

УДК 620.22: 669.017

Ю. Ю. Жигуц, І. І. Опачко*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна***ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ І СВС НА СТРУКТУРУ ОБРОБЛЕНОГО МАТЕРІАЛУ**

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.

Ключові слова: СВС, лазерне поверхнєве зміцнення, властивості, структура.

Рис. 3. Форм. 2. Літ. 6.

Ю. Ю. Жигуц, И. И. Опачко**ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ И СВС НА СТРУКТУРУ ОБРАБОТАННОГО МАТЕРИАЛА**

Использованные при лазерном поверхностном упрочнении (ЛПУ) светопоглощающие краски заменены на светопоглощающие порошковые смеси, которые содержат Ti, Fe и C (и, как вариант, также Cr), и в которых ЛПУ инициирует самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). При этом "химическое" тепло СВС-процесса позволяет снижать удельную энергию лазерного излучения.

Ключевые слова: СВС, лазерное поверхностное упрочнение, свойства, структура.

Yu. Yu. Zhiguts, I. I. Opachko**THE INFLUENCE OF LASER SURFACE HARDENING AND SHS ON THE STRUCTURE OF THE TREATED MATERIALS**

The light-absorbing paints used for LSH have been substituted by light-absorbing powder mixtures containing Ti, Fe and C (and also Cr, as a variant), in which LSH initiates the self-propagating high-temperature synthesis (SHS). While such substitution takes place, "chemical" heat of the SHS-process allows decreasing the specific expenditures of laser radiation.

Key words: SHS, laser safety hardness, properties, structure.

Fig. 4. Tab. 5. Ref. 4.

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

У 1964 році ливарно-металургійна лабораторія науково-дослідницького інституту легкого і текстильного машинобудування придбала один з перших рубінових лазерів ОКГЛ-1 і вже 23 червня 1965 року А.А. 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 [3]). Раніше СВС об'єднували з іншими технологіями поверхнєвого зміцнення деталей [3].

При ЛПЗ важливою проблемою є зниження втрат променистої енергії за рахунок її відбиття оброблюваною поверхнею металу. У даному дослідженні, у ролі світлопоглинаючої фарби була використана суміш порошоків Ti (68%), вуглецю у виді сажі (18%) і Fe (14% по масі). Суміш змочувалася розчином 2% латексу у бензині, наносилася на поверхню сталі марки 10 і 20 і підсушувалася на повітрі, утворюючи шар товщиною 80, 200 або 500 мкм.

Термохімічні розрахунки показали, що у такій суміші практично весь Ti взаємодіє за рахунок безкисневого горіння з вуглецем, утворюючи 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 CO₂-лазера безперервної дії з поздовжньою накачкою типу "Кардамон" потужністю 850 Вт при щільності потужності 15-20 Вт·м⁻² (при діаметрі "плями" 0,3-1,0 мм). швидкість сканування змінювалася у межах 10-20 мм·с⁻¹. Після проведення експерименту вимірювалася макро- і мікротвердість у легованому шарі, зоні термічного впливу і основному металі.

На рис. 1 показана типова мікроструктура металу у поперечному перерізі зміцненого шару, отриманого при щільності потужності $17 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, діаметрі "плями" - $0,4 \text{ мм}$, швидкості сканування $12 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ та витратах аргону (для захисту Тi від окислення повітрям) - $0,5 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$. Товщина легованого шару $\sim 500 \text{ мкм}$. Цей шар складається з $\sim 50 \%$ частинок ТiС і $\sim 50\%$ (по об'єму) металічної зв'язки - інструментальної вуглецевої сталі типу У8.

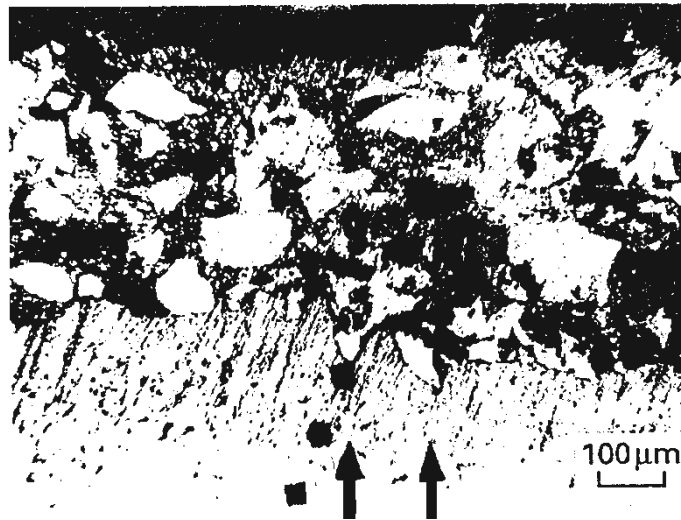


Рис. 1. Мікроструктура зміцненого шару з напівоплавленими частинками частинками ТiС

На рис. 1 двома вертикальними стрілками показано, що дві частинки ТiС 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 дрібну стовпчасту будову з невеликим нахилом тонких дендритів (які майже не мають гілок) у сторону, протилежну напрямку сканування променем лазера. Нахиленою світлою стрілкою показано направлення, вздовж якого вимірювалась мікротвердість алмазною пірамідою.

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

Таким чином, у даній роботі вдалося організувати СВС-процес у порівняно тонкому шарі за рахунок використання технології ЛПЗ одночасно для вирішення двох задач:

- для нагріву, оплавлення і науглецьовування заліза;
- для оплавлення частинок Тi і його "горіння" у вуглеці з утворенням карбідів ТiС.

Ця реакція сильно екзотермічна і супроводжується великим зниженням вільної енергії Гіббса (1) та (2):

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

при $T = 298-1155\text{К}$;

$$\Delta G^{\circ} = -186,9709 + 0,01325 \cdot T \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \quad (2)$$

при $T = 1155-2000 \text{ К}$.

Адіабатична температура безкисневого горіння еквіатомної суміші Тi-С дорівнює 3200К . Фактична температура горіння вибраної суміші $68\% \text{Ti} + 18\% \text{C} + 14\% \text{Fe}$ (% у масових частках) перевищує 1850К , що забезпечує утворення на поверхні сталі твердо-рідкого шлікера розплав-ТiС 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 утримання цього шару навіть на нахилених площинах.

Важливо відмітити, що при вказаному безкисневому горінні ніяких неметалічних фаз і їх включень не утворюється. Зварювання зміцненого шару з основним металом автоматично

отримується "металургічно", виключаючи необхідність пайки або інших способів з'єднання одного сплаву (наприклад, інструментального) з іншими (наприклад з основою різця), що показано на рис. 3.



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

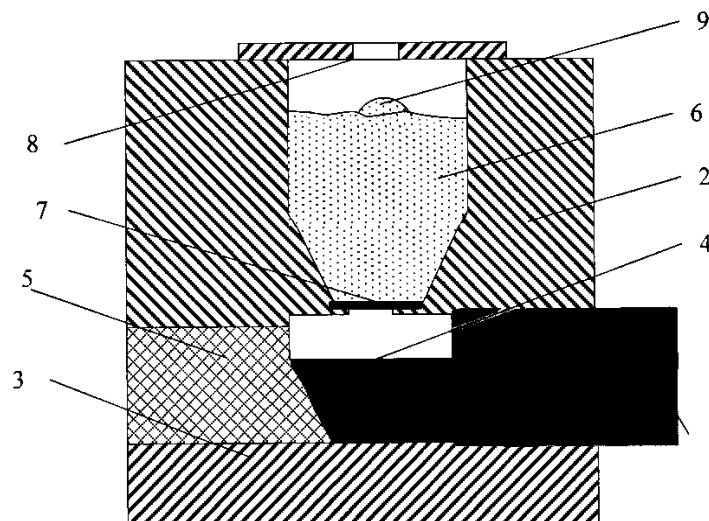


Рис. 3. Принципова схема металургійного зварювання: 1 - основа різця; 2 - верхня напівформа; 3 - нижня напівформа; 4 - місце зварювання; 5 - вогнестійкий матеріал; 6 - екзотермічна суміш (у насипному виді); 7 - титанова пластина (товщиною 0,5 мм); 8 - кришка з отвором у центрі для виходу газів; 9 - титановий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

Заміна частини залізного порошку порошком вуглецевого ферохрому (наприклад, $12\%Fe+2\%FeCr$ замість $14\% Fe$ у формулі СВС-суміші) дозволяє отримувати шари карбідосталі із зв'язкою не у вигляді сталі типу У8, а з легованої сталі Х12, яка після швидкого охолодження цих шарів за рахунок прискореного відводу тепла у холодний метал основи набуває аустенітно-мартенсито-карбідну структуру. У процесі роботи інструмента така металічна зв'язка додатково твердне за рахунок доперетворення аустеніту в мартенсит і старіння останнього. Твердість такої карбідосталі досягає HV1400 (14000 МПа).

Заміна частини заліза у СВС-суміші ферохромом різко підвищує корозійну стійкість отриманої карбідосталі і зменшує її окислювальний знос у процесі експлуатації. Аналогічного ефекту досягнуто такою ж заміною у іншій області гарячої обробки металів [3], а саме застосування СВС-реакцій для інмолд-процесу (модифікуванню у порожнині форми) у ливарному виробництві. Перспективна і заміна вуглецю у СВС-сумішах порошком бору. У цьому випадку вдається довести інтервал ліквідус-солідус до 1500К, що у інших технологіях практично не зустрічається [4-6]. Таким чином, дійсно, при застосуванні вищевказаних методів, з одної сторони, утворюються високотугоплавкі дібориди TiB_2 і CrB_2 (з високою твердістю), а з іншого боку, дуже легкоплавкі комплексні евтектики.

Висновки

1. Суміщення ЛПЗ і СВС у одній операції дозволяє вирішити цілий комплекс технічних задач 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.

1. Григорьянц, А. Г. Лазерна техніка та технологія [Текст] / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов / — М. : Высшая школа, 1975. — 191 с.
2. Григорьянц, А.Г. Оборудование и технология лазерной обработки материалов [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.К. Шиганов // — М. : Высшая школа, 1990. — 159 с.
3. Жигуц, Ю. Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар. — Ужгород : Видавництво «Інватор», 2014. — 388 с.
4. Жигуц, Ю. Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар. — Ужгород : Видавництво «Інватор», 2014. — 388 с.
5. Жигуц, Ю. Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // *Машинознавство*. — 2005. — № 4. — С. 48 - 50.
6. Zhiguts, Yu. Special grey and white termite cast irons [Текст] / Yu. Zhiguts, V. Lazar // *British Journal of Science, Education and Culture*, "London University Press". — 2014. — № 2 (6). — V. 1. — P. 201 - 207.

Стаття прийнята до друку 10.04.2015.