

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.3:629.08

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.136-141>

**Ю.О. Ковальчук**, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лісовий**, доц., канд. техн. наук  
*Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна*  
e-mail: [temp14053@gmail.com](mailto:temp14053@gmail.com)

## Лазерне зміцнення деталей автомобільного транспорту в АПК

Наведено результати лазерного впливу на мікротвердість зон ковкого чавуну КЧ60-3 при лазерному зміцненні розфокусованим променем та променем з поперечними коливаннями. Виявлено, що максимальні значення мікротвердості 12100 МПа отримані в зоні оплавлення при обробці з поперечними коливаннями променя. Представлено результати визначення коефіцієнтів тертя в залежності від швидкості ковзання пар тертя 40Х-СЧ20. Визначено залежність інтенсивності зношування пар тертя 40Х-СЧ20 від щільності потоку лазерної енергії під час обробки досліджуваних зразків.

**лазерне зміцнення, гартування, мікротвердість, інтенсивність зношування, деталі автомобільного транспорту в АПК**

**Постановка проблеми.** Для підвищення зносостійкості різних деталей автомобільного транспорту в галузі сільського господарства є актуальним використання можливостей методу лазерної обробки.

Для ефективного застосування даного методу необхідно дослідити особливості лазерного впливу на поверхню оброблюваних зразків, визначити залежність отриманих ними характеристик від параметрів процесу лазерного зміцнення.

Відомо, що в результаті зміцнення лазером різних деталей автомобілів важливим фактором впливу на їх ресурс виробітку є мікротвердість та характеристики у парах тертя, які залежать від параметрів поверхневої лазерної обробки.

Вдалий підбір параметрів процесу лазерного зміцнення може забезпечити значне підвищення експлуатаційних характеристик оброблюваних деталей автомобільного транспорту в АПК.

Тому актуальним є дослідження впливу лазерної обробки на такі параметри оброблюваних зразків, як мікротвердість їх поверхневих зон та характеристики у парах тертя.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Із аналізу публікацій останніх років можна зробити висновок, що багато науковців та вчених приділяють свою увагу задачам, пов'язаним з визначенням властивостей залізвуглецевих сплавів, що піддаються лазерній обробці. Наприклад, дослідженням цього питання займалися науковці Токарев А., Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. та інші, які аналізували вплив лазерного потоку на поверхню залізвуглецевих зразків для різних матеріалів та у різних випадках [1–3].

Також впливом лазерної обробки на експлуатаційні характеристики різних деталей машин в останні роки займалися Добрас Д., Лесик Д.А., Грушка М., Сідун К.Ю., Аулін В.В., Завойко О.С. та інші [4–12].

Не до кінця вирішеним залишається питання більш детального та глибокого дослідження впливу лазерного випромінювання на мікроструктуру поверхневих шарів

та на відповідні характеристики у парах тертя різних деталей автомобільного транспорту в АПК з метою підвищення їх зносостійкості.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення впливу лазерної обробки на мікротвердість зон ковкого чавуну КЧ60-3 при його зміцненні розфокусованим лазерним променем та променем з поперечними коливаннями. Також необхідно встановити залежність коефіцієнтів тертя від швидкості ковзання пар тертя 40Х-СЧ20 та визначити для цих пар тертя залежність інтенсивності зношування від щільності потоку лазерної енергії під час обробки досліджуваних зразків.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізуємо вплив лазерної обробки на поверхню чавунів, що використовуються для виробництва різноманітних деталей сільськогосподарських машин.

Для лазерного зміцнення використовували зразки сірого СЧ20 та ковкого КЧ60-3 чавунів з розмірами  $15 \times 20 \times 70$  мм. Обробку зразків проводили за допомогою неперервного випромінювання  $\text{CO}_2$ -лазера з довжиною хвилі 10,6 мкм на базі лазерної установки «Комета-2». При визначенні параметрів зміцнених зон щільність потоку лазерної енергії змінювалась в межах  $20\text{--}60$  Дж/мм<sup>2</sup> (СЧ20) та  $24\text{--}120$  Дж/мм<sup>2</sup> (КЧ60-3), швидкість переміщення променя  $7\text{--}10$  мм/с та  $2\text{--}9$  мм/с відповідно, використовувався діаметр плями променя  $3,5\text{--}5,5$  мм. Лазерне зміцнення проводили розфокусованим променем та з поперечними коливаннями променя з частотою 216 Гц. Для дослідження твердості поверхні використовувався мікротвердомір ПМТ-3.

Випробування на тертя і знос проводили за схемою: широка сторона чавунного зразка СЧ20 – торець втулки, що обертається, сталь 40Х (49–53 НRC). Швидкість ковзання змінювали поступово в межах  $0,25\text{--}3,5$  м/с при навантаженні 2 МПа. У зону тертя подавали індустриальне масло І-20 крапельним способом.

Лазерне гартування ковкого чавуну КЧ60-3 розфокусованим променем при швидкості сканування менше 7 мм/с призводило до дефектів типу раковин та напливів на поверхні зразків. Поперечні коливання променя дозволяли виключити подібні дефекти та варіювати глибину зон зміцнення з рідкого стану в межах  $10\text{--}800$  мкм. Максимальна глибина та ширина зон гартування чавуну КЧ60-3 склали 1,8 мм та 11,7 мм відповідно. Залежність мікротвердості зон цього чавуну за глибиною при лазерному зміцненні розфокусованим променем представлена на рис. 1, а при зміцненні променем з поперечними коливаннями – на рис 2.

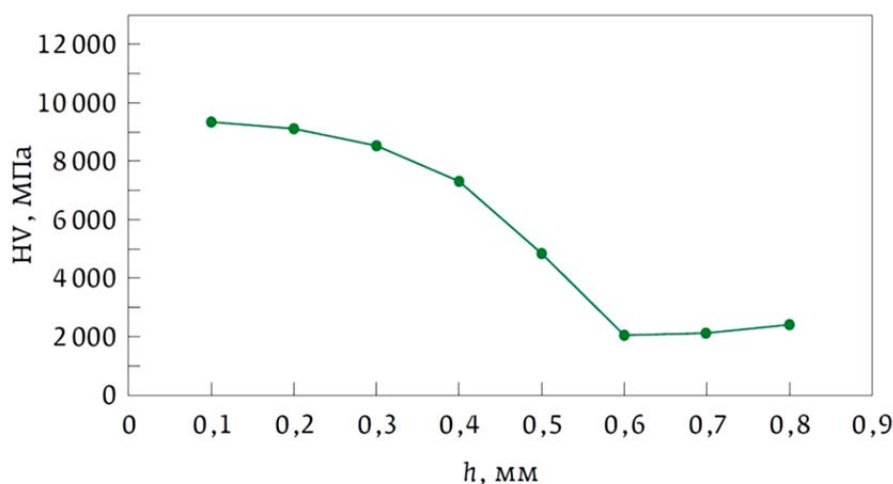


Рисунок 1 – Мікротвердість за глибиною зміцненого лазером зразка із чавуну КЧ60-3 з використанням розфокусованого променя

Джерело: розроблено авторами

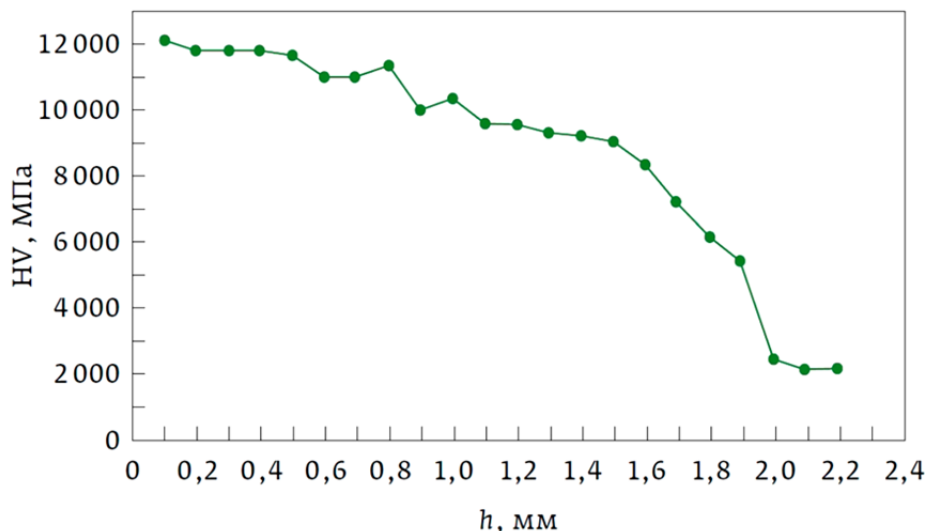
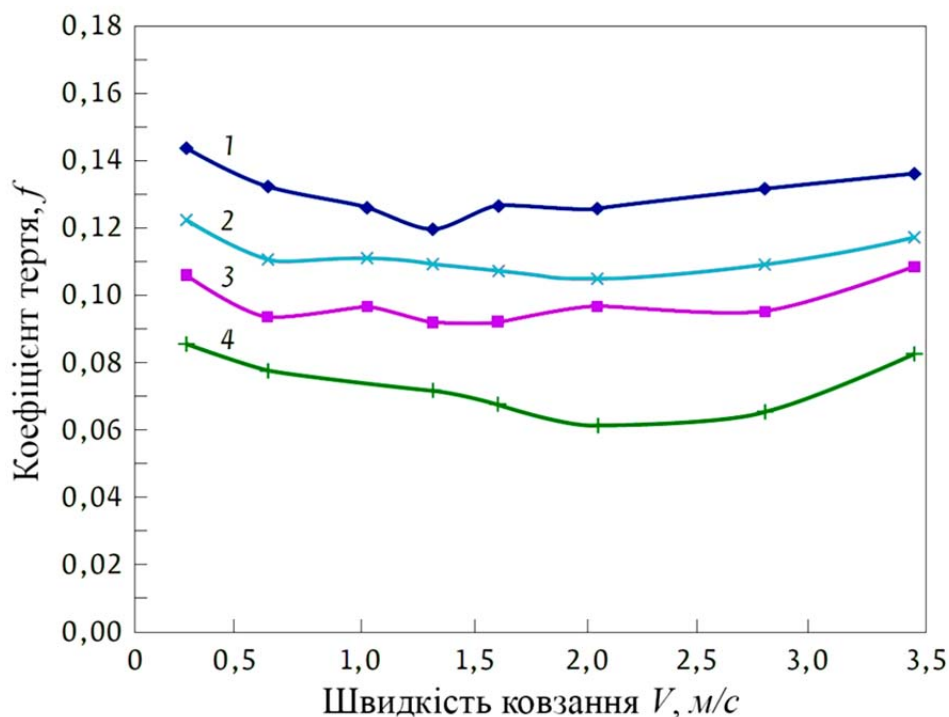


Рисунок 2 – Мікротвердість за глибиною зміцненого лазером зразка із чавуну КЧ60-3 з використанням променя з поперечними коливаннями

Джерело: розроблено авторами

Максимальні значення мікротвердості 12100 МПа отримані в зоні оплавлення при обробці з поперечними коливаннями променя. Мікроструктура зони оплавлення є аустенітно-мартенситною сумішшю.

Результати визначення коефіцієнтів тертя ковзання в залежності від швидкості пар тертя 40Х-СЧ20 при зміцненні чавуну СЧ20 лазерними потоками різної щільності з поперечними коливаннями променя представлені на рис 3.



1 – без зміцнення, 2 – 25 Дж/мм<sup>2</sup>, 3 – 32 Дж/мм<sup>2</sup>, 4 – 46 Дж/мм<sup>2</sup>

Рисунок 3 – Залежність коефіцієнтів тертя ковзання від швидкості пар тертя 40Х-СЧ20 при зміцненні чавуну СЧ20 лазерними потоками різної щільності

Джерело: розроблено авторами

Для всіх зразків до швидкості ковзання 1,5 м/с спостерігалось зниження коефіцієнтів тертя. Максимальні коефіцієнти тертя 0,13–0,145 отримані для матеріалу основи СЧ20 з твердістю 180–210 НВ. Мінімальні значення коефіцієнтів тертя 0,07–0,09 отримані на зразках, оброблених при щільності енергії лазерного потоку 46 Дж/мм<sup>2</sup>.

На рис. 4 представлено залежність інтенсивності зношування пар тертя 40Х-СЧ20 від зміцнення чавуну СЧ20 лазерними потоками різної щільності з поперечними коливаннями променя.

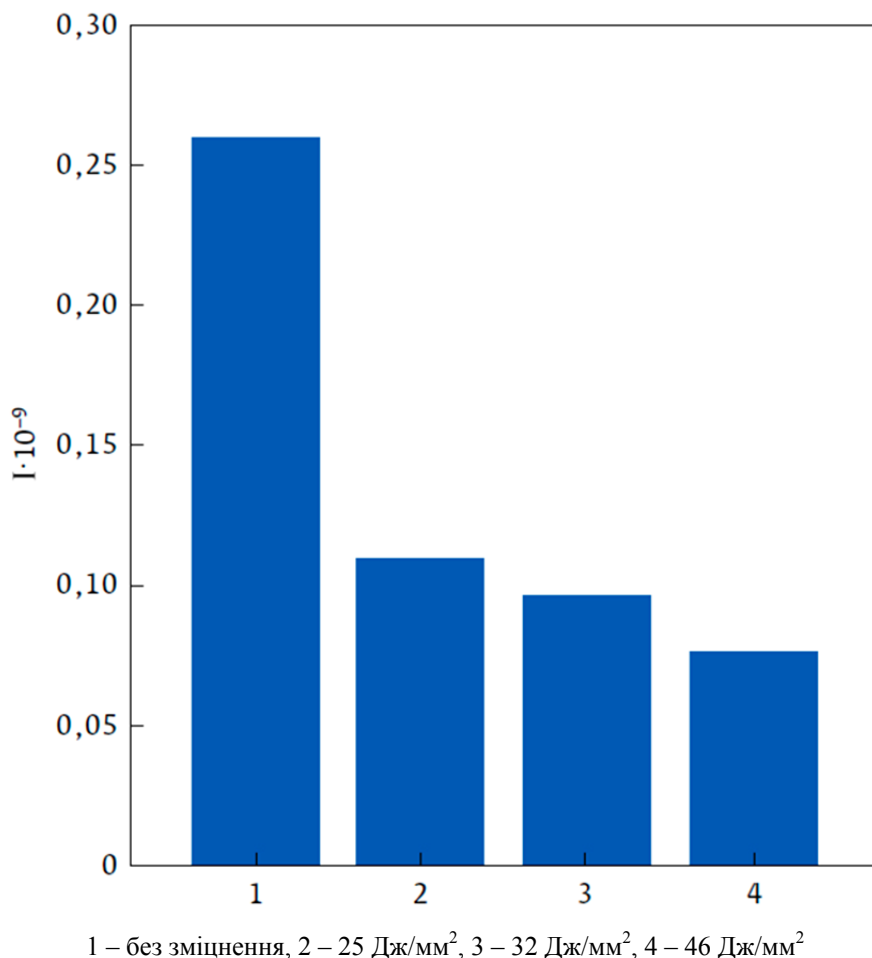


Рисунок 4 – Залежність інтенсивності зношування пар тертя 40Х-СЧ20 від зміцнення чавуну СЧ20 лазерними потоками різної щільності

*Джерело: розроблено авторами*

З підвищенням щільності потоку лазерної енергії зносостійкість зразків значно зростала в 2,5–3,5 рази в порівнянні з незміцненим зразком.

**Висновки.** Отримані результати показали, що при лазерній обробці чавунів мікротвердість зміцнених шарів значно збільшується в порівнянні з матеріалом основи. Розроблена технологія лазерного зміцнення з використанням поперечних коливань променя має більшу продуктивність, ніж при загартуванні розфокусованим променем.

Лазерне зміцнення сірого чавуну СЧ20 та ковкого чавуну КЧ60-3 із застосуванням поперечних коливань лазерного променя дозволило підвищити продуктивність обробки у 1,5–2,0 рази. При використанні індустріального масла І-20 підвищення щільності енергії при лазерному зміцненні чавуну СЧ20 призводить до підвищення його зносостійкості у 2,5–3,5 рази та знижує втрати на тертя у парі зі сталлю 40Х на 30–60%.

## Список літератури

1. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів : монографія. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.
2. Zhang X., Zhang Y., Yin Y., Zhang Y., Li S., Duan S., Huang Z., Chen B., Pei S., Wang H. Simulation of the forming process of conical cup shaped by laser-induced shock waves. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. Vol. 91. P. 1619–1630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9633-x>
3. Laser-plasma treatment of structural steel / A. Tokarev et al. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 788. P. 58–62.
4. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Рафінуючо-легувальні дії на поверхневий шар матеріалу деталей систем і агрегатів транспортних засобів лазерного потоку енергії. *Підвищення надійності машин і обладнання : матеріали міжнар. наук.-практ. конф.*, 15-17 квіт. 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 91.
5. Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В. Застосування легуючих матеріалів та поглинаючих покриттів при лазерному зміцненні деталей автомобільного транспорту. *Сільськогосподарські машини*. 2023. Вип. 49. С. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026>
6. Лесик Д.А., Грушка М., Сідун К.Ю., Данилейко О.О., Кифоренко Д.С., Джемелінський В.В. Селективне поверхнєве зміцнення валу механізму передач роботизованою лазерною 3D системою. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2022. № 3 (13). 24–29. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.03.04>
7. Rutkowski, D., Ambroziak, A. Effect of laser strengthening on the mechanical properties of car body steels presently used in automotive industry. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. 2014. № 5, 49–57.
8. Ковальчук Ю.О., Кравченко В.В., Оляднічук Р.В. Лазерна обробка деталей сільськогосподарської техніки з чавуну. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2017. Вип. 5. С. 92–99.
9. Завойко О.С. Дослідження лазерного зміцнення колінчатих валів та механіко-термічної обробки при руйнуванні на втому та знос. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2014. Т. 15. № 4. С. 846–855.
10. Dobras D., Rutkowska-Gorczyca M. The use of color etching to study the microstructure of laser welded steel used in the automotive industry. *Materials Testing*. 2019. Vol. 61(11). P. 1087–1094. DOI: <https://doi.org/10.3139/120.111424>
11. Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук А.О. Підвищення зносостійкості деталей автомобільного транспорту в АПК шляхом застосування лазерного наплавлення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 25–31.
12. Xu L., Li M., Song Z., Li F., Guo J., Gao M. WC-High Entropy Alloy Reinforced Long Life Self-Grinding Silage Knife Prepared by Laser Cladding. *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12(6). 1013. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano12061013>

## References

1. Afanasyeva, O.V., Lalazarova, N.O. & Fedorenko, YE.P. (2020). Lazerna poverkhneva obrobka materialiv: monohrafiya [Laser surface treatment of materials: monograph]. Kharkiv : FOP Panov A.M. [in Ukrainian].
2. Zhang, X., Zhang, Y., Yin, Y., Zhang, Y., Li, S., Duan, S., Huang, Z., Chen, B., Pei, S. & Wang H. (2017). Simulation of the forming process of conical cup shaped by laser-induced shock waves. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 1619–1630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9633-x> [in English].
3. Tokarev, A., Bataeva, Z., Grachev, G., Smirnov, A., Khomyakov, M. & Gerber, A. (2015). Laser-plasma treatment of structural steel. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 788, 58–62 [in English].
4. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Zhylova, I.V. & Verbytskyy, O.V. Rafinuyucho-lehuvalni diy na poverkhnevyy shar materialu detaley system i ahrehativ transportnykh zasobiv lazernoho potoku enerhiyi [Refining and alloying effects on the surface layer of the material of parts of systems and units of vehicles of laser energy flow]. Proceedings from Increasing the reliability of machines and equipment '20: mizhnar. nauk.-prakt. konf. (15-17 kvit. 2020 r.) – Int. Sci. And Pract. Conf. (p. 91). Kropyvnytskyi : TSNTU [in Ukrainian].
5. Kovalchuk, Yu.O., Pushka, O.S. & Voytik, A.V. (2023). Zastosuvannya lehuuyuchykh materialiv ta pohlynayuchykh pokryttiv pry lazernomu zmitsnenni detaley avtomobilnoho transportu [Application of alloying materials and absorbing coatings during laser strengthening of automobile parts]. *Silskohospodarski mashyny – Agricultural machinery, issue 49*, 99–104. DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026> [in Ukrainian].

6. Lesyk, D.A., Hrushka, M., Sidun, K.YU., Danyleyko, O.O., Kyforenko, D.S. & Dzhemelinsky, V.V. (2022). Selektivne poverkhneve zmitsnennya valu mekhanizmu peredach robotyzovanoju lazernoyu 3D systemoyu [Selective surface strengthening of the gear mechanism shaft by a robotic laser 3D system]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Novi rishennya u suchasnykh tekhnolohiyakh – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New solutions in modern technologies*, 3 (13), 24–29. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.03.04> [in Ukrainian].
7. 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 [in English].
8. Kovalchuk, Yu.O., Kravchenko, V.V. & Olyadnichuk, R.V. (2017). Lazerna obrobka detaley silskohospodarskoyi tekhniki z chavunu [Laser processing of parts of agricultural machinery from cast iron]. *Visnyk Ukrayinskoho viddilennya Mizhnarodnoyi akademiyi ahrarnoyi osvity – Bulletin of the Ukrainian branch of the International Academy of Agrarian Education*, issue 5, 92–99 [in Ukrainian].
9. Zavoiko, O.S. (2014). Doslidzhennia lazernoho zmitsnennia kolinchatykh valiv ta mekhaniko-termichnoi obrobky pry ruinuванні na vtomu ta znos [Investigation of laser hardening of crankshafts and mechanical-thermal treatment in case of fatigue and wear destruction]. *Fizyka i khimiia tverdoho tila – Physics and Chemistry of the Solid State*, Vol. 15, 4, 846–855 [in Ukrainian].
10. Dobras, D. & Rutkowska-Gorczyca, M. (2019). The use of color etching to study the micro-structure of laser welded steel used in the automotive industry. *Materials Testing*, 61 (11), 1087–1094. DOI: <https://doi.org/10.3139/120.111424> [in English].
11. Kovalchuk, Yu.O., Pushka, O.S., Voytik, A.V. & Kovalchuk, A.O. (2022). Pidvyshchennya znosostyikosti detaley avtomobilnoho transportu v APK shlyakhom zastosuvannya lazernoho naplavlennya [Increasing the wear resistance of motor vehicle parts in the agricultural sector by using laser surfacing]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Technology, energy, transport of agricultural industry*, 1 (116), 25–31 [in Ukrainian].
12. Xu, L., Li, M., Song, Z., Li, F., Guo, J. & Gao, M. (2022). WC-High Entropy Alloy Reinforced Long Life Self-Grinding Silage Knife Prepared by Laser Cladding. *Nanomaterials*, 12(6), 1013. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano12061013> [in English].

**Yuriy Kovalchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Lisoviy, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine*

### **Laser Strengthening of Automobile Transport Parts in the Agro-industrial Complex**

The purpose of the work is to determine the effect of laser processing on the microhardness of the zones of ductile cast iron KCh60-3 when it is strengthened by a defocused laser beam and a beam with transverse oscillations. It is also necessary to establish the dependence of friction coefficients on the sliding speed of friction pairs 40H-SCh20 and to determine for these friction pairs the dependence of the intensity of wear on the density of the laser energy flow during the processing of the studied samples.

Laser hardening of ductile cast iron KCh60-3 with a defocused beam at a scanning speed of less than 7 mm/s led to shell-type defects and inflows on the surface of the samples. Transverse oscillations of the beam made it possible to exclude similar defects and vary the depth of the solidification zones from the liquid state in the range of 10–800 μm. The maximum depth and width of the hardening zones of cast iron KCh60-3 were 1.8 mm and 11.7 mm respectively. The maximum microhardness values of 12100 MPa were obtained in the remelting zone during processing with transverse beam oscillations. The microstructure of the melting zone is an austenitic-martensitic mixture. A decrease in friction coefficients was observed for all samples up to a sliding speed of 1.5 m/s. The maximum friction coefficients of 0.13–0.145 were obtained for the base material SCh20 with a hardness of 180–210 HB. The minimum values of friction coefficients of 0.07–0.09 were obtained on samples processed at a laser flux energy density of 46 J/mm<sup>2</sup>.

The obtained results showed that during laser processing of cast iron the microhardness of the hardened layers significantly increases compared to the base material. The developed technology of laser hardening with the use of transverse oscillations of the beam has a higher productivity than when hardening with a defocused beam. Laser hardening of gray cast iron SCh20 and malleable cast iron KCh60-3 using transverse oscillations of the laser beam made it possible to increase processing productivity by 1.5–2.0 times. When using I-20 industrial oil, the increase in energy density during laser hardening of SCh20 cast iron leads to an increase in its wear resistance by 2.5–3.5 times and reduces frictional losses in a pair with 40H steel by 30–60%.

**laser hardening, tempering, microhardness, wear intensity, road transport details in the agro-industrial complex**

Одержано (Received) 30.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 26.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024