

#### 4. Conclusions

For simulation of surface layer hardening by ultrasonically wobbled tool a combined method of final and discrete elements was used. The obtained results show changes in material properties in the surface layer. Further simulations will continue utilising assigned parameters in experiments on the newly developed device at the working place of the researchers of this task and will be compared with experimentally achieved results [2]. The lecture will be completed by computer animation examples of the performed simulation.

#### LITERATURE

1. Tolnay, M. a kol.: Výskum, vývoj a realizácia technológie, nástrojov, mechanizmov a systémov obrábacích strojov ultrazvukového spevňovania odvalovacích plôch telies valivých ložísk, Hodnotiaca záverečná správa VTP č. 179/VTP/99, Sjf STU v Bratislave, 2002. 2. Numerická deformačno - napäťová pružne - plastická analýza spevňovania presne obrobeného povrchu kalených ocelí pri ultrazvukovom procese dynamického spevňovania vo VF pásme 20 kHz s uvažovaním dynamických účinkov In.: Čiastková úloha projektu č. IPVT/1/98, Centrum pre výpočtovú numeriku (CAN), s.r.o., správa č. PSP 1001, Ivanka pri Dunaji, 2000. 3. Poppeová, V. - Čuboňová, N. - , Uriček, J. - Kumičáková, D.: Automatizácia strojárskvej výroby. Vydavateľstvo EDIS, ŽU Žilina, 2002.

УДК. 621.891:621.793

Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Дьяченко О. В.

#### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ДУПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Fe–Cr–B–Si**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Сплавы системы Fe–Cr–B–Si обладают высокой структурной чувствительностью к энергетическому воздействию и легирующим добавкам [1]. Лазерное модифицирование позволяет точно дозировать подвод энергии и легирующих веществ, а характер получаемой структуры определяет качество упрочненного слоя. Кроме того, они обладают высокой износостойкостью, вследствие композиционной структуры.

Лазерное легирование неметаллическими компонентами – углеродом, зотом и бором получило наибольшее распространение при использовании

способа с нанесением на поверхность обмазок или паст и последующим оплавлением поверхности непрерывным лазером. К технологическим параметрам лазерного легирования следует отнести параметры лазерной обработки и толщину слоя пасты /2/.

Целью работы является изучение влияния параметров лазерной обработки и дополнительного легирования на формирование структуры, микротвердость и кинетику уплотнения покрытия системы Fe–Cr–B–Si.

В результате воздействия лазерного излучения на поверхность плазменно напыленных покрытий, легированных обмазками TaB, MoB и B<sub>4</sub>C, в зоне расплава протекают процессы образования высокодисперсных боридных фаз, способствующие существенному повышению твердости поверхности.

В процессе лазерного легирования происходит расплавление обмазки и части материала подложки. После затвердевания формируется зона упрочнения, состоящая из зоны затвердевшего металла и зоны термического влияния, представляющая собой область закаленного металла. Таким образом, образуется упрочненная зона, глубина и свойства которой зависят от параметров воздействия.

Было исследовано влияние скорости движения детали относительно луча лазера на микроструктуру, микротвердость и пористость плазменно напыленных покрытий.

Получаемые покрытия обладают в основном литой структурой с осями дендритов первого, второго и третьего порядков. С увеличением времени нахождения в расплаве структура укрупняется. Повышение скорости движения лазерного луча уменьшает время кристаллизации покрытий, карбидо-боридная фаза выделяется в виде квазиэвтектики.

Варьирование скоростями движения лазерного луча при легировании покрытия B<sub>4</sub>C, приводит к таким изменениям структуры как: V<sub>1</sub> - наблюдается литая равновесная структура, V<sub>2</sub> - образуется дендритная структура. С повышением скорости до V<sub>3</sub> - пересыщенная боридная и карбидо-боридная структура, которая при V<sub>4</sub> измельчается.

Такая же тенденция изменения структуры наблюдается у покрытий обмазок, а также легированных TaB, MoB.

Анализ графиков изменения микротвердости при варьировании скорости перемещения лазерного луча (рис. 2), показал следующие зависимости.

Для покрытий, легированных MoB с увеличением скорости движения лазерного луча растет микротвердость и достигает максимума при V<sub>4</sub> – 10,3 ГПа. При этом она колеблется от 5,72 до 10,3 ГПа. Большой разброс микротвердостей говорит о гетерогенности структуры. С увеличением скорости движения лазерного луча до V<sub>3</sub> распределение микротвердости более равномерно и составляет 6,1 – 8,51 ГПа. Мелкие дендриты насквозь пронизывают всю поверхность покрытия, что говорит о повышении износостойкости.

В покрытиях, легированных TaB, тенденция изменения микротвердос

сохраняется и достигает своего максимума – 17,2 ГПа при  $V_4$ . В то же время, при данной скорости отмечен сильный разброс микротвердости 7,15 – 12,72 ГПа. Это говорит о неравномерности распределения легирующих элементов по площади покрытия. При скорости  $V_3$  наблюдается дендритная структура с более равномерным распределением микротвердости 6,6 – 7,2 ГПа

Для покрытий, легированных  $V_4C$ , наибольшая микротвердость 14,26 ГПа достигается на скорости  $V_1$  и колеблется от 9,74 до 14,26 ГПа. При данной скорости карбиды имеют форму игл, пронизывающих все покрытие.

Оптимальной для этого вида покрытий является скорость  $V_2$ , при которой наблюдается разброс микротвердости 6,57 – 9,34 ГПа, микроструктура – мелкие дендриты.

Для каждого материала и каждой мощности лазерного воздействия существуют оптимальные соотношения между параметрами лазерного легирования, при которых глубина упрочненной зоны максимальна, а ее свойства высоки. Немаловажную роль в выборе оптимальных условий лазерного легирования играет характер микроструктуры в зоне воздействия луча лазера.

Проведенный количественный анализ показал, что пористость покрытий без оплавления максимальна и достигает 36 – 40 %.

На пористость оказывают влияние скорость детали относительно лазерного луча.

Рассмотрим кинетику нарастания плотности напыленного слоя с оплавлением его поверхности.

Для этого использовали кинетическое уравнение из [2]:

$$\Delta F = F(\Pi) - F(\Pi_0) = (A_1 - A_2) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) P_c \tau + A_2 P_c t. \quad (1)$$

Функция пористости  $F(\Pi)$  согласно [2] принимали в виде

$$F(\Pi) = \Pi - \ln \Pi \quad (2)$$

Величину  $\frac{t}{\tau}$  принимали для (1) в виде

$$\frac{t}{\tau} \approx \frac{d}{v\tau}. \quad (3)$$

В (1 – 3) у нас  $A_1, A_2$  – кинетические константы процесса припекания слоя, причем

$$A_i = A_{i0} \cdot e^{-\frac{E_{ai}}{kT}}. \quad (4)$$

Уравнению (1) придали вид:

$$\Delta F = C_1 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + C_2 t. \quad (5)$$

Результаты вычислений и экспериментальные зависимости представлены на графике (рис. 1).

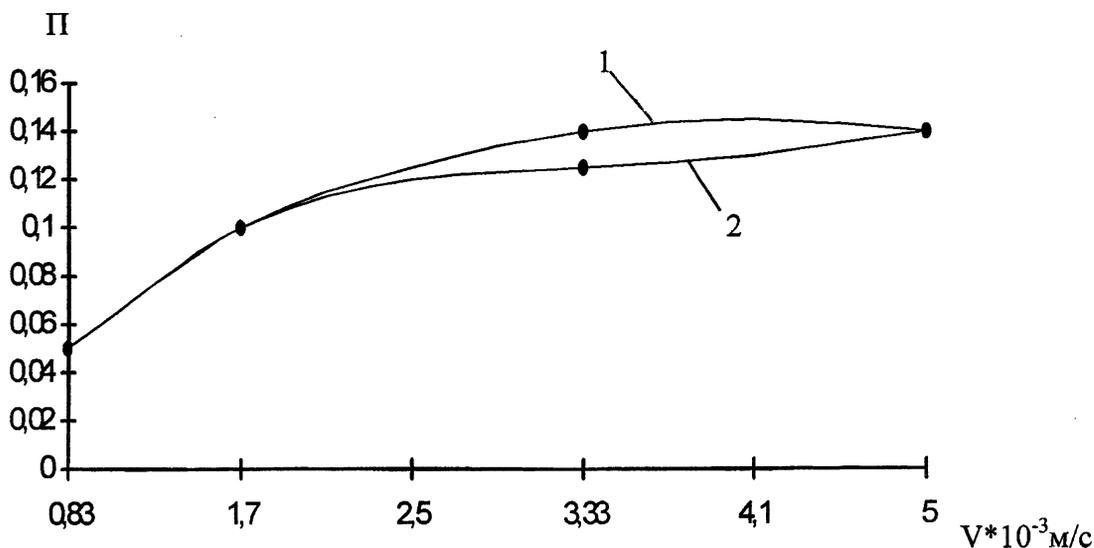


Рис. 1. Зависимость пористости оплавленных покрытий от скорости движения лазерного луча: 1 – теоретическая кривая; 2 – результаты эксперимента  $V$ , м/с

Варьируя скоростями перемещения детали относительно луча лазера, получаем различные значения пористости. Наименьших значений она достигает при  $V_1$ . В этом случае на поверхности покрытия образуется расплавленная ванна, которая, имея повышенную жидкотекучесть благодаря высокой температуре, устремляется к подложке и растворяет лежащие ниже частицы порошка. Содержащийся в покрытии бор в сочетании с железом повышает жидкотекучесть расплава.

С возрастанием скорости движения детали относительно лазерного луча пористость увеличивается. Это связано с тем, что эвтектика не успевает залечить все поры. С увеличением диаметра пятна лазерного луча от  $1,0 \times 10^{-3}$  м до  $5,0 \times 10^{-3}$  м при одинаковой скорости движения детали относительно лазерного луча  $V_5 = 1,7 \cdot 10^{-3}$  м/с, также возрастает пористость. Это связано с тем, что с увеличением диаметра пятна уменьшается энергозатрат.

На (рис. 2) показаны структуры плазменно-напыленных покрытий без оплавления, и после оплавления лучом лазера.

В покрытиях после плазменного напыления наблюдаются поры, отслоения покрытия от основы, говорящие о недостаточности установленных химических связей. На поверхности основы, непосредственно прилегающей к покрытию, наблюдается измельчение структуры.

Микроструктуру оплавленных лазером покрытий можно охарактеризовать как литую равновесную структуру с осями дендритов первого, второго и третьего порядков. Это свидетельствует о том, что покрытие пребывало достаточно долго в зоне лазерного облучения и в нем произошло перераспределение элементов. Упрочняющая фаза в виде дендритов, которые ориентированы под

углом в  $45^\circ$  в направлении теплоотвода, пронизывает все покрытие.

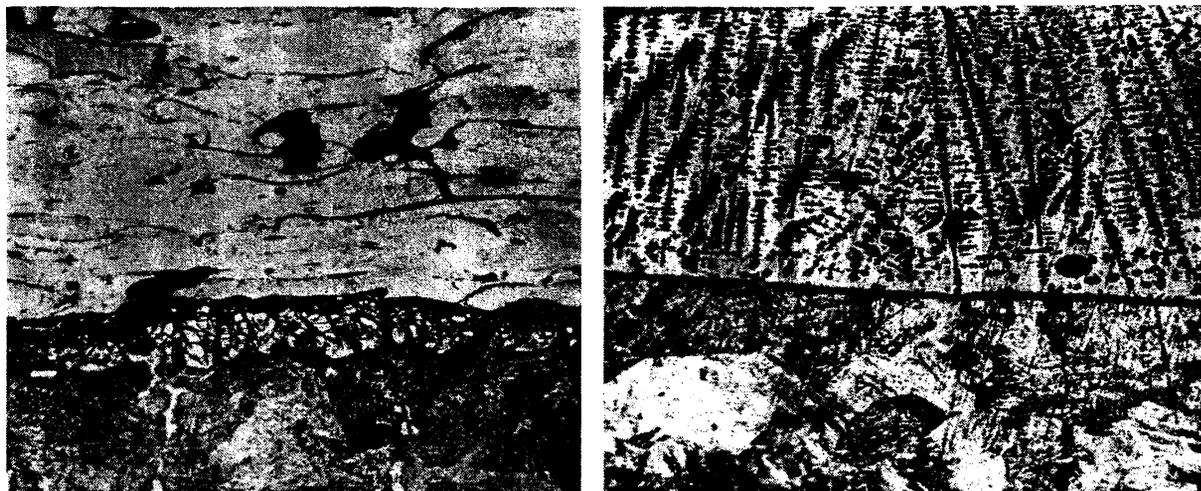


Рис. 2. Микроструктура покрытий, полученных:  
напылением порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф без оплавления (а);  
оплавлением порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф при скорости движения лазерного  
луча  $V_1$  (б).

#### Выводы.

1. Параметры лазерного луча и введение легирующих обмазок оказывают значительное влияние на микротвердость и структуру получаемых покрытий. Структура модифицированных покрытий изменяется от литой равновесной до мелкой квазиэвтектической.

2. Экспериментально и теоретически установлено, что пористость газотермических покрытий растет с увеличением скорости детали относительно лазерного луча и диаметра луча от 1 до 16 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонова И. М. Структура и свойства железобороуглеродистых сплавов / *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1984. - № 2. - С. 58 –61.
2. Лазерная техника и технология: В 7 т. Т.3 : Методы поверхностной лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; под ред. А.Г. Григорьянца.- М.: Высшая школа, 1987. - 191 с.