

**УДК 620.22: 669.017**

**SYNTHESIS OF MATERIALS WITH FORECASTING PROPERTIES AND STRUCTURE  
AS A RESULT OF THE INTERACTION OF A LASER FLAME**

**УТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З ВИЗНАЧЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ І  
СТРУКТУРОЮ В РЕЗУЛЬТАТІ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНИХ ФАКЕЛІВ**

**Zhiguts Yu.Yu. / Жигуц Ю.Ю.**

*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

**Opachko I.I. / Опачко І.І.**

*d.ph.-mat.s., prof. / д.фіз.-мат.н., проф.*

*Uzhhorod National University, Uzhhorod, Narodna 5, 88000*

*Ужгородський національний університет, Ужгород, пл. Народна 5, 88000*

***Анотація.** Для формування прогнозованих фаз і структур в матеріалах в результаті дії лазерної плазми особливо важливу роль відіграють параметри пари вихідного матеріалу, умови створення вакууму, а також енергетичні характеристики компонентів плазми та властивості створеного конденсату і матеріалу. В представленій роботі висвітлюються можливості оптимізації процесів осадження прогнозованих фаз і структур на мішенях, які неможливо отримати іншими способами. Теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу виявити умови синтезу багатofазних структур, запропонувати необхідне обладнання та технологію синтезу надтвердих матеріалів та виявити їх властивості.*

***Ключові слова:** лазерна плазма, напилення, структура, фаза, конденсат, матеріал, технологія.*

**Вступ.**

Унікальність лазерного випромінювання, його когерентність, висока імпульсна потужність, можливість отримання надзвичайно високої густини потужності почали досліджуватися ще з 60-х років минулого століття, тобто, з часу створення лазерів з модульованою добротністю. Тоді ж зівилася ідея розігріву речовини до термоядерних температур [1] в результаті дії високоінтенсивного світлового опромінення та утворення плазми при застосуванні лазерних установок, які створюють густину потужності  $10^{14}$ - $10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>. Це, в свою чергу, поставило **наукову проблему**, пов'язану із виявленням особливостей взаємодії потужного лазерного випромінювання з речовиною і подальшим визначенням не тільки умов взаємодії, але й можливостей прогнозування необхідних фаз і структур та вивченням їх особливостей. Мас-спектрометричні та зондові дослідження парової фази дозволили оптимізувати параметри конденсації (швидкість осадження, напірні

тиски, що виникають у процесі осадження, хімічний склад осаджених компонентів). Встановлення умов, критеріїв та розроблення на основі цього технології синтезу фаз та структур в результаті формування відповідних характеристик компонент лазерної плазми з подальшим дослідженням властивостей конденсату та створеного матеріалу.

### **Матеріали та методи дослідження.**

Основними вихідними інгредієнтами реакцій створення відповідних фаз були порошки графіту (*C*), *W*, *Co* та *Fe* хімічно чисті, а також порошки інших сполук (наприклад *TiB*, *TiB<sub>2</sub>*, *CrB* і *CrB<sub>2</sub>*).

### **Теоретичні дослідження.**

Теоретичне прогнозування фазового складу і структури виконувалося з використанням одного з методів геометричної термодинаміки [2]. Для такого прогнозування використано побудову ліній ізоактивності у координатах Скрейнемаккерса у трикомпонентній системі, де інші компоненти фіксувалися для відповідної концентрації, що надало можливість теоретично визначити наявність при відповідних умовах високотвердих карбідів *WC*, *W<sub>2</sub>C*, а також діборидів *TiB<sub>2</sub>* та *CrB<sub>2</sub>*. Прогнозування цих фаз в умовах вибухового випаровування вимагало визначення умов синтезу матеріалу на мішені та вплив цього методу на структуру та властивості матеріалу.

Вважаючи, що опромінення ділянки поверхні площею *S* з коефіцієнтами тепло- і температуропровідності *k* і *σ* відповідно проводиться лазером із загальною тривалістю цуга *T<sub>i</sub>*; тривалістю окремого імпульсу *τ*, міжімпульсним інтервалом *t*; імпульсною густиною потоку на мішені *q*. При цьому на протязі цугу імпульсів реалізується одномірний режим теплопередачі тепла до масивної мішені, який відповідає умові  $T < \frac{S}{\sigma}$ . Реалізація вибухового випаровування всіма *N<sub>0</sub>* імпульсами в цузі досягається за умови:

$$\sum_{n=1}^{N_0} \frac{1}{\sqrt{n}} = 2 \sqrt{\frac{T}{N_0 \cdot \tau}} = 2 \sqrt{\frac{P}{N_0}}, \quad (8)$$

$$\text{де } P = \frac{T}{\tau}.$$

Для великих  $N$  асимптотичний розв'язок (9) перетворюється в

$$N_0 = \sqrt{\frac{T}{\tau}} = \sqrt{P}. \quad (9)$$

При використанні твердотільних лазерів з параметрами  $T=5 \cdot 10^{-4}$  с,  $\tau \approx 5 \cdot 10^{-8}$  с одержимо  $N_0=100$ . Очевидно, верхньою межею кількості “вибухових” імпульсів в одному цузі, які можна реалізувати при опроміненні мішені найбільш поширеними твердотільними лазерами.

### **Експериментальні дослідження.**

Поставлені перші ж експерименти дозволили отримати не тільки високотверді структури, які неможливо синтезувати традиційними методами, але й дослідити особливості їх властивостей. Лазерний маспектрометричний аналіз виявив, що у напиленому шарі з'явилися високотверді структури – аналоги карбідів  $WC$  та  $W_2C$ . При цьому ближче до поверхні напиленого шару високотвердого синтезованого матеріалу об'ємна частка карбідів  $WC$  переважає при співвідношенні  $\frac{WC}{W_2C} \approx \frac{0,60 - 0,65}{0,40 - 0,35}$ . Одночасно у фазовий склад матеріалу потрапили і фази заліза, які очевидно, виникли на початковому етапі вибухового випаровування і збереглися в ній. На мікроструктурі рис. 2 можна чітко виявити карбідні фази (показані світлим кольором) та фази заліза (мартенситні та перлітні – темним кольором).

Черговою особливістю методу отримання напиленого високотвердого (в нашому випадку) матеріалу є виявлення чіткої дуже тонкої границі між зонами напиленого шару, перехідною зоною (або зоною термічного впливу з перехідними структурами) та зоною матричного матеріалу товщиною від 0,02 до 0,05 мм. Важливо відмітити, що при вказаному способі нанесення на поверхню матеріалу надтвердих фаз та структур ніяких неметалічних фаз та їх включень не утворюється [3]. Технологічне «зварювання» зміцненого шару з основним металом отримується "автоматично", виключаючи необхідність

пайки або інших способів з'єднання одного сплаву (наприклад, інструментального) з іншими (наприклад з основою різця), що показано на рис. 1. Таким же способом було отримано на поверхні матеріалу високотвердих сплавів типу карбідосталі з фольфрамокобальтовою структурою.

Заміна частини залізного порошку порошком вуглецевого ферохрому на поверхні підкладки (наприклад,  $12\%Fe+2\%FeCr$  замість  $14\% Fe$ ) дає змогу отримувати шари карбідосталі із зв'язкою у вигляді легованої сталі X12, яка після швидкого охолодження цих шарів та прискореного відводу тепла у холодний метал основи набуває аустенітно-мартенсито-карбідної структури заготовки.



**Рис. 1. Мікроструктура мікрошліфа сталі після лазерного поверхневого наплення. У напівпроплавленій зоні видно високотверді ( $\sim HV2000$ ) карбіди  $WC$  та  $W_2C$ . Травлення ніталем**

У процесі роботи з новітньою технологією отримання поверхні такого інструменту металічна зв'язка додатково твердне за рахунок доперетворення аустеніту у мартенсит і старіння останнього. Твердість такої карбідосталі досягає  $HV1600-1700$  ( $16000-1700$  МПа). Заміна частини заліза ферохромом крім всього різко підвищує корозійну стійкість отриманої поверхні з карбідосталі і зменшує її окислювальне зношування у процесі експлуатації. При застосуванні для наплення карбідів бору вдається довести твердість до  $2100-2200 HV$ , що у інших технологіях [4] практично не зустрічається. При

використанні вищевказаного методу, можуть утворюватися високотугоплавкі дібориди  $TiB_2$  і  $CrB_2$  (з високою твердістю) і комплексні евтектики матеріалу перехідної зони. Подальше дослідження різальних властивостей унікального інструменту зведені у табл. 1 і продемонстрували перспективи застосування розробленої технології, яка дозволяє на 10-16% збільшувати теплостійкість інструменту і на 12-18% період стійкості. У чисельнику в табл. 1 вказаний період стійкості, що відноситься до експериментальних інструментів, а у знаменнику до промислових сплавів за [4].

**Таблиця 1**

**Період стійкості високотвердого наплавленого сплаву (у хв.) при точінні у залежності від швидкості різання і марки матеріалу покриття**

№ з/п	Марка литого високотвердого матеріалу	Швидкість різання, м/хв.		
		30	50	100
1	ВК6(P18)	235/230	290/260	145/110
2	ВК8(P18)	270/200	245/240	145/100
3	ВК9(P18)	112/85	147/110	101/76

Поставлені експерименти дозволили не тільки створити високотверді структури у покритті інструментів, які не можливо синтезувати традиційними способами, але і дослідити їх особливості властивостей. Очевидно, що вони напряму пов'язані із технологією отримання, фазовим складом та структурою поверхні, зони термічного впливу і матричним матеріалом.

### **Висновки.**

1. Проведені дослідження дали змогу вперше синтезувати з ординарних компонент високоенергетичної лазерної плазми високотверді сполуки на поверхнях матеріалів унікальним способом, синтез яких іншими методами практично неможливий. 2. Встановлено особливості властивостей структур, отриманих в результаті застосування лазерної плазми. 3. Новий комплексний технологічний процес дозволяє напилювати і відновлювати, нарощувати зношені поверхні деталей машин, апаратів і приладів на 0,05 мм.

Література:

1. Басов Н.Г., Крохин О.Н. Условия разогрева плазмы излучением оптического генератора // ЖЭТФ. – 1964. – Т. 46. – С. 171 – 174.
2. Жигуц Ю.Ю., Кьокенеші Ш., Хом'як Б.Я. Встановлення структурного та фазового стану сплавів методами геометричної термодинаміки//Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2016. – № 53. – С. 44 - 48.
3. Жигуц Ю.Ю., Опачко І.І. Вплив лазерного поверхневого зміцнення і СВС на структуру обробленого матеріалу / Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2015. – № 49. – С. 58 - 61.
4. Ординарцев, И. А. Справочник инструментальщика / Под ред. И. А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.

**References:**

1. Basov N.G., Krohkin O.N. (1964). Uslovija razogreva plazmy izlutheniem optitheskogo generator [Conditions for plasma heating by radiation of an optical generator] in *ZhETF* [Journal of Experimental and Theoretical Physics], vol. 46, pp. 171-174.
2. Zhiguts Yu.Yu., Kokeneshi Sh., Khomyak B.Ya. (2016). Vstanovlennja struktornogo ta fazovogo stanu splaviv metodamy geometrythnoji termodynamiky [Research of the structural and phase state of alloys by methods of geometric thermodynamics] in *Naukovi notatki* [Intercollegiate collection of Lutsk National Technical University "Scientific Notes"], issue 53, pp. 44-48.
3. Zhiguts Yu.Yu., Opachko I.I. (2015). Vplyv lazernogo poverhnevogo zmitsnennja I SVS na struktyru obroblenogo material [Influence of laser surface reinforcement and SVS on the structure of processed material] in *Naukovi notatki* [Intercollegiate collection of Lutsk National Technical University "Scientific Notes"], issue 49, pp. 58-61.
4. Ordinartsev, I.A. (1987). Spravochnik instrumentaljstihika [Directory of instrumentalists] in editions I.A. Ordinartseva, Leningrad, Machinebuilding. 846 p.

**Abstract.** *For the formation of predicted phases and structures in materials as a result of the interaction of laser plasma, the parameters of the vapour of the source material, vacuum conditions, as well as the energy characteristics of the components of the plasma and the properties of the created condensate play a particularly important role. In the presented work the possibilities of optimization of precipitation processes of predicted phases and structures on targets that cannot be obtained in other ways are highlighted. Theoretical and experimental studies have allowed to reveal the conditions of synthesis of complex structures, to offer the necessary equipment and technology of synthesis of materials and identify their properties.*

**Key words:** *laser plasma, spray, structure, phase, condensate.*

Рецензент: академік НАНУ, д.ф.м.-н., проф. Шпенік О.Б.

Стаття відправлена: 17.07.2018 г.

© Опачко І.І., Жигуц Ю.Ю.