

УДК 621.891

*О. Й. Мажейка, канд. техн. наук, проф.,  
С. І. Маркович, канд. техн. наук, доц.*

## **ОЦІНЮВАННЯ ТРИБОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЛАЗЕРНОЮ ТЕРМОДЕФОРМАЦІЙНОЮ ОБРОБКОЮ**

Кіровоградський національний технічний університет.

*Визначено область оптимальних параметрів лазерної термодеформаційної обробки легованих сталей перлітового класу, за яких досягаються максимальна мікротвердість і зносостійкість матеріалу. Досліджено триботехнічні характеристики зміцнених сталей залежно від співвідношень параметрів обробки і поєднання пар тертя.*

**Постановка проблеми.** Сучасні вимоги науково-технічного прогресу до створення конструкційних матеріалів із заданими гарантованими властивостями визначають напрями розвитку як теоретичних уявлень, так і методології технологічних розробок, що забезпечують реалізацію нано- і мікроструктурних перетворень і зумовлених ними нових властивостей.

Підвищення довговічності і надійності деталей машин за допомогою сучасних методів модифікування конструкційних матеріалів – одна з основних проблем машинобудування. Особливе місце в цій проблемі займають вузли тертя. Пов'язано це з тим, що 85–90% машин не досягають необхідного ресурсу через зношування поверхонь з'єднаних деталей. Витрати на ремонт і технічне обслуговування виробів машинобудування у декілька разів перевищують їх вартість.

Лазерна термодеформаційна обробка (ЛТДО) складається з процесу обробки поверхні лазерним променем і пластичної деформації. Лазерна термодеформаційна обробка є одним з ефективних способів поверхневого модифікування, що підвищує твердість поверхневих шарів, зносостійкість, втомну, корозійну стійкість і задиристійкість поверхонь деталей машин. Тому вона набула найбільшого поширення в тих випадках, коли основною причиною руйнування деталей є сила тертя [1–3].

Опір зношуванню металевих матеріалів є структурно-чутливою характеристикою [4–6]. Для технологічного забезпечення процесу формування зносостійкої структури способом ЛТДО необхідною умовою є знання закономірностей, що описують взаємозв'язки початкової структури поверхневого шару і структури, отриманої в зоні деформації в умовах тертя, з триботехнічними характеристиками сполучення. Тому актуальним і перспективним напрямом розвитку і вдосконалення технології ЛТДО є трибологічний підхід до оцінювання якості зміцненого шару і розроблення структурних критеріїв зносостійкості поверхневих шарів для підвищення працездатності конструкційних матеріалів в умовах тертя і зношування.

**Мета дослідження:** Розроблення узагальненого параметра структури і властивостей зміцненого шару для підвищення триботехнічних характеристик конструкційних сталей після лазерної термомодеформаційної обробки.

**Методика досліджень.** Досліджували леговані сталі перлітового класу 40Х, 25ХГТ. Матеріали піддавали лазерній обробці на лазерній установці «Комета-2» (1,0–1,2 кВт,  $V_{\text{обр}} = 0,8\text{--}1,1$  м/хв). Поверхнєве пластичне зміцнення проводили на трироликовому пристосуванні зі зміною навантаження від 50 до 120 кН.

Структуру і властивості зміцнених шарів вивчали на основі використання трибологічного методу оцінки якості поверхневих шарів. В основу методу покладено оцінювання мікроскопічних критеріїв матеріалу приповерхневого мікрооб'єму і макроскопічних критеріїв пари тертя в цілому: рівень поверхневого руйнування (зносостійкість), допустимий тиск (стійкість до заїдання), оцінювання коефіцієнта тертя. В сукупності ці критерії характеризують якість поверхневого шару з позицій трибології.

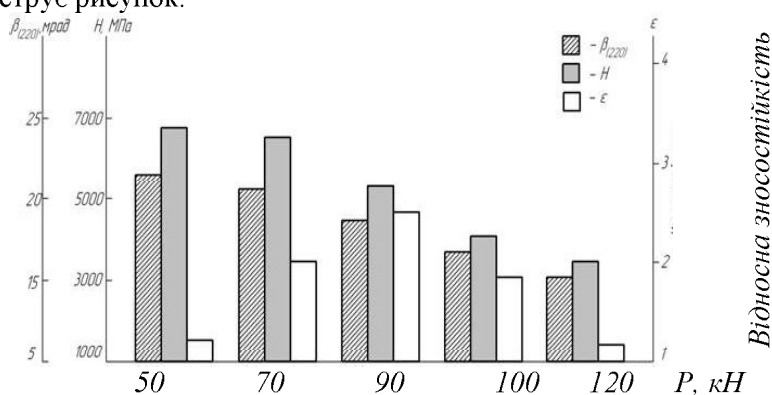
Для оцінювання мікроскопічних критеріїв застосовували металографічний рентгеноструктурний методи. Металографічні дослідження проводили на світловому мікроскопі Neophot-21. Характеристики структури зміцненого шару в початковому до тертя стані оцінювали на дифрактометрі ДРОН-4С.

ДюрOMETричний аналіз проводили за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 за ГОСТ 9450–60 за навантаження 1Н.

Властивості проти зносу матеріалів досліджували на машині тертя типу СМЦ-2 за схемою «ролик-ролик» за контактного тиску 740 МПа, сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma} = 3,5$  м/с і відносної шви-

дкості проковзування  $V_{\text{прок.}} = 0,7$  м/с. Випробування в умовах тертя ковзання плоских поверхонь проводили на машині тертя МТ-8 зі зворотно-поступальним рухом зразків за середньої швидкості ковзання 0,19 м/с і тиску до 40 МПа.

**Результати досліджень.** Зміну фізичного розширення рентгенівських ліній  $\beta_{(220)}$ , твердості HV і зносостійкості  $\epsilon$  сплавів з перлітовою основою, зміцнених за різного ступеня зміцнення ЛТДО, ілюструє рисунок.



Вплив зусилля деформації  $P$  на мікротвердість  $H$ , фізичне розширення рентгенівських ліній  $\alpha$ -фази  $\beta_{(220)}$  і відносну зносостійкість  $\epsilon$  сталі 40X

Видно, що зі зменшенням твердості і  $\beta_{(220)}$  відносна зносостійкість збільшується. На кривій залежності зносостійкості від температури деформації існує максимум для сталі 40X, що відповідає 90 кН.

Вивчали взаємозв'язок придатності зміцнених сталей до деформаційного зміцнення і їх зносостійкості. Результати експериментальної оцінки приросту мікротвердості HV, фізичного розширення рентгенівських ліній матриці  $\beta_{(220)}$  у результаті деформаційної обробки конструкційної сталі 40X і її відносної зносостійкості  $\epsilon$  за різних зусиль деформації наведено в табл. 1. Для сталі 25ХГТ отримано подібні результати.

Проведені експерименти показали, що існує прямий зв'язок між ефектом деформаційного зміцнення конструкційних сталей, ступенем когерентності зміцнювальної фази і максимальною зносостійкістю.

Отже, придатність поверхневого шару до деформаційного зміцнення, яка оцінюється величиною  $\beta_{(220)}$ , може служити одним з критеріїв зносостійкості зміцнених сталей.

Трибологічними дослідженнями встановлено, що існує зв'язок початкового структурного стану із структурою тертя, яка визначає працездатність матеріалів вузла тертя.

Таблиця 1

**Вплив лазерної комбінованої обробки на властивості сталі 40X**

Зусилля деформації, кН	Твердість HV, МПа	Фізичне розширення рентгенівських ліній $\beta_{(220)}$ мрад	Відносна зносостійкість $\varepsilon$
50	500	2,5	1,5
70	550	4,0	1,7
90	1600	8,0	2,5
120	2500	11,0	4,5

Результати триботехнічних випробувань різних конструкційних матеріалів у парі зі сталлю 25ХГТ, зміцненою за оптимальною технологією.

Для експериментального виявлення сукупності основних триботехнічних характеристик пари тертя зі зміцненим зразком були проведені випробування зміцненої сталі 25ХГТ з оптимальними характеристиками структурного стану за такими конструкційними матеріалами, які застосовуються у вузлах тертя: кольоровим антифрикційним сплавом – бронзою Бр ОФ10-1 і Бр О5Ц5С5; сталями 20Х і ШХ15; сірим чавуном Сч21 без спеціальної обробки і схильним до ізотермічного гартування.

Оцінювали показники основних триботехнічних властивостей конструкційних матеріалів: зносостійкість, задиростійкість і фрикційність [5]. Основні експериментальні результати наведено в табл.2.

З наведених даних виходить, що антифрикційна бронза БрОФ10-1 і Бр О5Ц5С5 працездатні зі зміцненою сталлю порівняно в невеликому діапазоні навантажень: допустимий тиск на пари становить 15 і 10 МПа відповідно. Незважаючи на низькі рівні поверхневого руйнування зразків і малі значення коефіцієнтів тертя, внутрішні резерви високої працездатності зміцненої сталі не використовуються. Необхідна довговічність за тиску понад 10 МПа не досягається, оскільки з підвищенням тиску інтенсивно руйнується зв'язаний мідний сплав.

Випробування в умовах тертя зміцненої сталі 25ХГТ по загартованій сталі ШХ15 показали високі характеристики стійкості до заїдання ( $P_d = 40$  МПа,  $P_{кр} = 40$  МПа) за досить низьких значень інтенсив-

вності лінійного зношування і коефіцієнта тертя. Високі характеристики стійкості до заїдання мають пари, які складаються зі зміцненої сталі 25ХГТ і сірого чавуну Сч21. Проте вони поступаються сталевій парі 25ХГТ – ШХ15 за значеннями інтенсивності зношування при граничнодопустимих значеннях і відповідно довговічності.

Таблиця 2

**Триботехнічні характеристики пар сталь 25ХГТ – промисловий сплав**

Промисловий сплав	Змащувальний матеріал	Показники зносостійкості $I_{Scp} \cdot 10^9$	Стійкість до заїдання		Коефіцієнт тертя
			$P_{дл}$ МПа	$P_{кр}$ МПа	
Бр ОФ10–1	Солідол	0,65	15	15	0,09
Бр О5Ц5С5	Солідол	0,49	10	20	0,05
Сталь 20Х (цементація)	Солідол	0,41	10	20	0,10
Сталь ШХ15	Масло І–30а	0,35	40	40	0,08
Чавун Сч21	Масло І–30а	0,36	40	40	0,05
Чавун Сч21 (ізотермічне гарування)	Солідол	0,81	40	40	0,10

За будь-яких поєднань конструкційних і змащувальних матеріалів сумарна інтенсивність зношування за допустимого тиску перебуває в межах структурного параметра, що відповідає оптимальній технології ЛТДО.

Таким чином, показники триботехнічних властивостей (зносостійкість, стійкість до заїдання і фрикційність) пар тертя, у яких одним елементом є зміцнена сталь 25ХГТ, а другим – поширена у вузлах тертя бронза, сталі і чавуни, свідчать, що застосування ЛТДО для підвищення зносостійкості, надійності і довговічності сполучень має великі перспективи. У всіх досліджених парах зміцнена сталь виявляється найбільш працездатною. При цьому для забезпечення необхідної довговічності сполучень, окрім оптимізації структурного стану зміцненого поверхневого шару сталі, необхідний експериментально обґрунтований вибір матеріалу зв'язаного зразка.

**Висновки:** Визначено область оптимальних параметрів лазерної термодіформаційної обробки сталі 40Х, за яких досягаються максимальна мікротвердість і зносостійкість матеріалу. Установлено триботехнічні характеристики пар тертя: зміцнено сталь після ЛТДО 25ХГТ – промисловий сплав (бронза, сталі, чавуни). Показано, що застосування ЛТДО з оптимальними параметрами структури і властивостей для підвищення зносостійкості, надійності та довговіч-

ності сполучень має великі перспективи. У всіх досліджених парах зміцнена сталь виявляється найбільш працездатною.

#### Список літератури

1. *Мажейка А.И.* Лазерне термомодеформаційне зміцнення деталей сільськогосподарських машин / А.И. Мажейка, О.Б.Чайковський, Аль-Шара М.М., А.М.Лутай // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальний міжвідомчий наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – Вип. 36. – С.140–146.

2. *Поверхностная* прочность металлов при трении. /Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.Г.Караулов и др., под общ. ред. Б.И. Костецкого. –К.: Техніка, 1976. – 292 с.

3. *Попов Л.Е.* Пластическая деформация сплавов. / Л.Е.Попов, В.С.Кобытев, Т.А.Ковалевская – М.: Металлургия, 1984. – 182 с.

4. *Кристаллография*, рентгенография и электронная микроскопия/ Я.С.Уманский, Ю.А.Скаков, А.Н.Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.

5. *Мажейка О.Й.* Математичне моделювання процесу зношування вузла тертя типу „вал–втулка” / О.Й. Мажейка, С.І. Маркович // Зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн.ун-ту. «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – Кіровоград, 2008.–Вип.№20.–С.267–275.

УДК 621.891

*Мажейка А.И., Маркович С.И.* **Оценка трибологической эффективности укрепления конструкционных материалов лазерной термомодеформационной обработкой** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – С.162–167.

Определена область оптимальных параметров лазерной термомодеформационной обработки легированных сталей перлитного класса, при которых достигаются максимальная микротвердость и износостойкость материала. Исследованы триботехнические характеристики укрепленных сталей в зависимости от соотношений параметров обработки и сочетания пар трения.

Рис. 1, табл. 2, список лит. 5.

*Mazheyka A.Y., Markovich S.I.* **Estimation of tribological efficiency of strengthening of construction materials laser thermo deformation treatment**

In the article certainly area of optimum parameters of laser thermo deformation treatment of alloyed steel of pearlitic class which a maximal microhardness and wearproofness of material is arrived at at. Researches of tribotechnic descriptions of fixed steel are conducted depending on correlations of parameters of treatment and combination of pair of friction.

Стаття надійшла до редакції 28.10.09.