

И.В. Верховгурова, А.В. Козырь,
Н.В. Никитенко, В.Н. Ульянов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ,
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ ЭИЛ**

Methods for consolidation of the surface of different details are represent practice interest. This work present results of combined treatment of 45 steel by electrospark alloying and laser influence.

Модифицирование структуры и свойств материалов различного функционального назначения высококонцентрированными потоками энергии позволяет получить материалы с заранее заданными свойствами, существенно увеличивая ресурс эксплуатации отдельных деталей и оборудования в целом, а также производительность труда. Изучению воздействия высококонцентрированных потоков энергии на различные материалы посвящено большое количество научных работ. Однако работы, связанные с изучением формирования структуры и свойств материалов, получаемых в результате комбинированной обработки металлических поверхностей методами электроискрового легирования (ЭИЛ) и лазерного воздействия, малочисленны. Трудности получения покрытий с заранее заданными свойствами связаны с учетом подбора легирующих материалов, с выбором режимов ЭИЛ и параметров оптимального лазерного воздействия, с апробацией функциональности сформированных комбинированными методами защитных покрытий.

Известно, что метод ЭИЛ металлических поверхностей успешно используется для повышения эксплуатационных свойств (износо-, жаро-, коррозионной стойкости) деталей машин и механизмов. Однако широкому использованию метода препятствуют несплошность, шероховатость и пористость легированного слоя. Это связано с тем, что электроискровое легирование происходит на воздухе при различных значениях энергии в импульсе с окислением продуктов эрозии и хрупким разрушением легированного слоя.

Упрочнение поверхностного слоя (ПС) металлов при лазерном воздействии обусловлено сверхвысокими скоростями нагрева и последующим охлаждением облучаемого материала, частичным легированием поверхности элементами окружающей среды, ростом плотности дислокаций в зоне облучения и т. д. В облучаемом материале при таких условиях происходят структурные и фазовые превращения, сопровождающиеся образованием специфической ультрадисперсной гомогенной структуры с уникальными свойствами [1].

Дополнительная обработка лазерным излучением поверхности модифицированной методом ЭИЛ может исправить многие недостатки легированного слоя (ЛС) – такие как пористость и высокая шероховатость.

В связи с этим целью настоящей работы является выбор оптимальных режимов лазерной обработки поверхности, предварительно модифицированной методом ЭИЛ.

В качестве материала подложки-катода и анода использовалась сталь «45». Электроискровое покрытие формировали на образцах цилиндрической формы, диаметром 1,3 см и высотой 10 мм. Торцевая поверхность подвергалась зачистке на шлифовальной бумаге ГОСТ 6456-82 до шероховатости значения 2,1 мкм.

Электроискровая обработка производилась на установке «ЭЛИТРОН-22А» на режиме 5. Энергетические режимы установки представлены в табл. 1.

Микротвердость ИПС измерялась на микротвердометре ПМТ-3 при нагрузке в 200 г. С помощью металлографического микроскопа МИМ-10 была измерена толщина ИПС и сфотографированы налеты индентора на образце при увеличении в 365 раз.

Таблица 1

Энергетические параметры режима 5 ЭИЛ

Номер режима	Рабочий ток, I, А	Энергия в импульсе, E, Дж	Время легирования, мин.	Толщина получаемого покрытия, мкм
5	2,3	0,840	6	47

ПС детали материала при импульсной обработке лазерным излучением представляет собой частично перекрывающиеся зоны лазерного воздействия, смещенные относительно друг друга вдоль оси перемещения на величину шага обработки S (рис. 1) [2].

Производительность процесса обработки зависит от размеров единичных пятен обработки, коэффициента перекрытия этих пятен, частоты следования импульсов. Для оценки эффективности реализации схемы поверхностного упрочнения импульсным лазерным излучением, представленной на рис. 1, используется [2]:

1) коэффициент заполнения площади обработки:

$$K_z = F' / F, \quad (1)$$

где F' – площадь облученной поверхности; F – площадь детали, подлежащей обработке;

2) коэффициент использования импульсов:

$$K_n = \frac{4F'}{\pi D^2}, \quad (2)$$

где D – диаметр зоны лазерного воздействия; n – число зон.

Производительность процесса лазерного поверхностного упрочнения определяется по формуле [2]:

$$\Pi = \frac{\pi D^2 f K_n}{4}, \quad (3)$$

где f – частота следования импульсов излучения.

Схема размещения зон обработки с минимально перекрытыми участками, приведенная на рис. 1, достигается при отсутствии относительного смещения центров зон обработки соседних рядов, т.е. при $S = S' = 0,7D$ [2].

Обработка поверхности, модифицированной методом ЭИЛ, лазерным излучением проводилась приближенно к схеме, представленной на рис. 1. Рассчитаны коэффициент заполнения $K_z = 0,96$, коэффициент использования импульсов $K_n = 0,46$, производительность процесса $\Pi = 0,04$.

Размеры и форма закаленных зон, их структура и свойства определяются температурными полями в материале и характером их изменения во времени [3]:

$$T(z, t) = \frac{q}{\lambda} \left(\frac{\sqrt{4at}}{\pi} - z \right), \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; a – коэффициент температуропроводности; t – время воздействия; q – плотность мощности лазерного излучения; z – глубина проникновения лазерного излучения в материал.

Выражение (4) менее чем на 10% отличается от темпе-

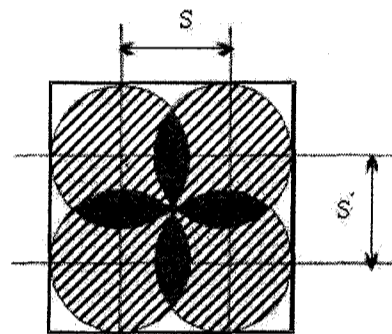


Рис. 1. Схема поверхностного упрочнения импульсным лазерным излучением при использовании сферической оптики [2].

ратурного поля, полученного в случае рассмотрения поверхностного термоупрочнения полубесконечного тела с постоянными теплофизическими коэффициентами, которое перемещается со скоростью V относительно поверхностного источника тепла q , поэтому использование последнего упрощенного соотношения по всей закаленной зоне вполне оправдано [3].

Максимальная глубина закалки металла получается, если температура в центре лазерного пятна достигает температуры плавления T_n . Из выражения (4) можно определить необходимую для этого плотность мощности лазерного источника q_n^* [3]:

$$q_n^* = T_n \lambda_s \sqrt{\frac{\pi}{4at}} \quad (5)$$

Считая, что термоупрочнение произойдет в той области термического воздействия, где температура металла выше температуры закалки T_z (обычно это температура фазового перехода), из (4) и (5) можно определить максимальную достижимую глубину упрочнения (закалки) на оси пучка без оплавления поверхности [3]:

$$Z_s = \sqrt{\frac{4at(T_n - T_z)}{\pi T_n}} \quad (6)$$

Анализ выражения (6) позволяет сделать весьма важный вывод – для каждого конкретного металла (если известны λ_s , a , T_n) фактором, определяющим глубину закалки, является время действия источника тепла.

Вводят коэффициент γ , который определяет ту долю поглощенной энергии лазерного излучения, которая вследствие теплопроводности распространяется в глубь материала. При дальнейших расчетах удобно пользоваться понятием эффективной плотности мощности $q^* = \gamma q$ [3].

Плотность мощности лазерного источника следует выбирать из условия (5). При $q^* < q_n^*$ получаем наименьшую глубину упроченного слоя, а при $q^* > q_n^*$ переходим к режиму оплавления поверхности металла.

Если известна толщина электроискрового покрытия, задаваемая режимами электроискровой обработки и определяемая металлографическим путем, то несложными преобразованиями из (5), (6) находим требуемое время действия лазерного источника [3]:

$$t_s = \frac{\pi Z_s}{4a} \left(\frac{T_n}{T_n - T_z} \right) \quad (7)$$

Теперь найдем важные параметры для технологии лазерного упрочнения: радиус лазерного пучка на обрабатываемой поверхности и необходимую скорость перемещения пучка относительно детали:

$$r = \sqrt{\frac{\gamma A P_0 Z_s}{\pi \lambda_s (T_n - T_z)}} \quad (8)$$

$$V = \frac{8a \sqrt{T_n - T_z}}{\pi T_n^2 \sqrt{Z_s}} \sqrt{\frac{\gamma A P_0}{\pi \lambda_s}} \quad (9)$$

где A – поглощательная способность металла; P_0 – полная мощность лазерного пучка [3].

Однако применение приведенных выше формул осложняется тем, что во многих случаях необходимо рассматривать воздействие лазерного излучения на ИПС, представляющий собой после ЭИЛ неоднородный материал двух электродов – легирующего и легируемого. Каждый из этих материалов и образованный ими легируемый слой обладает своими теплофизическими характеристиками. В связи с этим в нашей работе в качестве модельного варианта выбрана сталь «45».

На рис. 2 представлена структура ИПС стали «45» после ЭИЛ одноименным металлом и последующего лазерного воздействия. Толщина сформированного электроиск-

рового покрытия составила 88 мкм, зона лазерного проплавления в глубь образца – 106 мкм.

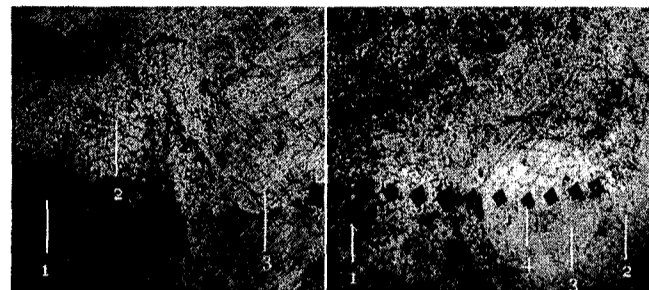


Рис. 2. Структура и микротвердость ИПС стали «45» после электроискрового и лазерного воздействия: 1 – сталь «45», 2 – белый слой, 3 – зона лазерного термоупрочнения, 4 – след индентора.

Из рис. 2 видно, что ИПС после ЭИЛ представляет собой мелкозернистую неоднородную структуру с многочисленными порами и включениями. В зоне лазерного воздействия микрометаллургический процесс приводит к изменению структуры ИПС, не подвергающегося в дальнейшем травлению, и уменьшению пористости. Результаты измерения микротвердости поверхностных зон образцов, модифицированных высококонцентрированными потоками энергии, показали увеличение твердости в сравнении с твердостью материала основы, причем наименьший диаметр отпечатка индентора на БС можно наблюдать после лазерного термоупрочнения (табл. 2).

Таблица 2

Микротвердость ИПС после ЭИЛ и лазерного воздействия

Сталь 45	Измененный поверхностный слой после ЭИЛ	Измененный поверхностный слой после ЭИЛ и лазерного воздействия
14,88 МПа	19,41 МПа	27,21 МПа

Представленные результаты можно объяснить поочередным перераспределением исходной структуры стали «45» после каждого этапа воздействия концентрированными потоками энергии. В работе [4] авторами был представлен фазовый состав электроискрового покрытия из одноименного материала – сталь «45». В составе ПС среди оксидных и карбидных фаз железа были обнаружены фазы α -железа и γ -железа. Фазовый анализ позволяет предположить, что лазерный луч, воздействуя с определенной энергией в импульсе на ИПС образца, способствует насыщению твердого раствора углерода в α -железе с образованием твердого мартенсита, что объясняет высокое значение твердости ПС в сравнении с микротвердостью основы и БС после ЭИЛ.

Таким образом, представленными результатами исследования показана возможность повышения качественного состояния электроискровых покрытий при правильном выборе режимов ЭИЛ и расчете мощности лазерного воздействия. Установлено снижение пористости легируемого слоя после лазерной обработки в 3 раза и повышение его твердости – в 1,4 раза.

Дальнейшие исследования предполагают продолжение изучения комбинированного воздействия концентрированных потоков энергии на металлические материалы с использованием легирующих материалов при ЭИЛ раз-

личного химического состава и изучение состава, структуры и свойств создаваемых покрытий.

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки – М.: Высшая школа, 1987.
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов – М.: Машиностроение, 1989.

И.А. Астапов, А.С. Борилко, А.В. Козырь

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВК8 СПЛАВАМИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА И МЕТАЛЛАМИ IV ГРУППЫ

Mass transfer kinetic of metals of IV group and titan carbide-based alloys on tungsten-contained hard alloy by process of EDD (electro discharge doping) has been investigated. Properties of formed surfaces have been researched.

Введение

В области машиностроения большое значение имеет задача упрочнения инструментов. [1]. В качестве инструментов широко применяют вольфрамсодержащие твердые сплавы (ВТС). Одним из способов повышения прочностных характеристик материала является создание на его поверхности износостойких покрытий. Перспективный метод нанесения таких покрытий – метод электроискрового легирования (ЭИЛ) [2], основанный на явлении электрической эрозии материалов при искровом разряде и полярном переносе продуктов эрозии с анода (легирующего электрода) на катод (основу) с образованием измененного поверхностного слоя и позволяющий использовать в качестве легирующего любой токопроводящий материал [3].

В настоящее время в литературе практически отсутствуют данные по выбору материала легирующего электрода для нанесения износостойких покрытий на ВТС. Поэтому представляют интерес исследования, посвященные выявлению закономерностей формирования легированного слоя при ЭИЛ ВТС чистыми металлами 4-6 групп, а также их карбидами, обладающими более высокими показателями твердости по сравнению с карбидом вольфрама (основой ВТС) [4].

Материалы и методика эксперимента

В качестве материала основы при ЭИЛ использовался стандартный промышленный твердый сплав ВК8 (92% WC – 8% Co) как чаще других применяемый в машиностроении и материаловедении; легирующими электродами выбраны чистые металлы Ti, Zr, Hf, а также карбид титана и сложные карбиды TiCrC и TiCrC+30%(FeCr).

Покрытия были получены с использованием установки ЭЛИТРОН-22А. Рабочий режим: сила тока $I_{cp} = 0,8$ А, напряжение $U = 65$ В, частота следования импульсов $f_{cp} = 100$ имп/сек.

Кинетика массопереноса при ЭИЛ измерялась с помощью электронных весов с точностью до 0,0001 г.

Образцы фотографировались на металлографическом микроскопе МИМ-10 цифровым фотоаппаратом при увеличении $800\times$.

Рентгенофазовый анализ проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 методом Дебая-Шеррера с фокусировкой по Брэггу-Брентано в режиме: 30 кВ, 25 мА, $3 \cdot 10^4$ имп/с.

Шероховатость поверхностей определялась на установке «Калибр-296» по значению R_a .

3. Виноградов Б.А., Гавриленко В.Н., Либенсон М.Н. Теоретические основы воздействия лазерного излучения на материалы: Учеб. пособие для вузов – Благовещенск: Благовещенский политехнический институт, 1993.

4. Верхотуров А.Д., Лулева В.П., Глабец Т.В., Козырь А.В. и др. Свойства и особенности формирования электроискровых покрытий на стали «45» тугоплавкими d-металлами // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 1. – С. 23-31.

Микротвердость образцов определялась с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Результаты и обсуждение

Основным показателем качества получаемого слоя является количество перенесенного с анода на катод материала. Кинетика массопереноса представлена на рис. 1, 2, 6, 7.

Исследования кинетики при ЭИЛ ВК8 чистыми металлами (рис. 1) позволяют сделать вывод о выгоде использования титана и его соединений для создания упрочняющих покрытий на твердых сплавах [5]. По сравнению с электродами из Hf, Zr использование в этом качестве титана дает наилучшие значения привеса по массе катода и времени хрупкого разрушения (пересечение линии $m(k)$ с осью абсцисс).

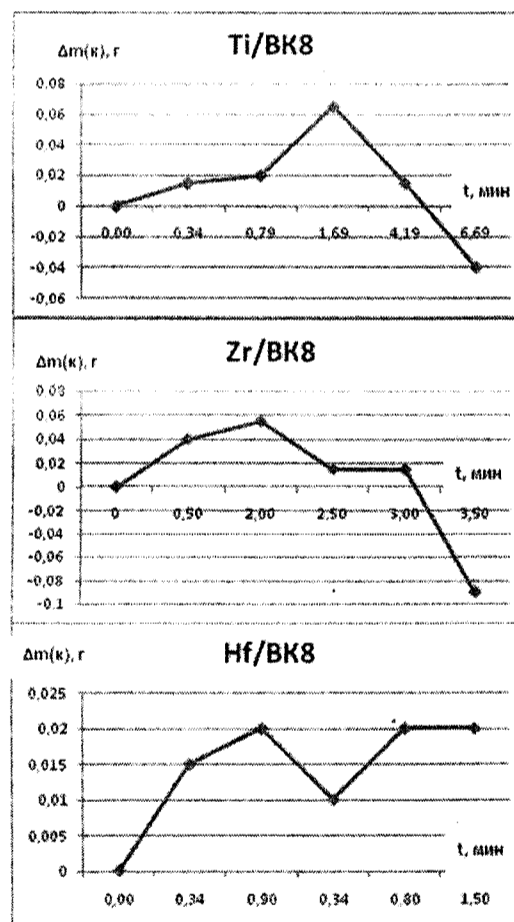


Рис. 1. Кинетика массопереноса при ЭИЛ ВК8 чистыми металлами.

На рис. 2 представлена кинетика массопереноса при ЭИЛ сплава ВК8 электродом из карбида титана. В данном случае хрупкое разрушение поверхностного слоя на катоде происходит на 14 минуте легирования. В структуре TiC обнаружены поры (рис. 3). Материал хрупкий с микродефектами.