

УДК 629.33.002

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН**

В. Л. Крещенецький, В. Й. Зелінський, С. О. Хударов, М. С. Дрозд

*У статті розглянуто особливості традиційних способів наплавлення металевих покриттів, проаналізовано переваги та недоліки нанесення металевих покриттів лазерним наплавленням та обґрунтовано ефективність застосування лазерної техніки при відновленні зношених деталей в ремонтному виробництві будівельних машин.*

*В статье рассмотрены особенности традиционных способов наплавления металлических покрытий, проанализированы преимущества и недостатки нанесения металлических покрытий лазерным наплавлением и обосновано эффективность применения лазерной техники при возобновлении изношенных деталей в ремонтном производстве строительных машин.*

*The features of traditional methods of metallic coverages are considered in the article, advantages and lacks of causing of metallic coverages are analysed laser наплавленням and grounded efficiency of application of laser technique at proceeding in threadbare details in the repair production of build machines.*

**Вступ**

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день при нанесенні металевих покриттів на зношені поверхні деталей в ремонтному виробництві будівельних машин, а також при виготовленні нових деталей використовуються різні способи наплавлення.

При цьому до процесів наплавлення висуваються такі основні вимоги: забезпечення високої адгезії основного і присадного матеріалу; виключення утворення пор і тріщин; зниження залишкової напруги і деформацій; збільшення коефіцієнта використання присадного матеріалу; підтримання ведення процесу з мінімальною глибиною проплавлення; зменшення вартості процесу; збільшення продуктивності; забезпечення комфортності праці і простота процесу.

Традиційні способи наплавлення металевих покриттів, що застосовуються при відновленні зношених деталей в ремонтному виробництві будівельних машин не відповідають вимогам сьогодення, оскільки характеризуються рядом недоліків: погіршення властивостей напавленого шару через перемішування з основним металом; деформація виробу, що викликається високими погонними енергіями; поява тріщин в напавленому шарі; обмеження по перерізу складів основного і напавленого металу; труднощі наплавлення малих поверхонь і виробів складної форми.

Для усунення вищеперерахованих недоліків та висування вимог до процесів наплавлення при нанесенні металевих покриттів пропонується застосування лазерної техніки при відновленні зношених деталей в ремонтному виробництві будівельних машин.

**Постановка завдань.** Метою роботи є обґрунтування якості та ефективності застосування лазерної техніки при відновленні зношених деталей в ремонтному виробництві будівельних машин.

**Основна частина**

У порівнянні з існуючими традиційними способами відновлення деталей нанесення покриттів лазерним наплавленням має ряд переваг. Висока концентрація енергії в точці нагрівання створює можливість вести процес на підвищених швидкостях обробки деталі. Це, у свою чергу, обумовлює можливість формування напавленого шару з малим коефіцієнтом перемішування ( $i=0,05\dots 0,15$ ) за рахунок незначного підплавлення основи; мінімальний термічний вплив на основний метал, що особливо важливо для матеріалів, що зазнають структурні і фазові перетворення; незначні залишкові деформації відновлених деталей; можливість наплавлення малих поверхонь, у порівнянні з діаметром точки нагріву (в разі використання імпульсних і імпульсно-періодичних лазерів); підвищення зносостійкості напавлених шарів.

Отже, малі деформації, з однієї сторони, і високі технологічні і експлуатаційні властивості, з іншої, створюють переваги для застосування лазерного наплавлення не лише в процесі виготовлення нових виробів, але і при відновленні зношених поверхонь деталей машин різної будівельної техніки. Причому після використання лазерного відновного наплавлення потрібна мінімальна фінішна обробка деталей.

Для лазерного наплавлення використовують ті ж наплавлювальні матеріали, що і для традиційних методів наплавлення. Це компактні присадки, що виконуються у вигляді дроту або стрічки чи порошку.

Порошкові матеріали в порівнянні з компактними присадками різного виду мають ряд переваг: збільшене поглинання лазерного випромінювання унаслідок розвиненої поверхні і багатократного віддзеркалення променя від окремих частин; менша (більш ніж в 1,5 раза) енергія для сплаву з основним металом; широкі можливості регулювання хімічного складу наплавленого шару; можливість доставки присадного матеріалу в важкодоступні місця; простота подачі, що надзвичайно важливо при відновленні деталей складної конфігурації.

На даний час широке застосування знайшли наплавлювальні порошки на основі нікелю. Їх класифікують як корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні з карбідним і інтерметалідним зміцненням, зносостійкі з інтерметалідним зміцненням використовують при відновленні зношених деталей, що працюють в умовах абразивного зношування або корозії при підвищених температурах.

Лазерне наплавлення здійснюється декількома способами. У першому випадку відбувається оплавлення порошкових матеріалів, які можуть наноситися шаром, намащуватися у вигляді порошкової пасти, що приготовлена на основі зв'язуючого компоненту (шлікерні покриття), або напилюватися газом або плазмою. У другому випадку подачу порошку в зону наплавлення здійснюють шляхом транспортування газом або з використанням гравітаційних сил. Для цього застосовують спеціальне дозуюче обладнання, яке дозволяє в широких межах регулювати витрату присадного матеріалу.

При лазерному наплавленні з оплавленням шлікерних покриттів основними параметрами є: потужність лазерного випромінювання, швидкість обробки, діаметр лазерної точки контакту або міри розфокусування. Також використовується вузький діапазон режимів, в якому спостерігається нормальне формування наплавлених шарів з малим коефіцієнтом перемішування.

Лазерна переплавка напилених покриттів дозволяє підвищити міцність їх зчеплення з основним металом, зменшити пористість. При використанні даного методу відсутнє вигорання по краях валика, ширина оголеної зони значно зменшується. Процес можна вести з перекриттям валиков і отримувати широкі наплавлені поверхні. Вказані схеми подачі присадного металу потребують використання проміжної операції нанесення порошку на поверхню, що ускладнює технологію.

В наш час широке застосування знаходять способи, які здійснюють подачу присадного матеріалу безпосередньо в процесі наплавлення. В цьому випадку можуть застосовуватися транспортуючі гази, такі як повітря, азот, гелій, аргон, вуглекислий газ.

Висота і ширина наплавленого валика залежать від потужності лазерного випромінювання, міри його розфокусування і швидкості ведення процесу.

На формування валиків впливає також масова витрата порошку, дистанція його подачі і кут нахилу осі лазерного променя.

При цьому можна отримати окремі валики заввишки від 0,2 до 3,0 мм і шириною від 0,5 до 4,0 мм. Для одержання широких наплавлених поверхностей процес виконують з перекриттям валика. Рекомендований коефіцієнт перекриття складає в межах від 0,6 до 0,7. Підвищення ширини одиничного валика досягається використанням пристроїв сканування променем. Збільшення висоти наплавлення можна досягти шляхом накладення валиків один на одного.

Зносостійкість робочих поверхонь виконаних лазерним наплавленням частинок карбиду, титану або вольфраму, наприклад поверхня алюмінієвого сплаву, дозволяє підвищити в 3...4 рази опір зносу в порівнянні із стійкістю сталі 45, загартованою до твердості 54...58 НРС.

При ремонті двигунів, що працюють в умовах дії ударних і знакозмінних циклічних навантажень, перспективне вживання порошкових присадних матеріалів системи «нікель-хром-вольфрам-кремній». Висока концентрація енергії лазерного випромінювання в точці нагріву і відповідні їй швидкості обробки створюють можливість формування наплавленого шару

з малим коефіцієнтом перемішування, значення якого знаходяться в межах  $i=0,045\dots 0,155$ . Це обумовлює підвищену міцність зчеплення нанесеного покриття з металом і унеможлиблює відшарування відновленого шару і подальше руйнування виробу. Крім того, зменшується вірогідність утворення гартівних структур і крихких зон в зоні сплаву.

Структура і фазовий склад металу, що закристалізувався визначається його хімічним складом і способом обробки, який характеризується технологічними параметрами процесу, а також швидкостями охолодження. Механізм кристалізації розплаву і утворення структури після лазерної обробки багато в чому відповідає механізму, що використовується при використанні традиційних способів наплавлення. При цьому особливістю є те, що підвищуються швидкості охолодження, які спричиняють утворення перенасичених твердих розчинів і зсуву критичних точок перетворень відносно точок перетворень на рівноважних діаграмах стану сплавів. Разом з цим спостерігається сильне подрібнення структурних складових і зміна хімічного складу деяких з них.

Згідно теорією твердіння утворення дрібнодисперсної структури пов'язане з виникненням високого термоконцентраційного переохолодження. У початковий момент росту твердої фази рушійної сили відбувається термічне переохолодження, що зумовлює виникнення великого числа центрів кристалізації. В процесі росту відбувається також і концентраційне переохолодження, яке сприяє дендритизації структури і її подрібненню відповідно до формули:

$$L = 2D_* \cdot V^{-p},$$

де  $L$  – ширина осей кристалітів;  
 $D_*$  – коефіцієнт дифузії;  
 $V$  – швидкість росту;  
 $p$  – коефіцієнт, що залежить від швидкості росту.

Існування дрібнодисперсних карбідів в твердому розчині може приводити до ефекту його дисперсійного зміцнення. Ці особливості і зумовлюють високі експлуатаційні властивості наплавленого покриття, зокрема зносостійкості, яка підвищується від 2,5 до 10 разів в порівнянні з традиційними способами наплавлення і напилення.

В той же час до найбільш типових дефектів наплавлення відносяться тріщини, пори, раковини, подрізи. Відомо, що наплавлювальні порошкові матеріали характеризуються зниженою технологічною міцністю при традиційних методах наплавлення. Так, в залежності від хімічного складу їх розділяють на тих, що мають підвищену, високу, помірну і малу схильність до утворення тріщин в наплавленому металі. В процесі лазерного наплавлення у валиках, отриманих на оптимальних, з точки зору зносостійкості режимах досить часто утворюються тріщини, характер розташування яких залежить від складу присадного матеріалу і способу наплавлення. Так, при використанні безперервних режимів і окремо розташованих валиків спостерігаються поперечні тріщини. У шарі, що складається з декількох валиків, що перекривають один одного, разом з поперечними тріщинами, перехідними з валика у валик, з'являються і поздовжні тріщини. Ця особливість характерна для порошоків системи «нікель-хром-вольфрам-кремній», а також для порошоків на основі міді і заліза.

При напавленні нікелю і хрому у валиках з'являються радіально розташовані тріщини, в цьому випадку вони розташовуються за напрямом зростання кристалітів. При використанні порошоків на вольфрамовій основі тріщини орієнтуються як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках.

Останнім часом розроблені нескладні технологічні прийоми, що дозволяють, використовуючи перевагу лазерного випромінювання як висококонцентрованого джерела тепла, гарантувати відсутність тріщин в наплавлених шарах. До таких прийомів відносяться вибір оптимальної кількості порошку, що подається, оптимальної швидкості і потужності лазерного випромінювання при напавленні, використання попереднього підігріву підкладки і присадного металу, введення в присадку додаткових хімічних елементів, що підвищують технологічну міцність. Позитивні результати отримані при лазерному напавленні із сплаву ЖС-6. Даний процес здійснювався з використанням імпульсно-періодичних режимів. Це дозволило за рахунок жорстких термічних циклів скоротити зону термічного впливу і зменшити глибину підплавлення основи. Наплавлений метал, близький за хімічним складом до основного, але з підвищеною зносостійкістю, має мілкодисперсійну литу структуру, а в зоні термічного впливу структурні зміни практично відсутні.

### **Висновки**

- Таким чином, малі деформації, високі технологічні і експлуатаційні властивості, якими характеризується застосування лазерної техніки при нанесенні металевих покриттів в ремонтному виробництві будівельних машин, створюють переваги для застосування лазерного наплавлення не лише в процесі виготовлення нових виробів, але і при відновленні зношених поверхонь деталей машин. Отже, можливо розглядати цей метод як найбільш перспективний при ремонті деталей не лише з жароміцних сталей, але й для відновлення виробів з чавуну і мідних сплавів.

### **Використана література**

1. Коваленко В. С. Справочник по технологии лазерной обработки. Под. ред. Коваленко В.С. Киев: Техника, 1989. – 167 с.
2. Рыкалин Н. Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. / Под ред. Рыкалина Н. Н. - М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Реди. Д. Ж. Промышленное применение лазеров / под ред. И. М. Андреева. – М.: МИР, 1991. – 365 с.

***Крещенецький В. Л.*** – к. т. н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

***Зелінський В. Й.*** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

***Хударов С. О.*** – студент Вінницького національного технічного університету.

***Дрозд М. С.*** – студент Вінницького національного технічного університету.