

УДК 621.791.72

Долянівська О. В.

**ВПЛИВ СУПУТНЬОГО НАГРІВУ ДУГОВОЮ ПЛАЗМОЮ ПРИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМОВОМУ ЗМІЦНЕННІ СТАЛЕВОЇ ПОВЕРХНІ**

Термін експлуатації машин і механізмів напряму впливає на вартість продукції, яку виготовляють в умовах сучасного виробництва. Тому у сучасній світовій промисловості існує ряд завдань, пов'язаних з підвищенням терміну функціонування робочих поверхонь деталей машин і механізмів. Ці завдання безпосередньо пов'язані з такою глобальною проблемою, як збереження ресурсів. Справа в тому, що підвищення експлуатаційного ресурсу існуючих виробів зменшує потребу у виготовленні нових, що й призводить до певної економії корисних копалин, різного роду сировини і напівфабрикатів, енергії тощо.

На сьогодні основними підходами до збільшення терміну функціонування виробів є наступні: розробка і використання нових матеріалів для виготовлення деталей, відновлення зношених деталей, обробка поверхонь існуючих матеріалів, спрямоване на максимальне підвищення їхніх властивостей (наприклад, міцності, зносо- і корозійної стійкості). Останні два підходи є більш доцільним з економічних позицій, проте їх реалізація традиційними методами (об'ємною термічною обробкою, обробкою поверхонь деталей з використанням ТВЧ і дугових технологій) ускладнюється через обмеженість можливостей джерел тепла, використовуваних в них. Обмеження можливостей, в першу чергу, пов'язані з недостатньою концентрацією енергії.

Для вирішення зазначеної проблеми в останні роки розробляються і використовуються такі нові способи наплавлення і зміцнення поверхонь, як плазмові, електронно-променеві і лазерні. Найбільш перспективними шляхами підвищення ресурсу роботи машин і механізмів можна вважати застосування плазмової або лазерної обробки [1]. До переваг перших відноситься значна продуктивність в поєднанні з порівняно невеликою собівартістю. Однак, мають місце такі недоліки, як низька стабільність процесу, пов'язана з ерозією в процесі роботи катодів і сопел, що формують плазмовий струмінь, а також досить інтенсивні виділення зварювальних аерозолів. До переваг другої групи способів відноситься висока стабільність і локальність термічного впливу на оброблюваний матеріал. Недоліком є необхідність використання громіздких і дорогих вакуумних камер і систем вакуумування, які не тільки підвищують собівартість продукції, але й знижують продуктивність процесу електронно-променевої обробки. Лазерні технології мають переваги, характерні для плазмових та електронно-променевих процесів, дозволяючи при цьому усувати їх зазначені недоліки. Крім того, лазерні методи термічної обробки металів, на відміну від звичайних, забезпечують високу однорідність нагріву, селективність, дозволяють вести процес у важкодоступних ділянках, надають можливість дистанційної обробки. Суміщення лазерного і плазмового процесів дозволить одержати нову форму термічного циклу обробки, що в свою чергу призведе до усунення вказаних недоліків із одночасним взаємним покращенням впливу на матеріал, який зміцнюють [2].

Метою даної роботи є дослідження можливостей підвищення експлуатаційного ресурсу поверхонь тертя деталей з вуглецевих і легованих сталей шляхом застосування їх супутнього підігріву дуговою плазмою непрямої дії в процесі зміцнення лазерним випромінюванням за рахунок отримання зносостійких структур і зниження залишкових напружень в поверхневих шарах.

Основна схема лазерного зміцнення може передбачати попереднє нанесення на поверхню шарів поглинаючих покриттів для підвищення її здатності поглинати випромінювання (рис. 1). Також може наноситися або подаватися в процесі обробки присаджувальний матері-

ал для легування поверхневого шару [3]. Однак, реалізовані за традиційною схемою процеси лазерного зміцнення мають низку недоліків [4]: утворення мікротріщин (поперечних напрямку обробки, сітки тріщин, тріщин в перехідній зоні тощо); утворення мікропор в зоні литого металу і на межі між зоною литого металу і ЗТВ; надмірні проплавлення або відсутність формування доріжки зміцнення; нерівномірність висоти або значні коливання мікрорельєфу зміцненого шару.

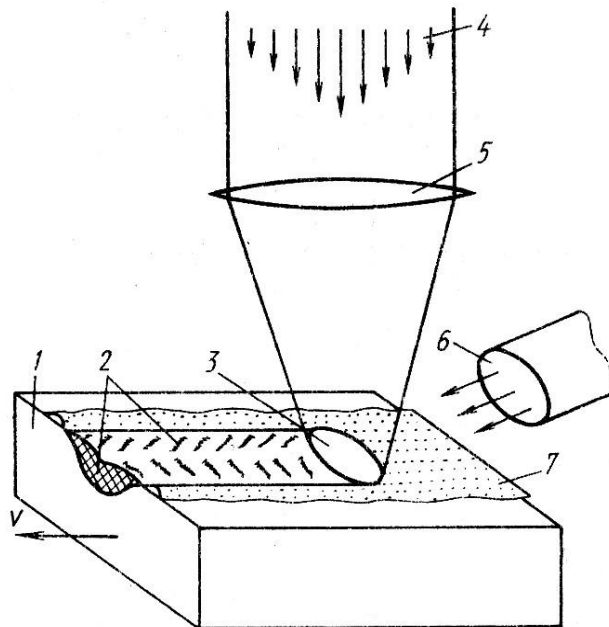


Рис. 1. Лазерне зміцнення [3]:

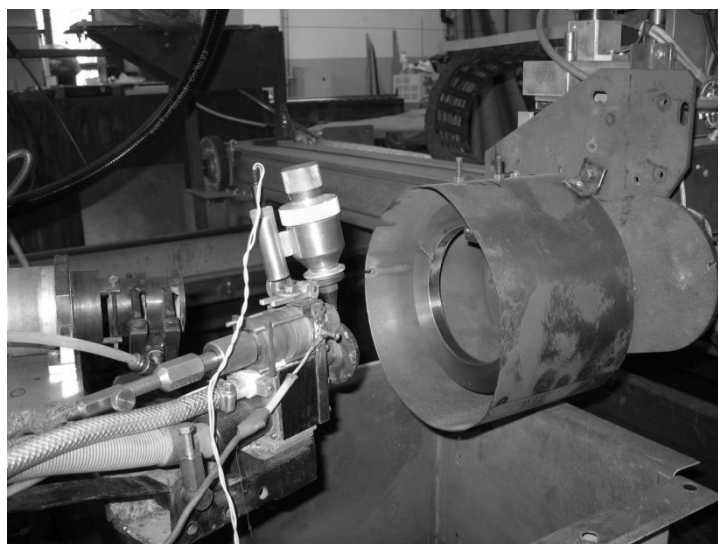
1 – зразок, що переміщується із швидкістю  $V$ ; 2 – доріжка легування; 3 – ванна розплаву; 4 – лазерний пучок; 5 – фокусуєча система; 6 – сопло подачі захисного газу або присаджувального порошку; 7 – попередньо нанесений шар

Одним із способів усунення цих недоліків є підвищення поглинаючої здатності поверхні, що зміцнюються. Випромінювання діодних, волоконних і Nd:YAG-лазерів забезпечує поглинальну здатність близько 40–50%. Випромінювання CO<sub>2</sub>-лазера на металевих поверхнях забезпечує поглинальну здатність близько 10–20%. Як бачимо, неповне використання лазерної потужності є однією з важливіших проблем лазерного зміцнення, що призводить до зниження ефективного ККД процесу і його здороження. Розв'язання цієї проблеми із одночасним введенням додаткової можливості модифікування термічного циклу процесу пов'язано із використанням додаткового локального теплового джерела (наприклад, плазмового), яке підігріватиме поверхню в зоні дії лазерного випромінювання. Це сприятиме, також, зниженню залишкових напружень у зміцнених шарах і, відповідно, мінімізації ризику утворення мікротріщин.

Для перевірки даної гіпотези нами було проведено низку досліджень з термічного зміцнення поверхні комплексно легованої сталі 38ХНЗМФА та інструментальної сталі 20Х13 лазерним і лазерно-плазмовим способами. Для цього проводили лазерне і комбіноване лазерно-плазмові зміцнення зразків Ø 50x15 мм і 100x50x15 мм із вказаних сталей за допомогою Nd:YAG-лазера DY 044 (фірми Rofin, Німеччина) при потужності випромінювання 1–4 кВт і використанні ламінарного струменю аргонової плазми непрямої дії потужністю ~1,5 кВт. Для генерації останньої застосовували комплекс мікроплазмового наплення, створений в ІЕЗ ім. Є.О.Патона [5]. Зовнішній вигляд дослідного обладнання показано на рис. 2. З отриманих зразків вирізали темплети, з яких робили мікрошліфи (полірування, травлення у 4%

розчині  $\text{HNO}_3$ ), що досліджували за допомогою оптичного мікроскопу Neophot-32 ( $\times 25-1000$ ), та зразки для рентгенографічних досліджень напружень I роду (рентгенівський дифрактометр ДРОН-2).

В результаті проведення лазерного зміцнення зразків зі сталі 38ХНЗМФА був обраний наступний режим: потужність лазерного випромінювання 3,0 кВт, швидкість обробки 60 м/год., діаметр плями випромінювання на оброблюваній поверхні 8 мм. Встановлено, що основний метал має бейнітну структуру (в основному нижнього бейніту) з характерними смугами проковування. Його твердість складає близько HRC 43. Структура оплавленої зони (ширина 5–6 мм при глибині 70–100 мкм) чітко виражена дендритна. В ній можуть утворюватися мікротріщини шириною 10–20 мкм, які залишаються в межах литої зони і не поширюються в область зони гартування з твердої фази, що дозволяє усувати їх разом з припуском при фінішній механічній обробці. Зона гартування з твердої фази становить собою безструктурний (рідше – дрібногочастий) мартенсит з однорідною твердістю HRC 65–66. Між цією зоною і основним металом є перехідна зона шириною 40–60 мкм з плавним падінням твердості.



а)

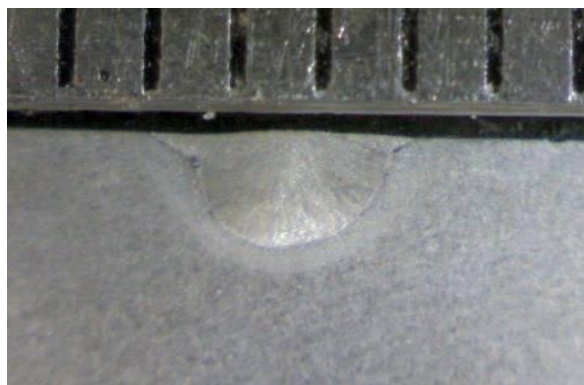


б)

Рис. 2. Обладнання (а) і процес (б) лазерно-плазмового зміцнення

У разі проведення лазерно-плазмового зміцнення зразків зі сталі 38ХНЗМФА потужність і пляму фокусування лазерного випромінювання лишали такими ж, як і при лазерному, а швидкість підіймали до 90 м/год через додатковий термічний вплив плазмової складової, що мала потужність 1,5 кВт. При цьому одержували доріжки зміцнення з аналогічною структурою. Для зміцнення зразків зі сталі 20Х13 використовували подібні режими, які відрізнялися меншим діаметром плями фокусування (3 мм).

Одержані під час проведення технологічних досліджень результати показали, що більш стабільним є процес лазерного зміцнення з оплавленням оброблюваної поверхні (рис.3). У разі зміцнення сталі 38ХНЗМФА в переплавленій зоні отриманих доріжок спостерігалися мікротріщини, що поширювалися на глибину цієї зони. У разі зміцнення сталі 20Х13 мікротріщини не спостерігалися. Можна припустити, що схильність до утворення мікротріщин пов'язана не лише із рівнем внутрішніх напружень, а й з хімічним складом оброблюваного матеріалу. Так, в результаті лазерного переплавлення легуючі елементи можуть перерозподілятися в межах зерен, що призводитиме к утворенню відповідних сегрегацій на їх границях. В результаті знижуватиметься міцність пограничних зон, що й призведе в цих місцях до розвитку мікротріщин під дією залишкових напружень.



а)



б)

Рис. 3. Поперечні перетини доріжок лазерного (а) і лазерно-мікроплазмового (б) зміцнення сталі 20Х13:

а) – потужність випромінювання 3,0 кВт, діаметр плями фокусування 3 мм, швидкість обробки 60 м/год; б) – потужність випромінювання 3,0 кВт, потужність плазмового струменю 1,5 кВт, діаметр плями фокусування 3 мм, швидкість обробки 90 м/год

Для мінімізації ефекту виникнення мікротріщин доцільно локально змінювати фазовий і хімічний склад зміцнюваного шару, тобто переходити від процесу загартування до процесу мікролегування із використанням відповідних присаджувальних матеріалів. Такий підхід спрощується через утворення рідкої ванни при локальному розплавленні поверхневого

шару лазерним випромінюванням. До цієї ванни доцільно вносити присаджувальні матеріали у вигляді дрібнодисперсних порошків, наприклад, фракції 40–60 мкм. До складу таких порошкових матеріалів можуть входити тверді фази (карбіди й/або боріди), а також досить міцна й пластична основа. Оскільки при зміцненні сталі 20X13, що має підвищений вміст хрому, мікротріщин не спостерігалось, можна припустити доцільність використання цього металу в якості основи присаджувального матеріалу. В межах даної роботи дослідження із лазерного або лазерно-плазмового легування сталевих поверхонь не проводилися.

Експериментально визначили зносостійкість зміцнених лазерним і лазерно-плазмовим методами циліндричних зразків за методикою «штир – циліндр» в умовах сухого тертя. Результати співставили із зносостійкістю сталей 38ХНЗМФА і 20Х13 у нормалізованому стані. Даний експеримент довів значне (для лазерно-плазмового зміцнення – до 3,5 разів, для лазерного – до 8 разів) підвищення зносостійкості. Для визначення коефіцієнту тертя  $\mu$  використали машину тертя 2070 СМТ-1, на якій випробовували шліфовані пласкі зразки за допомогою мідного циліндричного контр-тіла. Швидкість ковзання становила 1,3 м/с, навантаження змінювали ступінчасто в межах 0,2–1,0 кН. Встановили, що за умов проведення досліду для основного металу найбільшим є навантаження 0,6 кН, при якому  $\mu=0,25-0,27$ . Для зміцнених обома розглянутими способами зразків найбільше навантаження складає 0,8 кН. При цьому  $\mu=0,14-0,16$  в обох випадках.

#### ВИСНОВКИ:

1. Дослідження можливостей підвищення експлуатаційного ресурсу поверхонь тертя із сталей 38ХНЗМФА і 20Х13 шляхом застосування їх супутнього підігріву дуговою плазмовою непрямой дії в процесі зміцнення лазерним випромінюванням показали, що запропонований спосіб дозволяє зменшити коефіцієнт тертя з 0,25–0,27 до 0,14–0,16 при одночасному збільшенні експлуатаційного навантаження на 25–30%, а також підвищити зносостійкість відносно основного металу до 3–4 разів.

2. Мікроструктури зразків лазерного і лазерно-плазмового зміцнення досліджуваних сталей по глибині складаються з двох зон – переплавленої із бейнітною структурою і зміцненої у твердому стані із мартенситною структурою.

3. Кількість мікротріщин в шарах, зміцнених лазерно-плазмовим способом, приблизно вдвічі менша, ніж на ділянках, зміцнених лазерним, що свідчить про виникнення більших тимчасових напружень при лазерному зміцненні.

4. Вимірювання напружень I роду рентгенофазовим методом показали зниження приблизно на 50% рівня залишкових напружень у зміцнених шарах сталей 38ХНЗМФА і 20Х13 у разі застосування комбінованої лазерно-плазмової обробки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Григорьянц А.Г. *Возможности и перспективы применения лазерной наплавки* / А.Г. Григорьянц, А.И. Мисюров // *Технол. машиностр.* – 2005. – №10. – С. 52–56.
2. *Лазерно-плазменное упрочнение поверхностных слоев быстрорежущих сталей* / В.В.Мелюков, В.А.Кузьмин, А.В.Частиков, А.А.Чирков, Ю.А.Хрусталева, А.М.Чирков, А.В.Окатьев // *НПФ «Плазмацентр» (Россия, С.П-б), Материалы 7-й междунар. практич. конференции-выставки, 13-16 апреля 2005 г.* – С. 156–164.
3. *Технологические лазеры: Справочник: В 2 т. – Т.1: Расчет, проектирование и эксплуатация* / Г.А.Абильситов, В.С.Голубев, В.Г.Гонтарь [и др.] // *Под ред. Г.А.Абильситова.* – М.: *Машиностроение*, 1991. – 432 с.
4. *Хаскин В.Ю. Процессы упрочнения и нанесения покрытий с использованием лазерного излучения (Обзор)* / В. Ю. Хаскин // *Автомат. сварка.* – 2008. – №12 – С. 24–33.
5. *Шнайдер Б.И. Микроплазменная обработка материалов (Курс лекций для специалистов-сварщиков)* / Б.И. Шнайдер. – Киев: «Наукова думка», 1976. – 55 с.