

УДК 621.375.8

Л.Ф. Головка

*Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут",
м. Київ, Україна*

НОВІТНІ ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПОВЕРХНЕВІЙ ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ

Лазерне випромінювання є ефективним інструментом в інженерії поверхні, який дозволяє значно розширити можливості керування якістю поверхневих шарів різних конструкційних матеріалів, створювати на їхніх поверхнях нові композиційні матеріали з наперед заданими властивостями, проводити формоутворення виробів складної просторової форми шляхом пошарового їх вирощування з порошкових матеріалів, згинати, витягувати тонколистові матеріали за рахунок локального змінювання їх напруженого стану та інше.

Першу групу методів утворюють способи лазерної обробки, що приводять у результаті нагрівання до модифікування структури поверхневих шарів матеріалів, зміни напруженого стану окремих локальних ділянок. Вони реалізуються при різних температурах нагрівання - від температур, при яких у матеріалах формуються певні залишкові напруження, відбуваються пластична деформація чи структурно-фазові перетворення, до температур плавлення й навіть випаровування. Поряд з відомими способами поверхневої обробки (відпалом, відпусканням, загартуванням, аморфізацією) розроблено ряд нових цікавих і перспективних технологій, в основі яких лежать різні фізико-хімічні процеси.

Структури, що формуються в залізобуглецевих й інших сплавах при лазерному нагріванні й наступному надшвидкісному охолодженні, володіють рядом унікальних властивостей. До однієї з таких особливостей структур варто віднести те, що вони сприяють значному підвищенню адгезії металів, що наприклад склеюють. Дослідженнями встановлено, що, міцність зчеплення з'єднання "сталь-твердий сплав" зростає в 3-4 рази. Такий результат свідчить про великі можливості цієї технології.

Лазерне деформування слід віднести до нових технологій, пов'язаних зі створенням на окремих локальних ділянках виробів за допомогою лазерного нагрівання металургійних концентраторів напружень. Кероване створення на певних ділянках поверхні тонколистового виробу визначених за величиною, знаком та характером розподілу макронапружень, дозволяє проводити формоутворення різних просторових конструкцій. Це досягається зміною режимів опромінення, кількості циклів «нагрів-охолодження», траєкторії переміщення променя з урахуванням властивостей матеріалу. Таке формоутворення як простих, так і складних за формою металевих конструкцій, є гнучким, досить продуктивним і високоефективним процесом.

Дуже перспективною є й інша технологія цього напрямку - це створення в металевих матеріалах на певних ділянках конструкцій залишкових напруг, рівних за величиною й протилежних за знаком максимальним пружним напругам, які виникають на цих ділянках при дії робочих навантажень, обумовлених роботою деталі в складі виробу в процесі експлуатації. Такий спосіб впливу на напружений стан матеріалу конструкції дозволяє, залежно від пріоритету, підвищити чи її жорсткість, чи величину припустимих навантажень, знизити матеріалоємність виробу й ін.

Лазерне загартування ефективно там, де потрібні високі твердість і зносостійкість окремих найбільш навантажених ділянок поверхонь деталей. Ці якості забезпечуються за рахунок створення на поверхні виробу шару із загартованою структурою, що відрізняється від отриманої при звичайних способах об'ємного загартування. При лазерному загартуванні відбувається надшвидкісне нагрівання матеріалу до температур, що перевищують критичні точки. Завдяки локальності процесу нагрівання окремих об'ємів виробу, які оточені холодним металом з високою теплопровідністю, відбувається інтенсивне відведення тепла з швидкостями 10^5 - 10^6 °C/с, які набагато перевищують критичні. Внаслідок цього в зоні опромінення відбуваються фазові й структурні зміни: при нагріванні - утворення аустеніту та розчинення карбідних фаз, при охолодженні - перетворення аустеніту в мартенсит.

Іншим надзвичайно цікавим напрямком використання унікальних властивостей таких структур є інтенсифікація процесів хіміко-термічної обробки, таких як азотування, борування, цементация й ін. Інтенсифікувати процес хіміко-термічної обробки можна за рахунок збільшення дефектності кристалічної будови матеріалу, тобто збільшення густини дислокацій й ускладнення їхньої просторової конфігурації, що пов'язане зі здрібнюванням зерен і збільшенням протяжності їхніх границь, утворенням так званих "дислокаційних трубок". Оскільки структури, що утворюються після лазерної обробки, саме й мають такі особливості, то це й стало основою розробки нового способу комбінованої лазерної хіміко-термічної обробки, метою якої є істотне зменшення тривалості й енергоємності процесу, можливість селективної обробки окремих ділянок поверхні деталей при одночасному збільшенні товщини зміцненого шару й виключення деформації виробу. Сутність способу полягає в тім, що поверхня деталі, яку треба азотувати, попередньо піддається лазерному загартуванню, а потім проводиться хіміко-термічна обробка. Так, попереднє загартування вуглецевої сталі з наступним азотуванням у середовищі аміаку при температурі 800-860°С сприяє збільшенню глибини азотованого шару в зоні термічного впливу лазерного випромінювання в 3-4 рази (з 0,1мм до 0,46мм). При цьому значно підвищується дисперсність і мікротвердість структури. В азотованому шарі у вуглецевій сталі без попередньої лазерної обробки мікротвердість структури становить 3,5 ГПа, у шарі з лазерною обробкою - 8 ГПа.

Лазерне термодформаційне зміцнення поверхневих шарів конструкційних матеріалів становить великий інтерес для деталей, які

працюють в умовах тертя при дії циклічних знакозмінних навантажень. Воно полягає в тім, що після лазерного нагрівання, наприклад, сталі до температур аустенізації, нагрітий шар на етапі охолодження, в області температур 600-400°C піддається механічному пластичному деформуванню. Така комплексна обробка в результаті спадкоємних явищ сприяє формуванню високодисперсної структури, яка володіє великою твердістю й підвищеними пластичними властивостями, що дуже важливо, наприклад, для поверхонь вузлів тертя. Крім цього, така обробка забезпечує формування в поверхневих шарах гарантованих стискаючих залишкових макронапружень, що істотно розширює область застосування лазерного зміцнення для деталей, довговічність яких лімітується втомленою міцністю.

Лазерне загартуванні із рідкої фази, тобто при використанні режимів опромінення, які обумовлюють появу на поверхні виробу оплавленого металу, теж має певні галузі застосування. Хоча головним її недоліком є необхідність застосування, з метою надання опроміненим поверхням потрібної шорсткості, механічної обробки. У перегрітому металі домішки встигають розчинитися, якщо до цього вони втримувалися у вигляді включень. Оскільки час нагрівання, товщина розплавленого шару й ступінь прогрівання основного матеріалу дуже малі, охолодження при кристалізації рідкого шару відбувається з високою швидкістю - до 10^6 °C/c. Такі швидкості остигання приблизно в 10^3 раз більші швидкостей, характерних для звичайного загартування. У результаті утворюється мартенсит зі змістом вуглецю дещо більшим, ніж при традиційному загартуванні. При цьому виді обробки спостерігаються так звані "білі шари", які неодноразово відмічались при інших видах швидкісного нагрівання (електронним променем, електричним розрядом, плазмовою дугою, в умовах взаємодії пар тертя). Вони слабо травляться звичайними хімічними реактивами, мають високу поверхневу твердість, дрібну кристалеву субструктуру й можуть містити високотемпературні фази. Загартування металевих матеріалів із рідинної фази дозволяє суттєво перерозподілити легуючі елементи, виключити утворення скопищ різних домішок, наприклад скопищ кременю в силумінах, графіту – в чавунах, що забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик виробів. Інколи цей спосіб можна досить ефективно використовувати для заліковування мікротріщин на поверхнях деталей.

Лазерне термоцикування – процес, при якому певна ділянка матеріалу піддається кільком термічним циклам «нагрів-охолодження». Різними дослідниками встановлено надзвичайно цікавий факт присутності при лазерному опроміненні різних сплавів істотного перерозподілу легуючих елементів і домішок, що протікає у твердій фазі зі швидкостями, які набагато перевищують швидкості, характерні для класичних механізмів дифузії. Дослідженнями встановлено, що лазерне опромінення легованих сталей та металевих сплавів з покриттями, отриманими плазмовим запиленням, ініціює досить ефективно масоперенесення, яке можна використовувати для локального мікролегування з метою надання окремим ділянкам виробів потрібних

властивостей, або підвищення міцності зчеплення покриттів, які тримаються за рахунок адгезії, з основою. Відомо, що газотермічні покриття маючи безліч позитивних якостей мають один істотний недолік - низьку міцність зчеплення покриття з основою, 200-300 МПа. Відомо також і те, що при імпульсних механічних або термічних впливах, у тому числі й лазерному, у металах, у твердій фазі спостерігається перерозподіл легуючих елементів, що має аномальний характер. Цей факт було запропоновано використати для утворення металургійного зв'язку між адгезійним покриттям й основою. Для цього явище аномального масоперенесення на границі покриття-основа ініціювалося циклічним лазерним нагріванням до температур, що не перевищували температуру плавлення. У результаті лазерного термоцикування елементи покриття проникають в основу, а елементи основи - у покриття, що залежить від їх характеристик, концентрації у базовому і контактуючому матеріалах, від температурних умов нагрівання. Але внаслідок цього між покриттям і основою утворюється металургійний зв'язок і підвищується міцність їх зчеплення з 200 до 1300 МПа. До того ж лазерне термоцикування сприяє істотному зниженню пористості газотермічних покриттів з 8-10% до 2-3% і підвищенню їхньої пластичності. Застосування лазерного термоцикування дозволяє значно покращити якість газотермічних покриттів, розширити область їхнього застосування.

Лазерне поверхнєве легування здійснюється шляхом введення в задані ділянки поверхні різних компонентів, які, змішуючись із матеріалом основи, утворюють тверді розчини, хімічні сполуки або композиції необхідного складу. При цьому обов'язковою умовою є збереження в оброблених лазером ділянках поверхонь значної кількості матеріалу основи.

Одна з розповсюджених технологічних схем процесу лазерного легування – це оплавлення визначених ділянок матеріалу основи і подача в утворений розплав легуючих елементів. Легуючі елементи можуть вводитись в розплав із попередньо нанесеного шару, із газового або рідинного оточуючого середовища, інжекцією порошкового матеріалу (вдуванням в розплав порошкових легуючих елементів транспортуючим газом), або подачею пастоподібної композиції. Легуючі елементи в ванні розплаву завдяки виникненню гідродинамічних потоків, обумовлених розподілом температур, механічно переміщуються з матеріалом основи. Паралельно в розплаві протікають і дифузійні процеси. Лазерне легування застосовується для надання визначеним ділянкам поверхонь виробів певних властивостей: високої твердості, корозійної стійкості, опірності зношуванню, теплостійкості і т. ін.

Лазерне наплавлення – спосіб нанесення функціональних покриттів, який здійснюється шляхом оплавлення матеріалу основи і порошкової суміші, яка наплавляється. Для розплавлення матеріалів застосовується частково розфокусоване або сфокусоване і скануюче лазерне випромінювання. Відмінною особливістю процесу є те, що матеріал основи оплавляється на мінімально можливу глибину (20-50 мкм), щоб тільки забезпечити металургійний зв'язок з покриттям і виключити, або звести до мінімуму, їх

взаємне перемішування. Нанесений таким чином шар повинен містити у своєму складі тільки матеріал, вибраний для наплавлення. Нарощування товщини покриття проводиться виключно за рахунок збільшення кількості матеріалу, що наплавляється. Доставка матеріалу покриття, як і при легуванні, здійснюється шляхом попереднього нанесення шару матеріалу, вибраного для наплавлення, або його примусовим введенням в зону дії лазерного променя.

Лазерне термодетформаційне спікання композиційних матеріалів є новим і надзвичайно перспективним процесом. Цим питанням займаються багато дослідників в різних країнах світу. Досліджується як твердофазне, так і рідкофазне спікання. Щодо першого напрямку, то цим питанням досить ґрунтовно займаються вчені Білоруської академії наук, які на сьогодні мають багато цікавих результатів. Більш практичні результати отримані в напрямку рідкофазного спікання. Одержання алмазовміщуючих інструментальних композиційних матеріалів за допомогою лазерного рідкофазного спікання є окремим, самостійним і важливим питанням. Цей напрямок запропонований і успішно розвивається спільно вченими НТУ "КПІ" і ІНМ НАН України. Результати експериментального вивчення впливу лазерного опромінення на якісні характеристики алмазів, на фізико-хімічні процеси, які відбуваються на границі "алмаз - зв'язка", показали, що існує певна область режимів спікання, при яких забезпечується збереження вихідної міцності алмазів. Поза її межами в алмазах спостерігається утворення тріщин, окислювання й інші негативні процеси. Лазерне випромінювання завдяки високій концентрації енергії й локальності процесу дозволяє при певній густині потужності швидко, за 0,2-0,4с, нагрівати певний шар металевого порошку до температур 1500-1600°C. Алмази при побічному нагріванні до таких температур розплавленою лазерним випромінюванням сумішшю порошків не втрачають своєї міцності, але за певних умов обробки. Це дозволяє проводити лазерне рідкофазне спікання композитів на основі широкої гами зв'язок як з легкоплавкими, так і тугоплавкими складовими. Подібні результати отримані і для композитів, вміщуючи кубічний нітрид бору.

Лазерно-дугове наплавлення дозволяє суттєво підвищити ефективність нанесення покриттів, спікання композитів. Це комбінований процес, при якому у процесі лазерного наплавлення, порошковий матеріал підігрівають до температури $0,9T_{пл}$, за допомогою прямої або побічної електричної дуги. Лазерний промінь у цьому випадку здійснює тільки оплавлення тонкого поверхневого шару основи й остаточне, фінішне, формування наплавленого валика. Даний процес дозволяє значно підвищити продуктивність спікання без істотного збільшення його вартості.