

0,025), а интенсивность массового изнашивания снижается до $I_q = 0,32-0,41 \cdot 10^{-3}$ мг/м. После обработки при температурах 850 и 870 К регистрируется снижение микротвердости и износостойкости азотированного слоя. Это связано с отсутствием нитридной фазы (Fe,Cr)₃N и коагуляцией частиц CrN.

Литература

1. *Витязь, П. А.* Упрочнение газотермических покрытий: монография / П. А. Витязь, Р. О. Азизов, М. А. Белоцерковский. – Минск: Бестпринт, 2004. – 192 с.
2. *Белый, А. В.* Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота / А. В. Белый, В. А. Кукареко, А. Патеюк. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 244 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СТУПЕНЧАТОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

О. Г. Девойно, М. А. Кардаполова, О. Н. Кавальчук

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, тел.: (8 017) 331-00-45,
факс: (8 017) 293-92-23, e-mail: scvdmed@bntu.by*

Развитие важнейших отраслей современной промышленности невозможно без разработки и использования новых ресурсосберегающих технологий. Важная роль при этом принадлежит технологиям, позволяющим придать особые свойства поверхностным слоям.

Одним из эффективных методов упрочнения рабочих поверхностей деталей машин и инструмента является электроискровое легирование (ЭИЛ), позволяющее формировать поверхностные слои с высокой адгезионной прочностью к подложке. Процесс ЭИЛ характеризуется следующим закономерностями:

упрочняющий эффект зависит от состава анодного материала; наилучшие результаты получаются, когда материал анода

очень твердый и износостойкий, например вольфрам, титан или карбиды хрома;

упрочненный внешний слой есть результат взаимодействия анодных и катодных элементов, образующих твердые растворы, химические соединения, оксиды и нитриты;

перенос и взаимодействие электродных материалов, а также действие импульса высокой температуры и давления вызывают упрочняющий эффект и приводят к формированию неравновесных фаз [1, 2].

Электроискровые покрытия обладают рядом недостатков, которые значительно снижают их применение. В связи с этим разрабатываются различные технологии, призванные улучшить качество наносимых электроискровых покрытий. Проблема решается обработкой покрытий лазером. Цель лазерной обработки – уменьшить поверхностную пористость и избавиться от царапин, трещин и неоднородности, повысить плотность покрытия.

В НИИЛ плазменных и лазерных технологий БНТУ разрабатывается технология получения покрытий с варьируемым в широком диапазоне значений комплексом эксплуатационных характеристик сочетанием лазерной и электроискровой обработок. Проведены исследования влияние состава электрода на микротвердость, размерные параметры электроискровых покрытий после лазерной обработки.

Для исследований были использованы образцы стали 45 с твердостью сердцевины 40–45 HRC.

Предварительное электроискровое легирование проводилось на серийной установке ЭФИ-46А на средних режимах тока. Последующая лазерная обработка образцов проводилась на CO₂-лазере непрерывного действия «Комета-2» со следующими параметрами: диаметр пятна $d = 1$ мм; мощность $P = 1$ кВт; скорость луча $v = 200$ и 500 мм/мин; обработка проводилась в фокусе. Электроискровая обработка осуществлялась различными электродами: графитом, молибденом, вольфрамом и ВК20 (80% карбида вольфрама, 20 % кобальта).

Изучали распределение микротвердости по сечению образца на приборе ПМТ-3. Микротвердость измерялась на глубину

500 мкм, при этом рассчитывалось среднее значение по 25 измерениям. Полученные результаты были проанализированы и на их основе построена диаграмма, наглядно показывающая влияние состава электрода на микротвердость упрочненных слоев после лазерной обработки (рис. 1).

Наименьшая микротвердость наблюдается у образцов, легированных молибденом: $H_{\mu} = 5140$ МПа при скорости перемещения лазерного луча $v = 200$ мм/мин и $H_{\mu} = 7870$ МПа при $v = 500$ мм/мин. Наибольшая микротвердость наблюдается у образцов, легированных вольфрамом: $H_{\mu} = 6500$ МПа при скорости перемещения лазерного луча $v = 200$ мм/мин и $H_{\mu} = 9750$ МПа при $v = 500$ мм/мин.

На рис. 2 представлена зависимость глубины упрочненного слоя от режимов электроискровой и лазерной обработок. Суммарная глубина упрочненного слоя в зависимости от режимов находится в пределах 300–500 мкм. Причем с увеличением энергии импульса R от 4,5 до 86 А/Дж глубина верхнего наносимого слоя возрастает.

Получены регрессионные зависимости шероховатости электроискровых покрытий от параметров обработки. Оценка проводилась по параметру Ra , значение которого измерялось вдоль и поперек лазерной дорожки. Поскольку шероховатость Ra , измеренная поперек дорожек лазерной обработки служит оценочным параметром, используемым при назначении припуска, большое внимание уделялось именно этому параметру.

При малых значениях скорости луча лазера ($v_1 = 0,83 \cdot 10^{-3}$ м/с) среднее арифметическое отклонение Ra имеет наивысшее значение – 0,0495 мкм. С увеличением скорости до $v_4 = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с шероховатость уменьшается до 0,0185 мкм.

В случае лазерной обработки покрытий после электроискровой обработки при трех режимах для проведения эксперимента был выбран план $N = 2^3$ для трех качественных факторов (скорость луча лазера, диаметр луча, коэффициент перекрытия.)

Результаты планируемого эксперимента обрабатывались на ЭВМ. Полученные уравнения регрессии приведены в таблице.

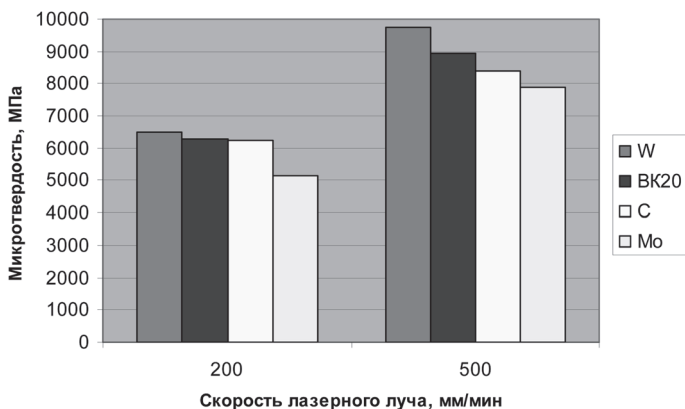


Рис. 1. Диаграмма влияния состава электрода на микротвердость слоев после лазерной обработки

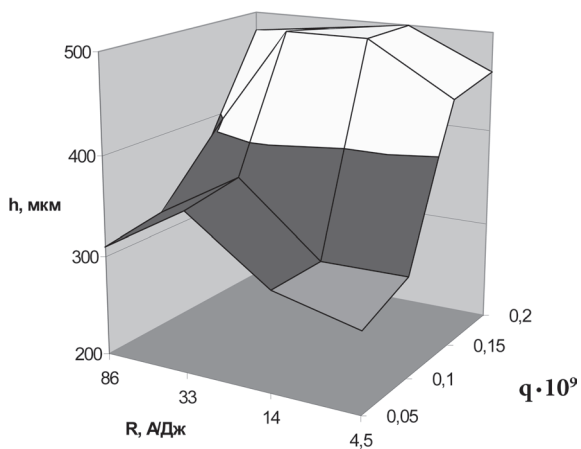


Рис. 2. Зависимость глубины упрочненного слоя от режимов ступенчатой обработки

Четко прослеживается общая закономерность – с увеличением скорости луча лазера и диаметра луча значение параметра Ra уменьшается.

Уменьшение высоты неровностей поверхности с ростом скорости луча лазера связано с интенсификацией процессов испарения.

Уравнения регрессии, связывающие шероховатость оплавленной поверхности и параметры лазерной обработки

Режим электроискровой обработки	Уравнения регрессии	Шероховатость, мм
1	$Y = 0,055 - 0,0102x_1 - 0,0055x_2 + 0,0048x_3 - 0,001x_1x_3 + 0,0015x_1x_2x_3$	0,0445–0,0635
3	$Y = 0,06 - 0,0079x_1 - 0,00588x_2 + 0,0011x_3 - 0,00188x_1x_2 + 0,0006x_1x_2x_3$	0,0461–0,0702
5	$Y = 0,056 - 0,0066x_1 - 0,00388x_2 + 0,0011x_3$	0,0466–0,0654

Увеличение диаметра луча уменьшает шероховатость поверхности. По-видимому, это связано с уменьшением плотности мощности при увеличении степени расфокусирования луча.

Коэффициент перекрытия не оказывает заметного влияния на шероховатость оплавляемых покрытий. При обработке с коэффициентом перекрытия 0,8 при наложении второй дорожки происходит оплавление первичного «гребешка» и образование вторичного ближе к центру первой дорожки. В результате рельеф поверхности представляет собой чередование «первичных» впадин и «вторичных» гребешков. Но не установлено какого-либо существенного изменения микронеровностей.

В настоящее время в НИИЛ ПиЛТ ведутся исследования влияния режимов лазерного воздействия на структуру, фазовый состав, физико-механические свойства поверхностных слоев электроискровых покрытий. Изучается влияние условий, схем обработки и состава упрочненного слоя на остаточные напряжения. Разрабатывается типовой технологический процесс для последующего внедрения.

Литература

1. *Петров, Ю. Н.* Электроискровое легирование металлических поверхностей / Ю. Н. Петров. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.
2. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г. В. Самсонов [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1976. – 220 с.