

137,0 °C) маємо наступні фізико-механічні властивості $E_p = 22,3$ МПа, $\mu_p = 0,31$, $W_p = 0,49$ Н/м. При цьому $S_{\Delta P} = 0,772$ МПа, $\Psi = 1,519$, $h_a = 13,2$ мм. Порівняння залежностей $S_{\Delta P}^E(D_{\mu})$ і $S_{\Delta P}^T(D_{\mu})$, $\Psi^E(D_{\mu})$ і $\Psi^T(D_{\mu})$, $h_a^E(D_{\mu})$ і $h_a^T(D_{\mu})$ проведемо при умові раціональних технологічних параметрів і встановлені достатньо високий коефіцієнт кореляції Пірсона (0,94–0,99).

корм, пресування, стиснення, чисельне моделювання, лабораторні дослідження, змішування, тиск, параметри, фізико-механічні властивості, ефективність

Одержано (Received) 26.01.2024

Прорецензовано (Reviewed) 04.03.2024

Прийнято до друку (Approved) 25.03.2024

УДК 621.9.048.7:621.373.826:

631.3:629.081

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.104-110](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.104-110)

Ю.О. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лісовий**, доц., канд. техн. наук,

В.В. Кравченко, доц., канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

e-mail: temp14053@gmail.com

А.О. Ковальчук, доц., канд. техн. наук

Харківський національний університет повітряних сил імені І. Кожедуба, м. Харків, Україна

Лазерне зміцнення інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК

Досліджено вплив лазерної обробки на приповерхневу мікроструктуру сплавів. Показано, яка сталь матиме максимальну твердість в результаті лазерного зміцнення серед сталей 40X13, 30X13 та 20X13. Визначено оптимальний рівень розчинення в сталях Р6М5, 9ХС і ХВГ вихідних карбідів для отримання максимально можливої твердості при їх лазерній обробці. Досліджено значення мікротвердості та термостійкості бронзи в результаті її лазерного зміцнення. Відмічено значне збільшення терміну експлуатації загартованих лазером виробів в порівнянні зі стандартною термічною обробкою.

лазерна обробка, лазерне зміцнення, гартування, зносостійкість, мікротвердість

Постановка проблеми. Нині не втрачає своєї актуальності питання збільшення ресурсу виробітку різних інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК. Забезпечення їх більшої міцності та зносостійкості є однією із першочергових задач, що стоять перед відповідними виробниками.

Багато інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК, такі як вимірювальні, ріжучі та різьбонарізні інструменти, свердла, мітчики, плашки, фрези, пружини, підшипники, деталі поршневих компресорів, редукторів, різноманітних станків, інструменти, що працюють з ударними навантаженнями та інше технологічне оснащення, які повинні задовольняти відповідні вимоги щодо міцності та зносостійкості, виготовляються з таких сплавів, як, зокрема, сталі 40X13, 30X13, 20X13, Р6М5, 9ХС, ХВГ та з бронзи. Для їх зміцнення може успішно застосовуватися метод лазерної обробки.

Відомо, що під час зміцнення лазером різних інструментів та деталей зі сталі та інших сплавів важливим фактором впливу на їх ресурс виробітку є мікротвердість та

глибина зміцненого шару, які залежать від параметрів поверхневої лазерної обробки. Одним із чинників, що впливають на мікротвердість, є, зокрема, обсяг розчинених карбідів у сплаві. Різні сплави мають різні властивості в результаті їх лазерної обробки, що, в свою чергу, впливатиме на ресурс виробітку відповідних інструментів та деталей, тому детальний аналіз даного питання зараз є актуальним та важливим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій останніх років свідчить, що увагу багатьох науковців та вчених привертають задачі, пов'язані з визначенням властивостей сталей, що зазнають впливу лазерного випромінювання. Зокрема, це питання досліджували науковці Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П., Токарев А. та інші, які вивчали вплив лазерного випромінювання на поверхню сталевих зразків у різних випадках та для різних матеріалів [1-2].

Питаннями зміцнення різних деталей обладнання шляхом лазерної обробки в останні роки займались Аулін В.В., Лесик Д.А., Грушка М., Сідун К.Ю., Завойко О.С., Добрас Д. та інші [3-10].

Актуальним зараз залишається більш глибоке та різностороннє дослідження впливу лазерного випромінювання на мікроструктуру поверхневих шарів різних інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК з метою підвищення їх зносостійкості.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу лазерної обробки на приповерхневу мікроструктуру сплавів з метою покращення їх механічних властивостей та збільшення ресурсу виробітку відповідних інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо вплив лазерної обробки на приповерхневу мікроструктуру різних сплавів, що використовуються для виробництва різноманітних інструментів та деталей обладнання.

Дослідження проводились із використанням неперервного випромінювання CO₂-лазера з довжиною хвилі 10,6 мкм, діаметром променя 10 мм та потужністю 0,5-1 кВт на базі лазерної установки «Комета-2» зі швидкістю переміщення дослідних зразків 10-30 мм/с. Для дослідження твердості поверхні використовувався мікротвердомір ПМТ-3.

Раніше вважалося, що широко використовувану хромисту сталь 40X13 можна зміцнити лазером тільки з опаленням, а це значно підвищувало трудомісткість виробництва деталі. Дослідження структури і властивостей цієї та аналогічних сталей показали, що загартування сталі 40X13 без опалення може бути досягнуто шляхом правильного підбору режиму. Для кращого розуміння даного процесу необхідно проаналізувати цикл лазерного зміцнення поверхневого шару оброблюваного зразка. Час лазерного гартування невеликий, але за цей час карбіди хрому сталі 40X13 повинні встигнути розчинитися в аустенітному стані, тому для проходження даного процесу потрібно більше часу, ніж при гартуванні сталі 40X.

Оптимальний час, необхідний для розчинення карбідів, лінійно залежить від вмісту в сталі карбідоутворюючих елементів.

Розподіл мікротвердості за перерізом зони обробки для сталей 20X13, 30X13 та 40X13 наведено на рис. 1. Видно, що максимальна твердість досягається у випадку гартування сталі 40X13, так як вміст вуглецю в ній є найвищим серед перерахованих сталей. Максимальна твердість для цієї сталі становить 1100 Н_μ50.

Термін експлуатації виробів з цих загартованих лазером сталей підвищується в середньому в 4-5 разів в порівнянні зі стандартною термічною обробкою.

Відомо, що розчинення карбідів, навіть часткове, впливає на структуру і властивості поверхневих шарів сталей і виробів в цілому. При високошвидкісній лазерній обробці, тобто в умовах короткочасного лазерного впливу на поверхню сталі,

наслідки розчинення карбїду можуть спостерігатися тільки в розплавлених лазером зонах металу, на їх кордонах з вихідною сталлю, на тонких ділянках навколо карбїдів.

Виникаючі зі зміненим хімічним складом, структурою і властивостями мікроділянки мають велике практичне значення, але вони вивчені недостатньо детально. Це обмежує можливості створення матеріалу із заданою структурою і підвищеними експлуатаційними характеристиками в поверхневих шарах сплаву.

Тому розглянемо особливості формування структури і властивостей в зоні рідкого стану ділянки, опроміненої лазером, з урахуванням впливу на ці процеси присутньої в сталях карбїдної фази [1-4].

Особливостями зони рідкого стану є її нетравимість в звичайних реактивах, дисперсність структури і висока твердість, а також помітне зменшення обсягу вихідної карбїдної фази. Незважаючи на короткий час впливу лазерного імпульсу (10^{-3} с), цьому сприяє висока температура нагріву і конвективне перемішування тонкого шару рідкого металу. Часткове або повне розчинення карбїдів згладжує поверхневий рельєф навколо них.

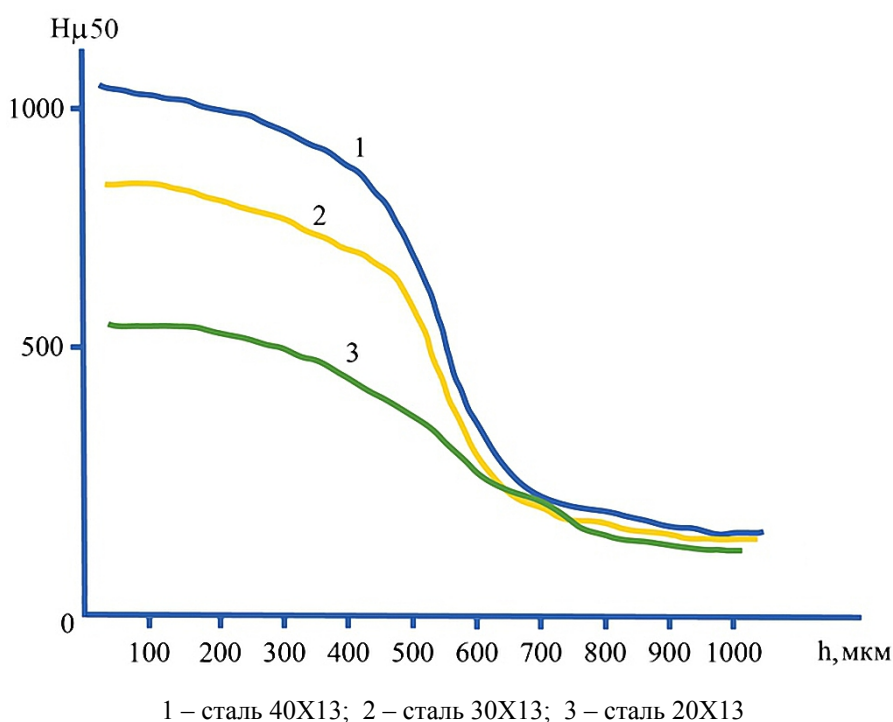


Рисунок 1 – Розподіл мікротвердості за перерізом зони обробки сталей після лазерного зміцнення
Джерело: розроблено авторами

В результаті зміни хімічного складу зменшуються рівні точок мартенситного перетворення в зонах рідкого стану і в них зберігається значна кількість залишкового аустеніту (40-60%), що характеризується дисперсною структурою. Це позитивно позначається на експлуатаційних характеристиках опромінюваних виробів, особливо при впливі зовнішніх ударних навантажень [6-8].

На рис. 2 представлені результати кількісної оцінки впливу обсягу розчинених карбїдів на ступінь зміцнення поверхневих шарів металу, отримані в ході досліджень опромінених в різних режимах сталей.

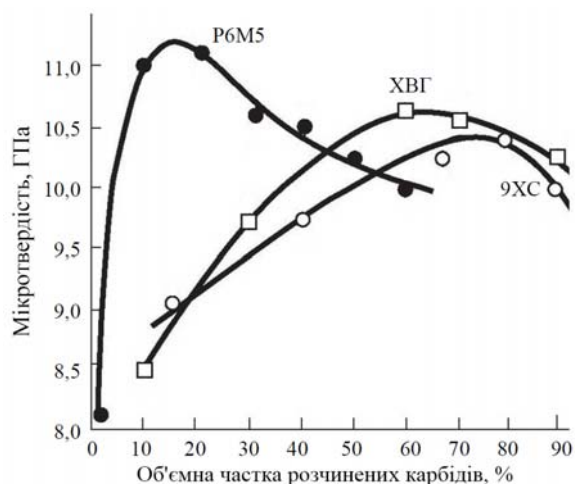


Рисунок 2 – Вплив обсягу розчинених карбідів на мікротвердість оброблених лазером сталей
Джерело: розроблено авторами

На підставі наведених на даному рисунку результатів досліджень опромінених в різних режимах сталей можна зробити висновок, що для отримання максимально можливої твердості при лазерній обробці сталі Р6М5 досить розчинити 30% вихідних карбідів і 60-70% для сталей 9ХС і ХВГ. Зниження твердості опромінюваних зон зі збільшенням обсягу розчинених карбідів, ймовірно, пов'язане зі збільшенням в цих умовах кількості залишкового аустеніту.

Слід зазначити, що в процесі експлуатації опромінюваних виробів під впливом термічних деформаційних навантажень зниження твердості, що спостерігається на рис. 2, компенсує велику кількість твердих дисперсних включень твердих карбідів, що виділяються з аустеніту.

Також успішно можуть піддаватись лазерній обробці різні інструменти та деталі обладнання, що виготовлені із бронзи. Обробка бронзи шляхом лазерного зміцнення дозволила досягти значень мікротвердості до 700 Н_μ50, а термостійкості шару до 350°C. На рис. 3 показано розподіл мікротвердості після лазерного гартування і подальшого відпалу при 350°C. Видно, що зберігається висока мікротвердість поверхневого шару.

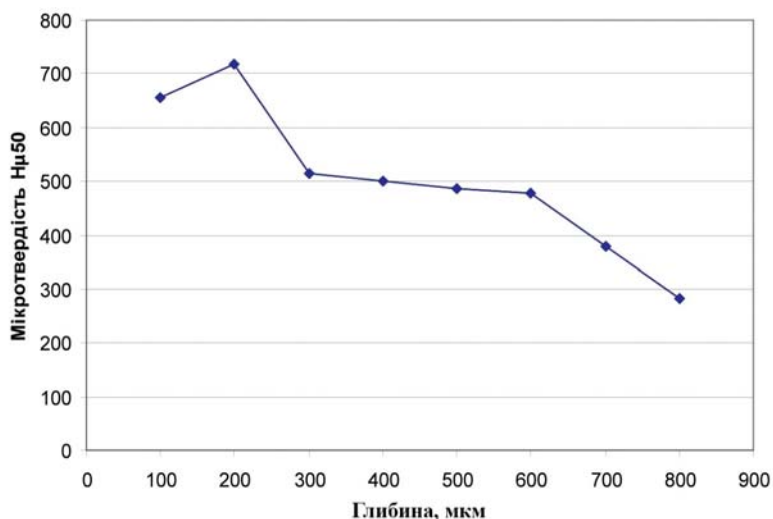


Рисунок 3 – Розподіл мікротвердості за глибиною у бронзі після зміцнення лазером та наступного відпалу при 350°C протягом 1 год
Джерело: розроблено авторами

Дослідження показали, що така стабільність бронзи обумовлена утворенням в поверхневому шарі інтерметалідів NiAl, CuAl і оксидів Al₂O₃, які утримують отриману в результаті лазерної модифікації структуру від розпаду в рівноважну початкову структуру.

Висновки. Отже, досліджено вплив лазерної обробки на приповерхневу мікроструктуру сплавів з метою покращення їх механічних властивостей та збільшення ресурсу виробітку відповідних інструментів та деталей обладнання ремонтних майстерень автомобільного транспорту в АПК. Визначено, що максимальна твердість досягається у випадку гартування сталі 40X13, так як вміст вуглецю в ній є найвищим порівняно зі сталями 30X13 та 20X13. Також, для отримання максимально можливої твердості при лазерній обробці сталі Р6М5 досить розчинити 30% вихідних карбідів і 60-70% для сталей 9ХС і ХВГ. Обробка бронзи шляхом лазерного зміцнення дозволила досягти значень мікротвердості до 700 Н_μ50, а термостійкості шару до 350°С. Термін експлуатації виробів з цих загартованих лазером сплавів підвищується в середньому в 4-5 разів в порівнянні зі стандартною термічною обробкою.

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. Laser-plasma treatment of structural steel / A. Tokarev et al. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 788. P. 58–62.
3. 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.
4. 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. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026>
5. Селективне поверхнєве зміцнення валу механізму передачі роботизованою лазерною 3D системою / Лесик Д.А. та ін. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2022. № 3 (13). С. 24–29. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.03.04>
6. 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. P. 49–57.
7. 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.
8. 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.
9. 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. <https://doi.org/10.3139/120.111424>
10. Підвищення зносостійкості деталей автомобільного транспорту в АПК шляхом застосування лазерного наплавлення / Ковальчук Ю.О. та ін. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 25–31.

References

1. Afanas'ieva, O.V., Lalazarova, N.O. & Fedorenko, Ye.P. (2020). Lazerna poverkhneva obrobka materialiv [Laser surface treatment of materials]. Kharkiv: FOP Panov A.M. [in Ukrainian].
2. 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].
3. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Zhylova, I.V. & Verbyts'kyj, O.V. (2020). Rafinuiucho-lehuval'ni dii na poverkhnevyy shar materialu detalej system i ahrehativ transportnykh zasobiv lazernoho potoku enerhii [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). Kropyvnytskyu: TSNTU [in Ukrainian].
4. Koval'chuk, Yu.O., Pushka, O.S. & Vojtik, A.V. (2023). Zastosuvannya lehuiuchykh materialiv ta pohlynaiuchykh pokryttiv pry lazernomu zmitsnenni detalej avtomobil'noho transportu [Application of alloying materials and absorbing coatings during laser strengthening of automobile parts]. *Sil's'kohospodars'ki mashyny – Agricultural machinery*, 49, 99-104. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1026> [in Ukrainian].
 5. Lesyk, D.A. et al. (2022). Selektivne poverkhneve zmitsnennia valu mekhanizmu peredach robotyzovanoiu lazernoiu 3D systemoiu [Selective surface strengthening of the gear mechanism shaft by a robotic laser 3D system]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New solutions in modern technologies*, 3 (13), 24–29. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.03.04> [in Ukrainian].
 6. 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].
 7. Koval'chuk, Yu.O., Kravchenko, V.V. & Oliadnichuk, R.V. (2017). Lazerna obrobka detalej sil's'kohos-podars'koi tekhniki z chavunu [Laser processing of parts of agricultural machinery from cast iron]. *Visnyk Ukrains'koho viddilennia Mizhnarodnoi akademii ahrarnoi osvity – Bulletin of the Ukrainian branch of the International Academy of Agrarian Education*, 5, 92–99 [in Ukrainian].
 8. Zavojko, O.S. (2014). Doslidzhennia lazernoho zmitsnennia kolinchatykh valiv ta mekhaniko-termichnoi obrobky pry rujnuvanni 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*, 15, 4, 846-855 [in Ukrainian].
 9. 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> [in English].
 10. Koval'chuk, Yu.O., Pushka, O.S., Vojtik, A.V. & Koval'chuk, A.O. (2022). Pidvyschennia znosostijkosti detalej avtomobil'noho transportu v APK shliakhom zastosuvannya lazernoho naplavlennia [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].

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

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Andriy Kovalchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

Laser Strengthening of Tools and Parts of Automobile Transport Repair Workshops Equipment in the Agricultural Sector

The purpose of this work is to study the effect of laser processing on the surface layers of alloys and to study their microstructure and features in order to improve their mechanical properties and increase the production resource of relevant tools and parts of equipment for repair shops of automobile transport in the agricultural sector.

The effect of laser processing on the near-surface microstructure of alloys was studied. It is shown which steel will have the maximum hardness as a result of laser hardening among steels 40H13, 30H13 and 20H13. As a result of the change in the chemical composition, the levels of martensitic transformation points in the liquid state zones decrease, and a significant amount of residual austenite (40-60%), characterized by a dispersed structure, remains in them. This has a positive effect on the operational characteristics of irradiated products, especially when exposed to external shock loads. The optimal level of dissolution in R6M5, 9HS and HVG steels of initial carbides to obtain the maximum possible hardness during their laser processing was determined. The value of microhardness and heat resistance of bronze as a result of its laser hardening was investigated.

Therefore, the influence of laser processing on the near-surface microstructure of alloys was investigated in order to improve their mechanical properties and increase the resource of production of appropriate tools and parts of automobile transport repair workshops equipment in the agricultural sector. It was determined that the maximum hardness is achieved in the case of hardening steel 40H13, since the carbon

content in it is the highest compared to steels 30H13 and 20H13. Also, to obtain the maximum possible hardness during laser processing of R6M5 steel, it is enough to dissolve 30% of the original carbides and 60-70% for 9HS and HVG steels. Treatment of bronze by laser hardening made it possible to achieve values of microhardness up to 700 H μ 50, and heat resistance of the layer up to 350°C. The service life of products made of these laser-hardened alloys is increased by an average of 4-5 times compared to standard heat treatment.

laser processing, laser hardening, tempering, wear resistance, microhardness

Одержано (Received) 23.01.2024

Прорецензовано (Reviewed) 11.03.2024

Прийнято до друку (Approved) 25.03.2024

УДК 621.664

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.110-117](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.110-117)

Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, **В.В. Амосов**, доц., канд. техн. наук, **Ю.В. Кулешков**, проф., д-р. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: rudenkotv@kntu.kr.ua

І.Т. Руденко, учень

Комунальний заклад «Ліцей «Європейська освіта», м. Кропивницький, Україна

Електросапа – культиватор «Мрія»

В даній статті запропоновано конструкцію універсальної електросапи – культиватора з балансувальним ведучим колесом для проведення міжрядної обробки просапних культур. Особливістю даної конструкції є те, що дана машина обладнана електричним двигуном постійного струму з вбудованим редуктором, живлення якого здійснюється за рахунок акумуляторної батареї. Також пропонується дообладнати її пристроєм, для виконання внутрішньорядного просапування.

ручний електрокультиватор, міжрядна та внутрішньорядна обробка, електросапа, ведуче колесо, електродвигун

Постановка проблеми. Боротьба з бур'янами є важливою частиною догляду за сільськогосподарськими культурами, оскільки вони не тільки конкурують з культурними рослинами за воду, поживні речовини, і світло, а також істотно впливають на врожайність. В даний час, в традиційному землеробстві, існують різноманітні методи боротьби з бур'янами, а саме [1]:

– поверхнева обробка ґрунту, використанням плугів, культиваторів та інших знарядь для поверхневого розпушування;

– мульчування, покриття ґрунту шаром мульчі (соломою, сіном чи іншими органічними матеріалами);

– використанням гербіцидів, які хімічним методом пригнічують або знищують бур'ян;

– ручне прополювання, найбільш ефективний метод видалення бур'яну, але й найбільш трудомісткий;

– посів конкурентоспроможних рослин, які ефективно конкурують з бур'янами за ресурси (світло, поживні речовини);

– біологічний контроль, використанням природніх ворогів бур'янів (комахи, гриби);

© Т.В. Руденко, В.В. Амосов, Ю.В. Кулешков, І.Т. Руденко, 2024