносу (а), коефіцієнта тертя (б) та числа циклів до припрацювання пар тертя (в) для звичайного і лазерного гартування сталі 45 ($P = 1$ кВт, $v = 25$ мм/с)

Також необхідно урахувати, що на поверхні деталей, зокрема, зі сталі 45, що зміцнені безперервним або імпульсним лазерним випромінюванням, виникають неоднорідно розподілені залишкові напруження. Розміри області зі зміненими напруженнями значно більші, ніж зона лазерного впливу, причому має місце певна симетрія відносно центра зміцненої смуги чи плями. Величина та знак залишкових напружень залежать від режимів лазерного оброблення, хімічного складу сталі та деяких інших факторів. Вони визначають такі властивості деталей автомобільного транспорту, як зносостійкість, втомні характеристики, залишкові деформації тощо.

Висновки

Поверхнєве лазерне оброблення надає можливість забезпечити значне підвищення основних експлуатаційних характеристик виробів із залізовуглецевих сплавів. Внаслідок можливості аустеніту надавати різний вплив на зносостійкість сплавів, вибір режиму гартування та відповідного йому структурного стану в ЗЛВ повинен проводитися з урахуванням умов експлуатації конкретної деталі. Наприклад, для пари тертя циліндр двигуна – компресійне кільце залишковий аустеніт може сприяти кращому припрацюванню цих деталей.

Також розглянуто особливості формування мікроструктури в зоні лазерного впливу для залізовуглецевих сплавів, показано розподіл

мікротвердості за глибиною гартування зразків та представлено залежність глибини зони лазерного впливу від швидкості лазерного оброблення. Для випадку збільшення швидкості лазерного оброблення ($v > 66$ мм/с), при заданих параметрах лазерного зміцнення, оплавлення поверхні дослідного зразка не відбувається.

Як впливає з отриманих результатів, на поверхні зразків, що оброблені випромінюванням CO_2 -лазера безперервної дії, спостерігається неоднорідний розподіл залишкових макронапружень, причому є певна симетричність щодо центра смуги.

Лазерне гартування забезпечує значно кращі показники відносного зносу, коефіцієнта тертя та числа циклів до припрацювання пар тертя порівняно із звичайним гартуванням. Отже, залізовуглецеві сплави, що використовуються вітчизняними виробниками деталей автомобільного транспорту для агровиробництв, можуть ефективно оброблятися лазерним випромінюванням, що, в свою чергу, може забезпечити значне підвищення експлуатаційних характеристик цих виробів.

Список посилань

1. Завойко, О.С. (2014). Дослідження лазерного зміцнення колінчатих валів та механіко-термічної обробки при руйнуванні на втому та знос. *Фізика і хімія твердого тіла*, 15(4), 846–855.
2. Ковальчук, Ю.О., Лісовий, І.О., Шевчук, В.В. (2017). Особливості лазерного зміцнення деталей сільськогосподарської техніки з чавуну. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*, 262, 238–245.
3. Черненко, В.С., Кіндрачук, М.В., Дудка, О.І. (2008). *Променеві методи обробки: навч. посібник*. Кондор, Київ, 166.
4. Ковальчук, Ю.О., Кравченко, В.В., Оляднічук, Р.В. (2017). Лазерна обробка деталей сільськогосподарської техніки з чавуну. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*, 5, 92–99.
5. Ковальчук, Ю.О., Лісовий, І.О. (2018). Дослідження структури та мікротвердості обробленої лазером поверхні чавунів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 48, 54–61.
6. *Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок*. (2009). Под ред. В.Я. Панченко. Москва, 664.
7. Григорьянц, А.Г., Шиганов, И.Н., Мисюров, А.И. (2008). *Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов*. Под ред. А.Г. Григорьянца. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 664.
8. Rutkowski, D., Ambroziak, A. (2014). Effect of laser strengthening on the mechanical properties of car body steels presently used in automotive industry. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, 5, 49–57.