

УДК 621.9.048.7

О.М. Лаюк, А.М. Скляр, Д.А. Лесик, В.В. Джемелінський¹

¹ – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ВАЛУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕДАЧ СІВАЛКИ ПОВЕРХНЕВИМ ЛАЗЕРНИМ ТЕРМОЗМІЦНЕННЯМ

Вал механізму передач (редуктора) є відповідальною деталлю сівалки зернотукової СЗ-5.4, який передає навантаження вздовж своєї осі за допомогою зачеплення зубчастих коліс передачі. Однак, слід відзначити, що дані вали відносно швидко виходять із експлуатації, що призводить до витрат часу та коштів на його заміну [1,2].

Для підвищення ресурсу роботи валу механізму передач найбільш перспективними є методи поверхневого зміцнення зміною структури поверхневого шару. Традиційні термічні методи поверхневого зміцнення з різними джерелами для нагрівання і складовими середовищ для охолодження, використовуються протягом десятиліть у промислових процесах [3]. Однак, в останні роки розробляються і використовуються нові методи поверхневого термічного зміцнення та легування робочих поверхонь з використанням висококонцентрованих потоків енергії плазми, електронного та лазерного випромінювання [4-6].

Сьогодні найбільш ефективним технологічним рішенням є застосування лазерного поверхневого термозміцнення без оплавлення оброблюваної поверхні після механічної обробки та нормалізованого відпалу з використанням сучасних лазерних технологічних комплексів, зокрема високопотужного діодного лазера або волоконного/дискового лазера з сканатором. В результаті, це дозволить отримати високі якісні властивості поверхневого шару, забезпечуючи високу точність та продуктивність процесу [5-7]. Таким чином, збільшення ресурсу роботи валу механізму передач є актуальною проблемою та має велике практичне значення.

Метою даної роботи є теоретичні та експериментальні дослідження лазерного термозміцнення валу механізму передач.

Лазерне термозміцнення зразків із сталі 45 проводили на установці «Комета2». Експерименти здійснювали СО₂ лазером безперервної дії потужністю 800 Вт та швидкістю обробки 1, 2, 3 та 4 м/хв. Лазерне випромінювання фокусували в пляму діаметром 3 мм.

В даній роботі моделювання процесу поверхневого лазерного термозміцнення СО₂ лазером (гаусовий розподіл густини енергії у фокальній площині лазерного променя) було виконано за допомогою пакету програмного забезпечення «COMSOL Multiphysics 5.1».

В якості моделі використовували тривимірне рівняння теплопровідності для передбачення розподілу температури $T(x,y,z,t)$ як по глибині, так і поверхні однорідного матеріалу [8]:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

де T – температура поверхні матеріалу зразка в точці з координатами (x, y, z) в момент часу t $[0, T_k]$, ρ – густина матеріалу зразка (кг/м³), $c(T)$ – коефіцієнт теплоємності матеріалу зразка (Дж/кг°C), $\lambda(T)$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу зразка (Вт/м°C).

Результати розподілу температури на поверхні досліджуваного валу при різних режимах лазерної термообробки приведено на рис. 1.

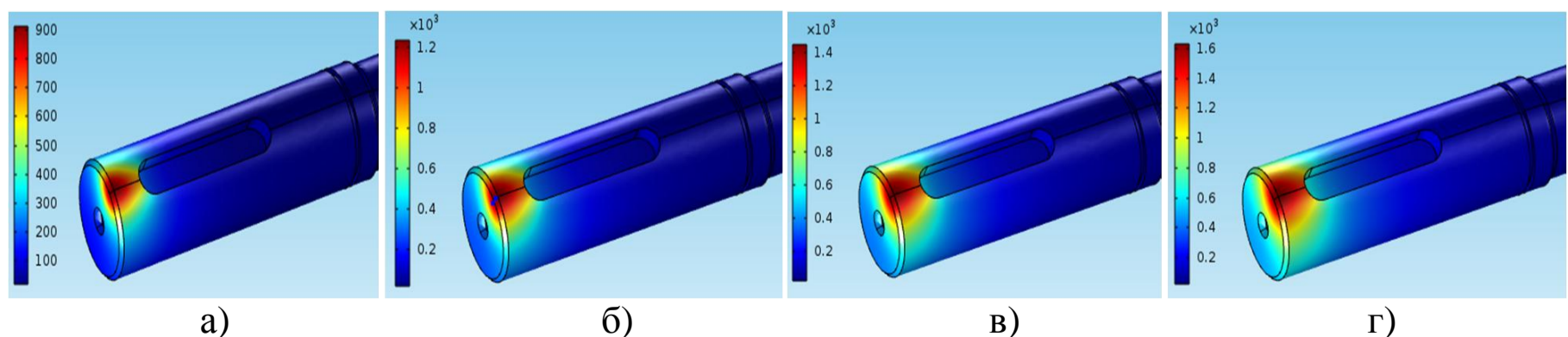


Рис. 1. Розподіл температур на поверхні валу при різних потужностях лазера:
а) $P = 600$ Вт; б) $P = 800$ Вт; в) $P = 1000$ Вт; г) $P = 1200$ Вт.

Чисельне моделювання розподілу температури на досліджуваному валу реалізовували за формулою (1) методом скінчених різниць. Умови теплообміну валу з навколишнім середовищем описували законом Ньютона. При цьому температуру навколишнього середовища та коефіцієнт теплообміну приймали постійними для усіх граничних поверхонь.

Передбачення температури на поверхні дозволило звузити діапазон оптимальних режимів лазерної термообробки конструкційних сталей. Виявлено, що процес лазерного поверхневого термозміцнення доцільно здійснювати при потужності лазерного променя в діапазоні 700...900 Вт та тривалості опромінення приблизно $45 \cdot 10^{-3}$ с (діаметрі плями нагрівання 3 мм), що дозволить забезпечити формування аустенітної структури на етапі високошвидкісного нагрівання (1000...1300 °С), а також уникнути оплавлення оброблюваного поверхневого шару ($T_{\text{п}} = 1450$ °С) для збереження мікрорельєфу поверхні (рис.2). Тобто, відсутність оплавлення мікронерівностей поверхні дозволить уникнути застосування фінішної механічної обробки після лазерної термообробки.

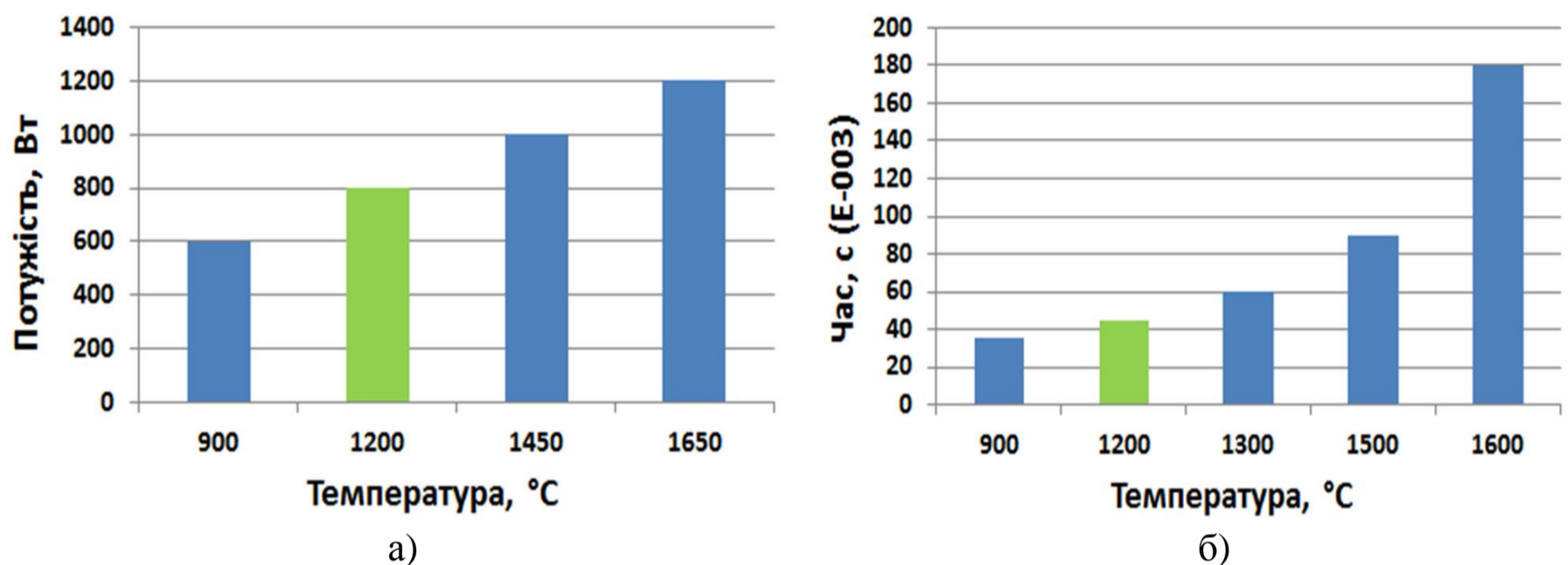
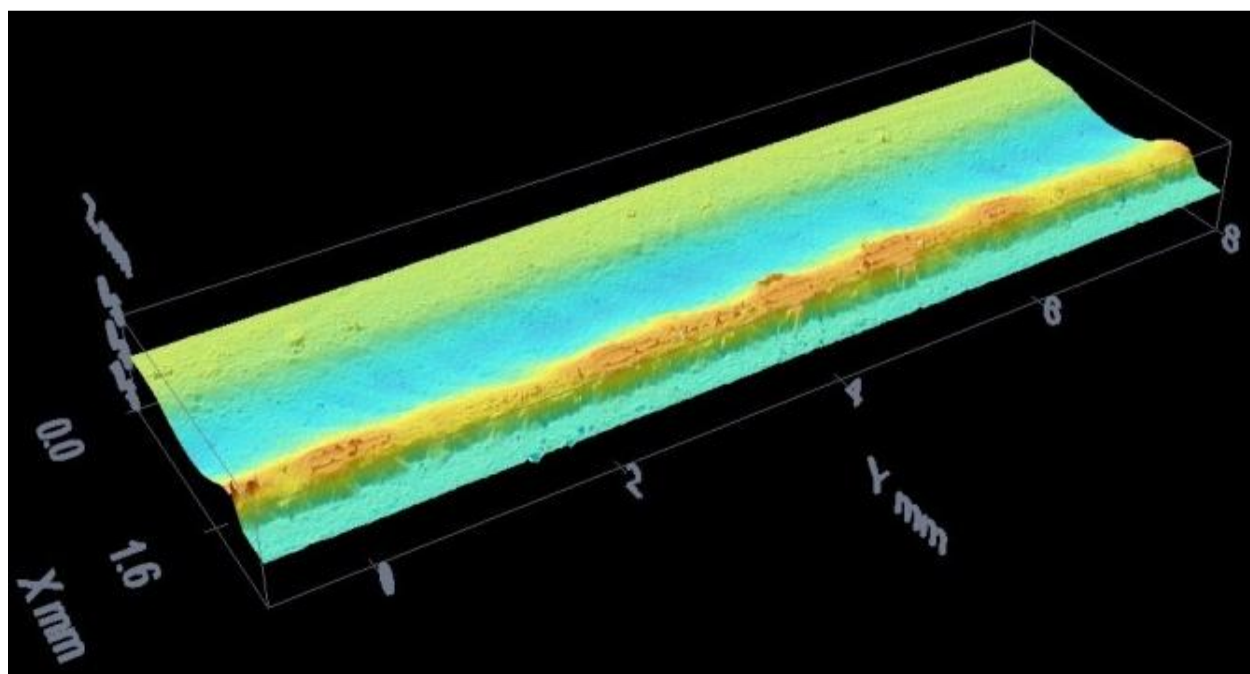


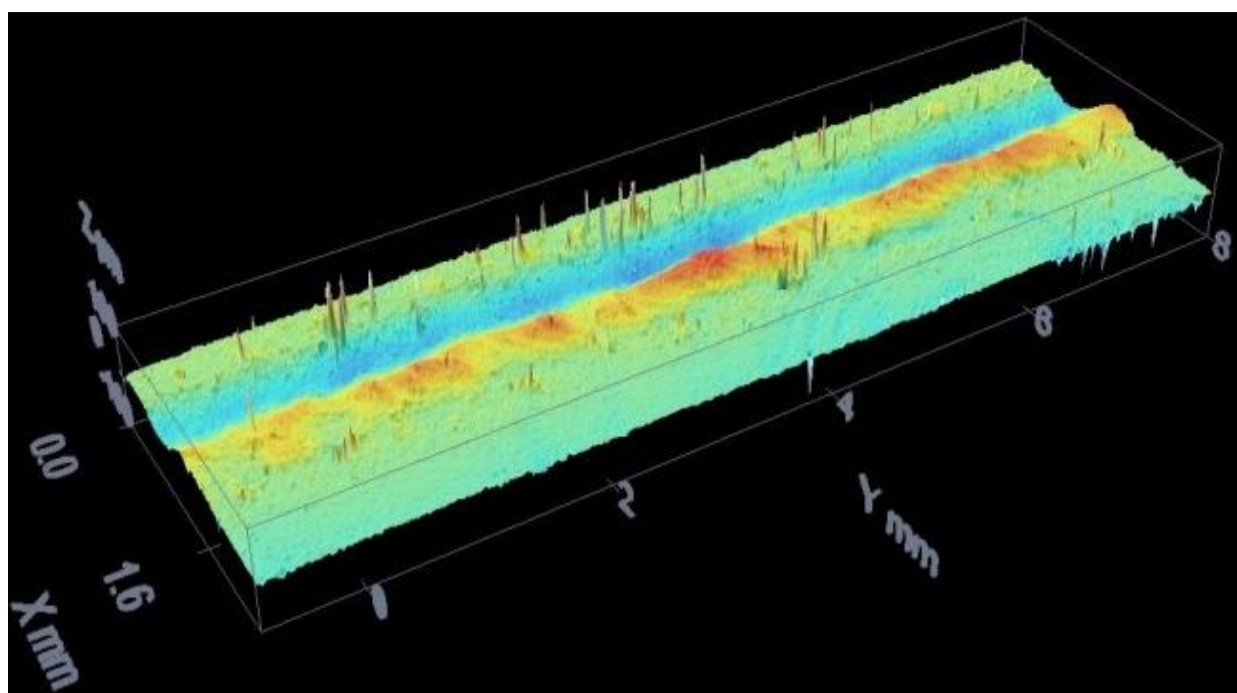
Рис. 2. Вплив потужності лазерного променя (а) та тривалості опромінення (б) на температуру поверхні.

Слід відзначити, що температура на поверхні досягає приблизно 1200 °С при потужності лазера 800 Вт, тривалості лазерного опромінення $45 \cdot 10^{-3}$ с (швидкості переміщення оброблюваної поверхні 4 м/хв).

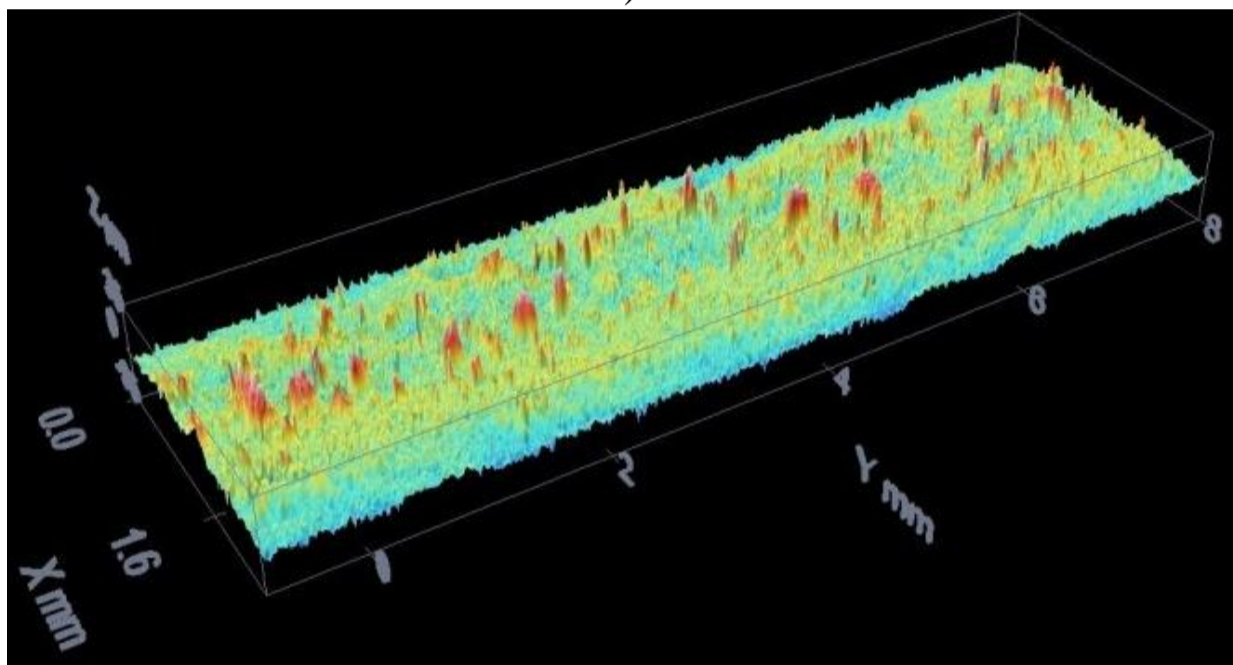
Результати експериментальних досліджень підтверджують, що при потужності лазера CO_2 800 Вт, тривалості опромінення в діапазоні $180 \dots 90 \cdot 10^{-3}$ с та діаметрі лазерного променя 3 мм спостерігається значне оплавлення поверхневого шару оброблюваної поверхні (рис.3а,б), що є не допустимих при виготовленні виробів. При цьому температура в зоні обробки досягає до 1500...1600 °С (рис.2б). При тривалості опромінення $60 \cdot 10^{-3}$ с відбувається часткове оплавлення мікронерівностей на поверхні (рис.3в).



а)



б)



в)

Рис. 3. Зміна мікрорельєфу поверхні при потужності лазера 800 Вт та тривалості опромінення $180 \cdot 10^{-3}$ с (а), $90 \cdot 10^{-3}$ с (б), та $60 \cdot 10^{-3}$ с (в).

Крім того, твердість поверхні підвищилася більше чим в два рази після лазерного гартування в порівняння з вихідним станом за рахунок формування мартенситної структури та незначної кількості залишкового аустеніту в приповерхневому шарі (рис.4). В результаті, сформована дрібнодисперсна структура підвищить зносостійкість робочих поверхонь валу редуктора.

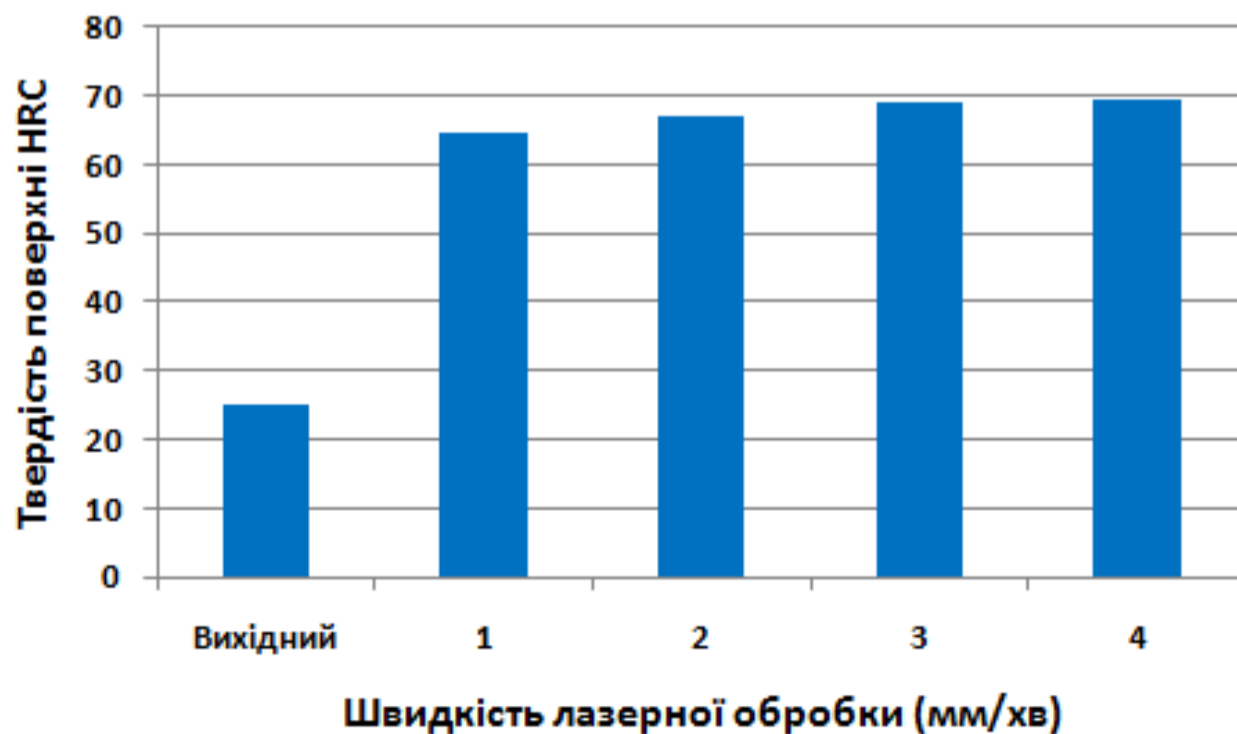


Рис. 4. Твердість поверхні при потужності лазера 800 Вт та різних швидкостях обробки.

На основі проведених аналітичних та пошукових експериментальних досліджень, а також аналізу вітчизняних та міжнародних публікацій визначено схеми (обладнання) та встановлено

діапазони оптимальних режимів лазерного термозміцнення валу CO₂, волоконним та діодним лазерами (табл.2).

Таблиця 2. Технологічні рекомендації для лазерного термозміцнення валу редуктора

Тип лазера	Режими обробки	Значення
CO ₂ лазер (зміцнення за способом підтримання постійної потужності лазера) [8,10]	Потужність лазера, кВт Швидкість обробки, мм/хв Діаметр променя, мм	0,8...1,5 1500...3500 4...8
Волоконний лазер з сканатор (зміцнення за способом підтримання постійної температури нагрівання) [9]	Температура нагрівання, °С Швидкість обробки, мм/хв Швидкість сканування, мм/с Ширина сканування, мм Діаметр променя, мм	1200...1300 70...100 1000 10 10x1
Діодний лазер (зміцнення за способом підтримання постійної потужності лазера) [5]	Потужність лазера, кВт Швидкість обробки, мм/хв Діаметр променя, мм	1,4...1,8 900...1500 12x1

ВИСНОВКИ:

1. Встановлено, що процес лазерного термозміцнення валу механізму передач доцільно здійснювати при потужності лазерного променя в діапазоні 700...900 Вт та тривалості опромінення приблизно $45 \cdot 10^{-3}$ с (діаметрі лазерного променя 3 мм), що дозволить уникнути оплавлення оброблюваної поверхні.

2. Розроблено технологічні рекомендації для лазерного термозміцнення валу редуктора CO₂, волоконним та діодним лазерами, які дозволять підвищити ресурс роботи валу механізму передач сівалки СЗ-5.4.

Список використаних джерел

1. Ковальчук Ю. О. Застосування лазерного зміцнення сталі 65 Г для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь / Ю. О. Ковальчук, В. В. Дідур. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – №25(1). – С. 74–80.
2. Бирюков В. П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением / В. П. Бирюков. // Фотоника. – 2009. – №3. – С. 256–264.
3. Poprawe R. Laser Application Technology / R. Poprawe // Tailored Light 2 / R. Poprawe. – Heidelberg, 2011. – (Springer-Verlag Berlin). – С. 173–241.
4. Wagiman, A., Wahab, M.S., Mohid, Z.: Effect of heat treatment parameters in plasma arc surface hardening of AISI 4340 steel / A. Wagiman, M. S. Wahab, Z. Mohid. // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 699. – С. 105–110.
5. Santhanakrishnan S. Hardness prediction in multi-pass direct diode laser heat treatment by on-line surface temperature monitoring / S. Santhanakrishnan, R. Kovacevic. // Journal of Materials Processing Technology. – 2012. – Vol. 212. – С. 2261–2271.
6. Laser transformation hardening effect on hardening zone features and surface hardness of tool steel AISI D2 / [D. A. Lesyk, V. V. Dzhemelinskyi, S. Martinez, etc.]. // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – №1(79). – С. 26–33.
7. Лесик Д. А. Особливості формування мікрорельєфу та мікротвердості термічно зміцнених зон сканувальним лазерним променем / Д. А. Лесик, В. В. Джемелінський. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – 2015. – №1(73). – С. 100–106.
8. Головка Л. Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Під ред. Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненко. – К.: Вістка, 2009. – 296 с.
9. Визначення оптимальних режимів комбінованого лазерно-ультразвукового зміцнення інструментальної сталі X12МФ / [Д. А. Лесик, В. В. Джемелінський, Б. М. Мордюк та ін.]. // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2017. – №23(1245). – С. 27–35.
10. An efficient model for laser surface hardening of hypo-eutectoid steels / [L. Onazi, A. Fortunato, G. Cuccolini, etc.]. // Applied Surface Science. – 2010. – Vol. 256. – С. 1913–1919.