

# КОМБІНОВАНА ОБРОБКА ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ І САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

А.О.Жуков<sup>1</sup>, Ю.Ю.Жигуц<sup>2</sup>, Е.П.Шиліна<sup>1</sup>, Дж.Дата Мажумдар<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Вінницький державний технічний університет,  
Хмельницьке шосе, 56, Вінниця, 56000

<sup>2</sup> Ужгородський національний університет,  
вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000  
e-mail: yuzhiguts@univ.uzhgorod.ua

<sup>3</sup> Індійський інститут технології, Харагпур

Використані при лазерному поверхневому зміцненні (ЛПЗ) світлопоглинаючі фарби замінені на світлопоглинаючі порошкові суміші, що вміщують Ti, Fe і C (і, як варіант, також Cr), у яких ЛПЗ ініціює саморозповсюджувальний високотемпературний синтез (СВС). При цьому "хімічне" тепло СВС-процесу дозволяє знижувати питомі витрати енергії лазерного випромінювання.

Лазерне поверхнєве зміцнення (ЛПЗ) металів було відкрито у 1965 році [1]. Воно завоювало міцні позиції в технології металів [2, 3], але питання про те, кому належить пріоритет у винайденні цього високоефективного методу залишалося в тіні.

У 1964 році ливарно-металургічна лабораторія науково-дослідницького інституту легкого і текстильного машинобудування придбала один з перших рубінових лазерів ОКГЛ-1 і вже 23 червня 1965 року А.О. Жуковим, А.Н. Кокорою, В.А. Шалашовим і А.А. Чельним було подано заявку на авторське свідоцтво, яке видано у 1967 році і засекречено. Тільки через 20 років ВНИИГПЭ провів патентні дослідження і розсекретив та опублікував [1] винахід з формулою: поверхнєве зміцнення металу за допомогою оптичного квантового генератора.

У наш час у всьому світі видано декілька сотень патентів на дочірні винаходи. Один з них [4] присвячено об'єднанню ЛПЗ з СВС (саморозповсюджувальний високотемпературний синтез) [5]. Раніше СВС об'єднували з іншими технологіями поверхневого зміцнення деталей [6–11].

Дана робота є розвитком співробітництва з кафедрою металургійної та матеріалознавчої інженерії Індійського інституту технології [12].

При ЛПЗ важливою проблемою є зниження втрат променистої енергії за рахунок її відбиття оброблюваною поверхнею металу. У даному дослідженні, як і у винаході [4], у ролі світлопоглинаючої фарби було використано суміш порошків Ti (68%), вуглецю у виді сажі (18%) і Fe (14% за масою). Суміш змочувалася розчином 2% латексу у бензині, наносилася на поверхню сталі марок Ст 10 і 20 з наступним підсушуванням на повітрі, що веде до утворення шару товщиною 80, 200 або 500 мкм.

Термохімічні розрахунки показали, що у такій суміші практично весь Ti взаємодіє за рахунок безкисневого горіння з вуглецем, синтезуючи карбід TiC. Надлишок вуглецю і дуже невелика кількість титану легують залізо, утворюючи рідку сталь евтектоїдного складу, яка в умовах швидкого охолодження перетворюється у тростит в шарах товщиною 80 мкм.

Ці шари підпалювались променем CO<sub>2</sub>-лазера безперервної дії з поздовжньою накачкою типу "Кардамон" потужністю 850 Вт при щільності потужності 15–20 Вт·м<sup>-2</sup> (при діаметрі "плями" 0,3–1,0 мм), швидкість сканування змінювалась в межах 10–20 мм·с<sup>-1</sup>. Після проведення експерименту вимірювалась макро- і мікротвердість у легованому шарі, зоні термічного впливу і основному металі.

На рис. 1 показано типову мікроструктуру металу в поперечному перерізі зміцненого шару, отриманого при щільності потужності 17 Вт·м<sup>-2</sup>, діаметрі "плями" – 0,4 мм, швидкості сканування 12 мм·с<sup>-1</sup> та витраті аргону (для захисту Ti від окислення повітрям) – 0,5 л·с<sup>-1</sup>. Товщина легованого шару ~500 мкм. Цей шар складається з ~50 % частинок TiC і ~50% (по об'єму) металічної зв'язки – інструментальної вуглецевої сталі типу У8.

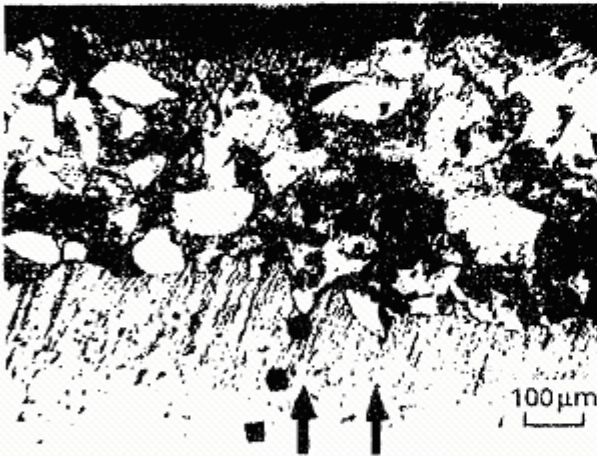


Рис. 1. Мікроструктура зміцненого шару з напівоплавленими частинками TiC

На рис. 1 двома вертикальними стрілками показано, що дві частинки TiC під час свого синтезу "пропалили" сталь і глибоко вкоренилися у зв'язку з високим локальним виділенням тепла.

Видно також, що в зоні інтенсивного теплового впливу мікроструктура сталі набула дуже дрібної стовпчастої будови з невеликим нахилом тонких дендритів (які майже не мають гілок) у сторону, протилежну напрямку сканування променем ла-

зера. Нахиленою світлою стрілкою показано напрямлення, вздовж якого вимірювалась мікротвердість алмазною пірамідою.

На рис. 2 показано повний поперечний розріз мікрошліфа. Як показали проведені дослідження, мікротвердість карбідів TiC майже у десятки разів вища твердості сталі.



Рис. 2. Мікроструктура поперечного розрізу мікрошліфа сталі після комбінованого її зміцнення ЛПЗ і СВС. У напівпроплавленій зоні видно високотверді (~HV2000) карбіди TiC, які займають до 50% об'єму всього шару карбідосталі. Світлою стрілкою показано напрям, вздовж якого розташовано лунки від індентора мікротвердоміра. Травлення виконувалось ніталем.

Таким чином, у даній роботі вдалося організувати СВС-процес у порівняно тонкому шарі за рахунок використання

технології ЛПЗ одночасно для вирішення двох завдань:

- для нагрівання, оплавлення і навуглецювання заліза;
- для оплавлення частинок Тi і його "горіння" у вуглеці з утворенням карбідів TiC.

Ця реакція сильно екзотермічна і супроводжується великим зниженням вільної енергії Гіббса.

$$\Delta G^{\circ} = -183,0246 + 0,01008 \cdot T \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

при  $T = 298-1155 \text{ К}$ ;

$$\Delta G^{\circ} = -186,9709 + 0,01325 \cdot T \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

при  $T = 1155-2000 \text{ К}$  [13].

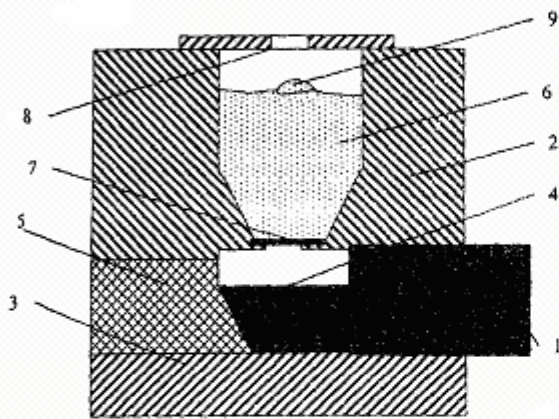


Рис. 3. Принципова схема металургійного зварювання: 1 – основа різця; 2 – верхня напівформа; 3 – нижня напівформа; 4 – місце зварювання; 5 – вогнестійкий матеріал; 6 – екзотермічна суміш (у наспинному виді); 7 – титанова пластина (товщиною 0,5 мм); 8 – кришка з отвором у центрі для виходу газів; 9 – титановий запал

Адіабатична температура безкисневого горіння еквіатомної суміші Ti-C дорівнює 3200 К. Фактична температура горіння вибраної суміші 68%Ti+18%C+14%Fe (% у масових частках) перевищує 1850 К, що забезпечує утворення на поверхні сталі твердо-рідкого шлікера роз-

плав-TiC з великим інтервалом ліквідус-солідус. Утворення шлікера замість однофазного розплаву позитивно впливає на якість поверхні зміцненого шару після його повного твердіння і охолодження, а також на утримування цього шару навіть на нахилених площинах.

Перспективна і заміна вуглецю у СВС-сумішах порошком бору. У цьому випадку вдається довести інтервал ліквідус-солідус до 1500 К, що у інших технологіях практично не зустрічається [11]. Таким чином, дійсно, при застосуванні вищевказаних методів, з одного боку, утворюються високотугоплавкі дибориди TiB<sub>2</sub> і CrB<sub>2</sub> (з високою твердістю), а з іншого боку, дуже легкоплавкі комплексні евтектики.

### Висновки

1. Суміщення ЛПЗ і СВС у одній операції дозволяє розв'язати цілий комплекс технічних завдань по отриманню високотвердих матеріалів типу карбідосталі і твердих сплавів на поверхні металу.
2. Виділення внутрішнього хімічного тепла у СВС-сумішах дозволяє знизити потужність лазерного випромінювання, роль якого зводиться до ініціювання СВС-реакцій і їх підтримці на протязі достатньо тривалого часу у тонких шарах матеріалу.
3. Новий комплексний технологічний процес дозволяє нарощувати зношені поверхні деталей машин, апаратів і приладів на висоту 0,5 мм.
4. Лазерний промінь як джерело тепла може бути, в принципі, замінений електронним променем або іншим переносником енергії.

### Література

1. А.А.Жуков, А.Н.Кокора, В.А.Шалашов, А.А.Чельний, Авт. свид. СССР № 194130 (1985), №1, с. 199.
2. М.А.Криштал, А.А.Жуков, А.М.Кокора, *Структура и свойства сплавов,*

*обработанных лучом лазера* (Металлургия, Москва, 1973).

3. А.Г.Григорьянц, И.К.Шиганов, *Оборудование и технология лазерной обработки материалов* (Высшая школа,

- Москва, 1990).
4. В.А.Шалапов, А.А.Жуков, А.Г.Мержанов, Авт. свид. СССР № 1312973, (1987), №7, с. 74.
  5. А.Г.Мержанов, В.И.Юхвид, И.П.Борвинская, Докл. АН СССР, 255, 120. (1980)
  6. А.А.Жуков, А.Г.Мержанов, И.П.Борвинская, *Литейное производство*, №11, 2 (1988).
  7. А.А.Жуков, А.Г.Мержанов, В.А.Новицкий, А.Н.Семенов *Технология и организация производства*, №1, 33 (1986).
  8. А.А.Жуков, А.В.Бондаренко, *Металловедение и термическая обработка металлов*, №1, 35 (1994).
  9. А.А.Жуков, Е.П.Шилина, Г.А.Черная, *Порошковая металлургия*, №1, 15 (1988).
  10. Yu.Yu.Zhiguts, in: *Modern Foundry Technologies – Environmental Protection. 3 Int. Conf.* (Wydział Odlewnictwa Akademii Gorniczo-Hutniczej, Stowarzyszenie Techniczne Odlewnicow Polskich, Krakow, 2000), p.213.
  11. A.A.Zhukov, *Cast Metals* **8**, 139 (1995).
  12. A.A.Zhukov, I.Dutta Majumdar, I.Manna, *J. Mat. Sci. Lett.* **14**, 828. (1995).
  13. O.Kubaschewski, C.B.Alcock, *Metallurgical Thermochemistry* (Pergamon Press, Oxford, 1998).

## COMBINED TREATMENT BY LASER SURFACE HARDENING AND SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

A.O.Zhukov<sup>1</sup>, Yu.Yu.Zhiguts<sup>2</sup>, E.P.Shilina<sup>1</sup>, J.Dutta Majumdar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vinnytsia State Technical University, 56000  
Khmelnyske Shose, 56, Vinnytsia

<sup>2</sup> Uzhhorod National University, 88000  
Pidhirna str. 46, Uzhhorod, 88000  
e-mail: yuzhiguts@univ.uzhgorod.ua

<sup>3</sup> Indian Institute of Technology, Haragpur, India

Light-absorbing paints used for laser surface hardening (LSH) have been replaced by light-absorbing powder mixtures containing Ti, Fe and C (and, as a variant, also Cr), in which LSH initiate the self-propagating high-temperature synthesis (SHS). During the latter the "chemical" heat of the SHS-process the laser beam energy consumption to be reduced.