

ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛІ 45 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Ю.О. Ковальчук, кандидат технічних наук
Уманський національний університет садівництва

Розглянуто особливості формування мікроструктури в зоні лазерного впливу для сталі 45 у результаті застосування методу поверхневої лазерної обробки, властивості даної сталі після лазерного зміцнення залежно від різних факторів, що призводить до значного підвищення зносостійкості різних деталей сільськогосподарської техніки.

Ключові слова: метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, деталі сільськогосподарської техніки, сталь 45, зносостійкість.

Постановка проблеми. Проблема збільшення ресурсу виробітку різних деталей сільськогосподарської техніки нині не втрачає своєї актуальності. Забезпечення вищої міцності деталей, які найбільше піддаються зносу та виходять з ладу, є одним із першочергових завдань, що стоять перед виробниками сільськогосподарських машин.

Одним із методів зміцнення виробів із сталі є метод поверхневої лазерної обробки, що може застосовуватися також і для різноманітних деталей сільськогосподарської техніки.

Багато деталей сільськогосподарської техніки, до яких висуваються відповідні вимоги щодо міцності та зносостійкості, виготовляються зі сталі 45. До них належать різноманітні деталі тракторів, комбайнів, засобів механізації тваринництва та інших сільськогосподарських машин, такі як колінчаті, розподільчі та шліцеві вали, складові кривошипно-шатунного механізму, шестерні, зубчаті колеса, зірочки, плунжери тощо.

Тому аналіз впливу методу поверхневої лазерної обробки на властивості сталі 45 з метою збільшення ресурсу виробітку відповідних деталей сільськогосподарської техніки є актуальним та важливим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. До публікацій останніх років на тему впливу методу поверхневої лазерної

обробки на властивості матеріалів можна віднести праці таких науковців та вчених, як В.П. Вейко, О.Г. Григор'янц, О.І. Дудка, М.В. Кіндрачук, В.С. Коваленко, В.С. Черненко, І.М. Шиганов та інших, які детально займалися питаннями впливу лазерного випромінювання на поверхню сталевих зразків у різних випадках та для різних матеріалів [1-4]. Останні дослідження лазерного зміцнення різних деталей сільськогосподарської техніки наводилися у наукових працях В.П. Бірюкова, В.М. Бобрицького, І.Ф. Буханової, О.Й. Мажейка, Т.С. Скобло та інших [5-10].

Мета роботи – проаналізувати вплив лазерної поверхневої обробки на сталь 45, властивості даної сталі після лазерного зміцнення з метою збільшення ресурсу виробітку відповідних деталей сільськогосподарської техніки.

Основний матеріал. Для детального аналізу впливу потужного лазерного випромінювання на поверхню сталі 45 потрібно мати чіткі уявлення про всі ті внутрішні процеси, що при цьому відбуваються.

Тому розглянемо особливості формування мікроструктури у зоні лазерного впливу (ЗЛВ) для сталі 45 [1, с. 261–263]. У процесі лазерного термозміцнення даної сталі ступінь завершеності аустенітизації визначається максимальними температурами, до яких нагріваються ті чи інші зони, швидкостями нагрівання й охолодження, а також часом перебування при температурах вище A_{c1} . У верхніх шарах, нагрітих до температур плавлення й біля солідусних температур (зона оплавлення та верхня частина зони термічного впливу (ЗТВ)), відбувається повне перетворення надлишкового фериту в аустеніт і повне насичення колишніх феритних ділянок вуглецем. При цьому в процесі охолодження утворюється дрібнодисперсний мартенсит з рельєфними границями між пластинами, а в деяких випадках – з невеликою кількістю бейніту.

У нижніх шарах, нагрітих до більш низьких температур, насичення вуглецем колишніх феритних ділянок відбутися не встигає. Це призводить до зниження стійкості аустеніту, збільшення критичної швидкості охолодження, а при порівняно

невисоких швидкостях охолодження металу цієї зони – утворення трооститної, трооститоферитної або феритної сіток.

При різних швидкостях обробки спостерігається деяка відмінність у формуванні термозміцненої зони. Здебільшого це стосується зони гартування із твердого стану.

У випадку високої швидкості обробки дифузійний перерозподіл вуглецю між надлишковим феритом і перлітними колоніями вповільнюється. У результаті цього мартенсит, що утворюється на місці перлітних колоній, може мати концентрацію вуглецю, близьку до евтектоїдної. Частина цементитних пластин у перліті залишається нерозчиненою; біля них у збагачених вуглецем ділянках утворюється мартенсит і деяка кількість аустеніту, а в центральній частині, де твердий розчин мало насичений вуглецем, – низьковуглецевий мартенсит.

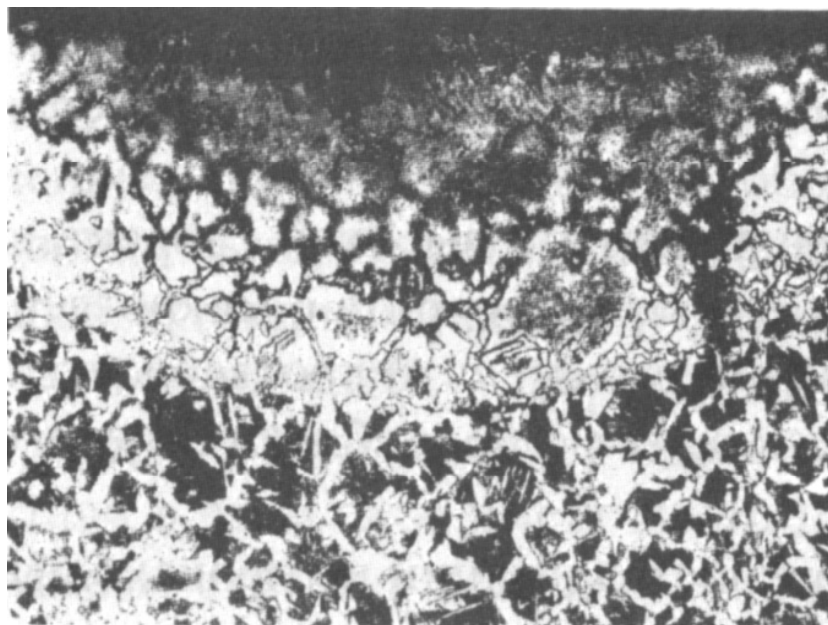


Рис.1. Загальний вигляд ЗЛВ нормалізованої сталі 45

Загальний вид ЗЛВ нормалізованої сталі 45 показано на рис. 1. При режимах з високими швидкостями охолодження в зоні опалення та у верхній частині ЗТВ нормалізованої сталі 45 утворюється дрібнодисперсний мартенсит з рельєфними границями між пластинами (рис. 2, а та б). Очевидно, це рейковий мартенсит, можливо, з деякою кількістю бейніту. Мікротвердість зони опалення коливається в межах від 7000

до 8500 МПа, причому більш високі її значення спостерігаються в нижній частині зони, що можна пояснити більшою швидкістю охолодження. Зі збільшенням глибини ЗТВ неоднорідність структури зростає: спочатку утворюється мартенситотроостит (див. рис. 2, б), а потім – мартенсит і трооститна сітка, що переходить у трооститоферитну (рис. 2, в) і на границі з вихідною структурою – у феритну (рис. 2, г).

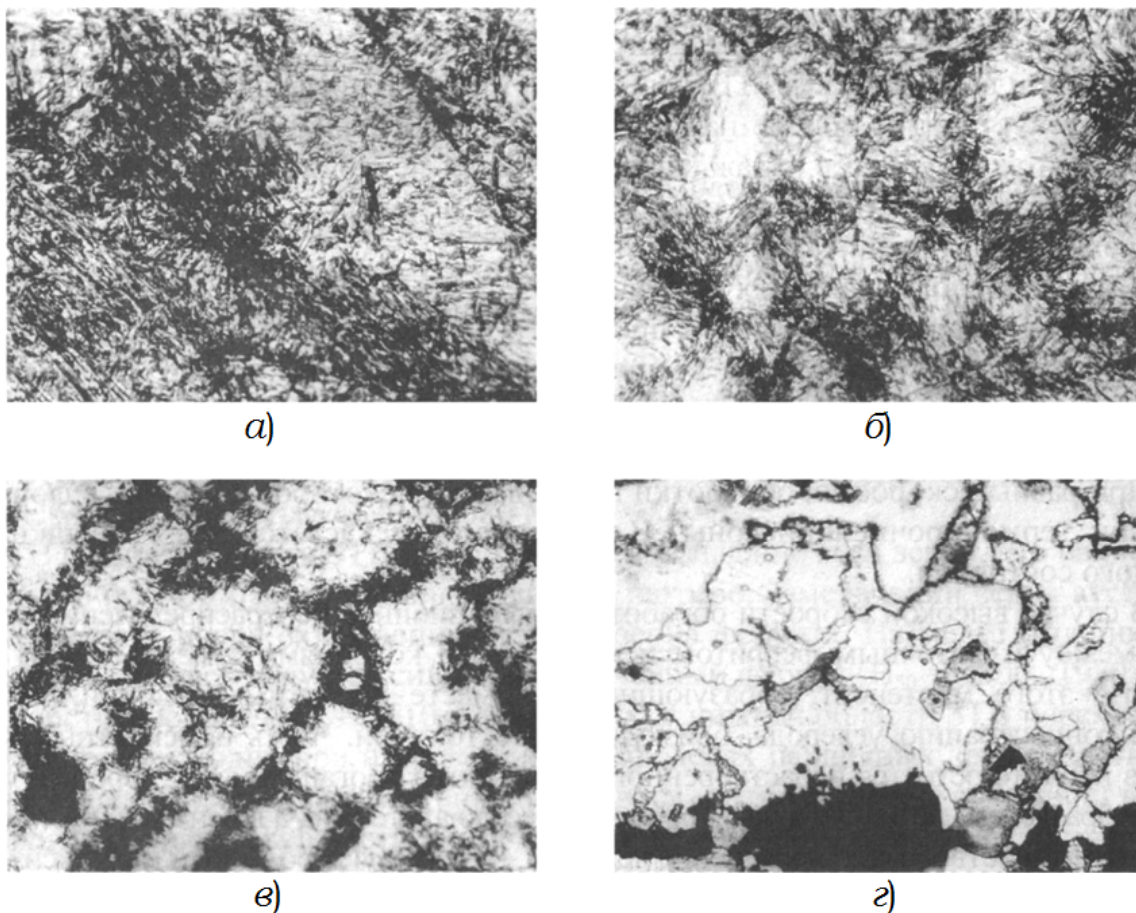


Рис.2. Мікроструктура різних шарів ЗТВ нормалізованої сталі 45 (x400): а – зона оплавлення; б – верхня частина ЗТВ; в – середина ЗТВ; г – нижня частина ЗТВ

При малій швидкості обробки під зоною оплавлення у верхній частині ЗТВ утворюється вузький шар однорідного мартенситу. У цьому шарі, нагрітому до високої температури, відбувається повне перетворення надлишкового фериту в аустеніт та повне насичення цих ділянок вуглецем. На більшій частині ЗТВ формується відносно однорідна мартенситна структура. Для нормалізованої сталі 45 у верхніх шарах ЗТВ із

мікротвердістю $H50 = 7300 \pm 200$ МПа довжина пластин мартенситу більша, ніж у середніх. У середині ЗТВ мікротвердість знижується до 5320 МПа, що може бути обумовлено наявністю трооститу. У нижній частині ЗТВ існує область, у якій поруч із мартенситом є сітки трооститу, трооститофериту та фериту. Мікротвердість мартенситу в області трооститної сітки $H50 = 7520$ МПа, а в області феритної – 6440 МПа. Це свідчить про меншу насиченість твердого розчину при аустенізації.

При виборі режимів лазерної обробки сталі 45 необхідно враховувати зазначені закономірності формування структури ЗЛВ.

Оскільки після гартування сталі твердість мартенситу різко зростає, то для реалізації цього процесу доцільно використовувати безперервне лазерне випромінювання та здійснювати зміцнення при невисоких швидкостях.

Слід враховувати, що при лазерній обробці нормалізованої або відпаленої сталі без оплавлення з підвищеними швидкостями або при імпульсному гартуванні область однорідного мартенситу відсутня і трооститоферитна сітка навколо мартенситу може досягати поверхні зразка, що призводить до зниження загальної твердості ЗЛВ.

Необхідно мати на увазі, що при лазерному гартуванні сталі після її поліпшення, тобто після гартування та високого відпуску, область однорідного мартенситу збільшується.

У процесі застосування поверхневого лазерного зміцнення з оплавленням поверхні твердість двох перших шарів зони нагріву сталі збільшується з ростом вмісту вуглецю в сталі (рис. 3) [2, с. 91]. Причиною цього є збільшення ступеня тетрагональності мартенситу в сталі 45 щодо сталі 20.

Відомо, що під час лазерного зміцнення деталей сільськогосподарської техніки важливим фактором впливу на їх ресурс виробітку є глибина зміцненого шару, яка залежить від параметрів поверхневої лазерної обробки, нанесених на зміцнювану поверхню поглинаючих покриттів тощо. Зокрема, глибина ЗЛВ зростає при збільшенні потужності лазерного випромінювання під час зміцнення сталі 45 (рис. 4) [1, с. 300].

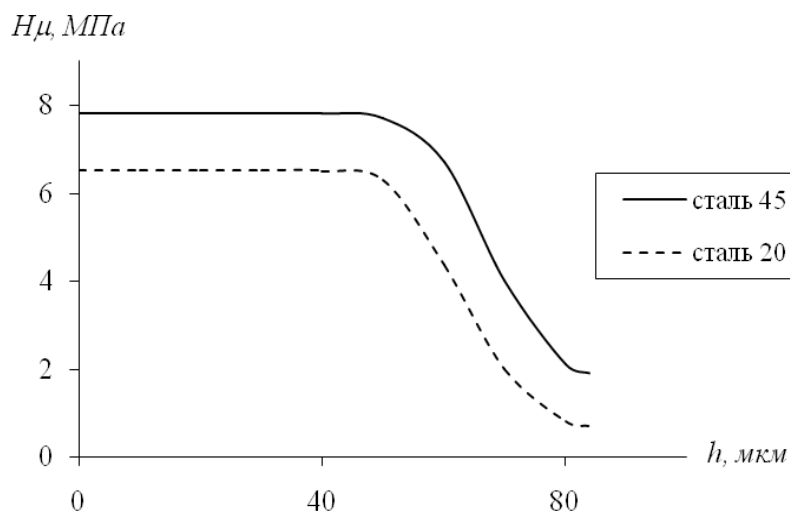


Рис.3. Твердість зон нагріву на вуглецевих сталях

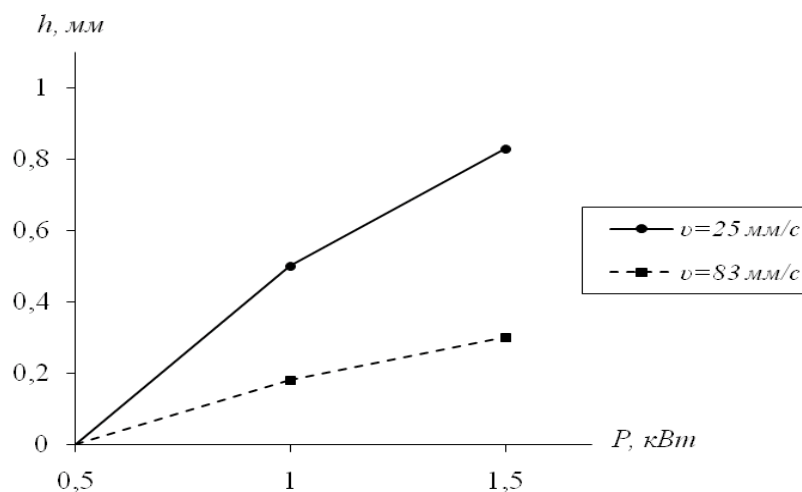


Рис.4. Залежність глибини ЗЛВ сталі 45 від потужності лазерного випромінювання

Значення глибини ЗЛВ на полірованому зразку зі сталі 45 при використанні різних поглинаючих покриттів зображені на рис. 5 [1, с. 90]. Слід зазначити, що ефективність застосування поглинаючих покриттів та в цілому лазерного зміцнення залежить також від швидкості обробки, що визначає час впливу лазерного випромінювання та температуру відповідної поверхні. При збільшенні швидкості лазерної обробки ($v > 6$ мм/с) оплавлення поверхні дослідного зразка не відбувається. Найкращі результати мають місце у випадку застосування покриттів, що містять оксиди алюмінію та цинку, а також сажу у вигляді аерозолі (криві 1-4). При цьому відбувається значне збільшення глибини ЗЛВ.

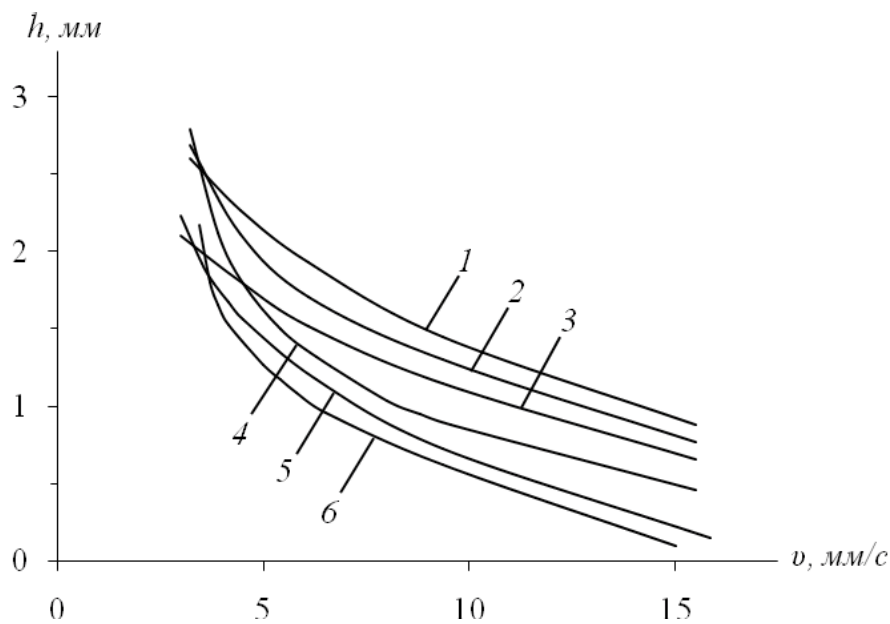


Рис.5. Зміна глибини ЗЛВ на полірованій сталі 45 при дослідженні різних поглинаючих покриттів ($E \cong 20 \text{ МВт/м}^2$): 1 – аерозольна сажа; 2 – Al_2O_3 з органічним сполучником; 3 – водяний розчин ZnO ; 4 – ZnO з органічним сполучником; 5 – водяний розчин сажі; 6 – розчин графіту в ацетоні

Також лазерне гартування сталі 45 при використанні даних поглинаючих покриттів може успішно використовуватися і при вищих швидкостях обробки, але при цьому відбувається значне зменшення глибини зміцненого шару (рис. 6) [1, с. 298].

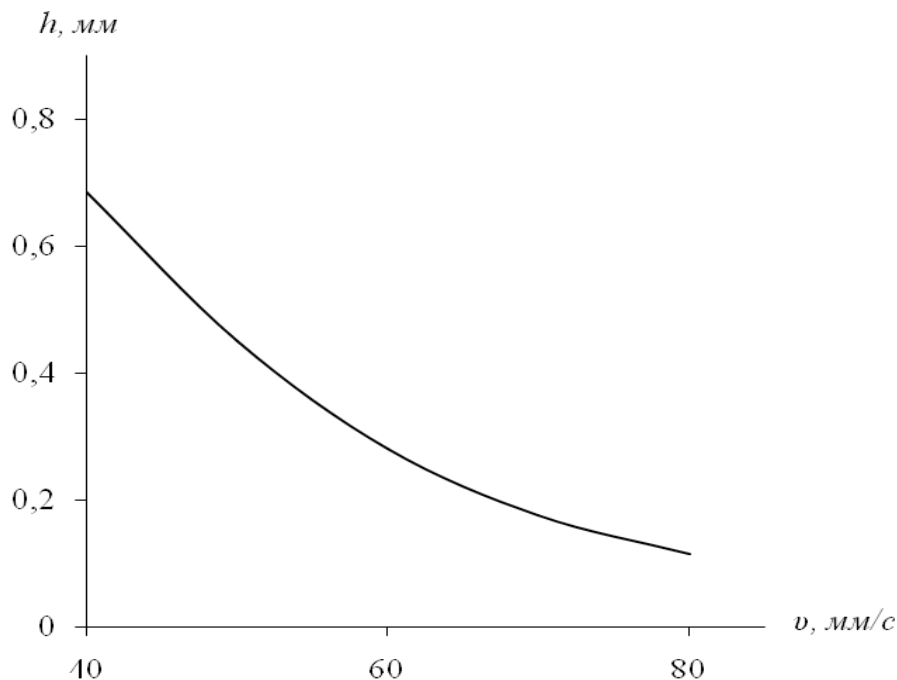


Рис.6. Залежність глибини ЗЛВ сталі 45 від швидкості обробки ($P = 3,1 \text{ кВт}$, поглинаюче покриття – аерозольна сажа)

Безумовно, розглянуті вище приклади лазерного гартування сталі 45 при використанні різних поглинаючих покриттів не охоплюють всіх можливих випадків. Питання розроблення нових, більш ефективних, дешевих та технологічних покриттів для лазерної поверхневої обробки сталі не можна вважати вирішеним, необхідно й надалі продовжувати дослідження в даному напрямку.

Для вибору режиму обробки методом поверхневого лазерного впливу використовується вуглецевий еквівалент, який впливає на мікротвердість оброблюваного зразка та визначається залежно від масової частки в ньому таких елементів, як С, Мп, Si, Ni, Cr, Мо [4, с. 88].

Використання лазерного гартування дозволяє також підвищити зносостійкість пар тертя сільськогосподарської техніки, що працюють як в умовах сухого тертя, так і в абразивно-масляному середовищі [1, с. 302–304]. Зменшення зношування деталей після лазерного гартування обумовлено рядом факторів: великою твердістю поверхні, високою дисперсністю структури, збільшеними несучими властивостями поверхні, зменшеним коефіцієнтом тертя тощо. Поряд із цим на зносостійкість 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 при роботі пар тертя.

В умовах тертя ковзання сталі 45, загартованої лазерним безперервним випромінюванням без оплавлення, по загартованій і низьковідпущеній сталі ШХ15 зношування й коефіцієнт тертя суттєво знижуються в порівнянні зі звичайним гартуванням сталі 45. Також після застосування методу поверхневої лазерної обробки різко зменшується час припрацювання пар тертя (рис. 7).

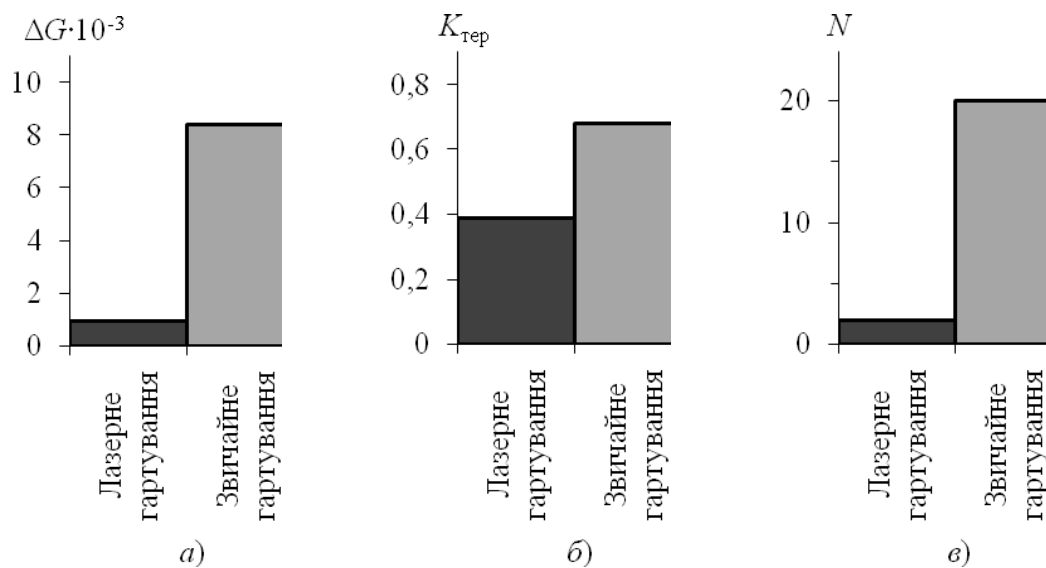


Рис.7. Порівняння відносного зносу (а), коефіцієнту тертя (б) та числа циклів до припрацювання пар тертя (в) для звичайного та лазерного гартування сталі 45 ($P=1$ кВт, $u=25$ мм/с)

Зносостійкість в умовах тертя зі змащенням також підвищується в порівнянні з іншими видами термозміцнення. Після лазерного гартування сталі 45 інтенсивність зносу в 2-3 рази менша, ніж після нормалізації та на 7...37% менша, ніж після гартування струмами високої частоти (рис.8).

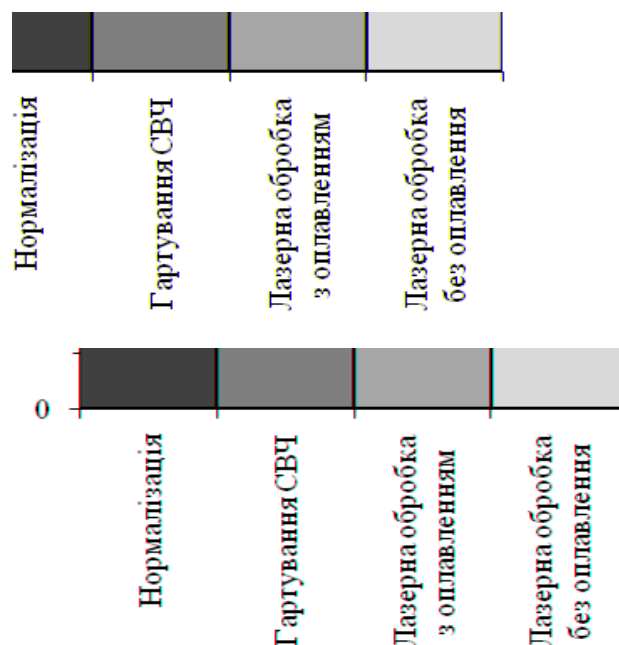


Рис. 8. Інтенсивність зносу сталі 45 в умовах тертя зі змащенням (контактний тиск – 10 МПа, число циклів випробування – $2,1 \cdot 10^5$)

При переході від обробки з оплавленням поверхні до обробки без оплавлення інтенсивність зношування різко зменшується.

Висновки. Отже, сталь 45, що використовується вітчизняними виробниками деталей сільськогосподарських машин, може вже зараз успішно піддаватися лазерному зміцненню на виробництві, що забезпечить значне підвищення їх зносостійкості та міцності. Також існує потреба у подальших широкомасштабних дослідженнях з метою розроблення широкої номенклатури конкретних технологій лазерного зміцнення різних деталей сільськогосподарської техніки.

Література:

1. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. ; под ред. А. Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 664 с.
2. Черненко В. С. Променеві методи обробки : навч. посібник / Черненко В. С., Кіндрачук М. В., Дудка О. І. — К. : Кондор, 2008. — 166 с.
3. Вейко В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Введение в лазерные технологии / В. П. Вейко, А. А. Петров. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2009. — 143 с.
4. Упрочнение деталей лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, Г. В. Меркулов, А. И. Стрижак ; под ред. В. С. Коваленко. — К. : Техника, 1981. — 131 с.
5. Бирюков В. П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой / В. П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : тематический сборник. — М. : Техносфера, 2008. — С. 256—264.
6. Буханова И. Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения / И. Ф. Буханова, В. В. Дивинский, В. М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : тематический сборник. — М. : Техносфера, 2008. — С. 264—270.
7. Мажейка О. Й. Модифікування технології лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки / Мажейка О. Й // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — Кіровоград : КНТУ, 2008. — Вип. 21. — С. 164—167.
8. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В. М. Бобрицький. — К., 2007. — 20 с.
9. Бирюков В. П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением / Бирюков В. П. // Фотоника. — 2009. — № 3. — С. 14—16.
10. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, А. В. Сайчук, В. Л. Манило // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки». — 2011. — № 30. — С. 257—265.