

9. Пикеринг, Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей / Ф.Б. Пикеринг. Пер. с англ. – М.: Metallurgia, 1982. – 184 с.

УДК 631.3.004.67:631.35.035.4

Д.И. БОРОВИК,
Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, д-р техн. наук (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ, ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В практике восстановления и упрочнения деталей машин широко используются технологии электрохимического осаждения металлов и сплавов. Наиболее эффективной и экономичной является технология электрохимического осаждения железа. Однако получаемые гомогенные электрохимические железные покрытия не удовлетворяют возросшим требованиям к восстанавливаемым поверхностям по твердости, износостойкости и другим специальным свойствам. Сказанное выше привело к идее модифицирования структуры покрытий с помощью дисперсных порошковых наполнителей [1] с целью создания композиционного электрохимического покрытия (КЭП). Подобные КЭП на железной основе существенно улучшили эксплуатационные свойства материала покрытий, но и они оказались с существенным недостатком. Недостаток проявляется в недостаточной прочности связи «частица – матрица», из-за которой происходит «выкрашивание» частиц в процессе изнашивания. Для повышения прочности связи «частица – матрица» стало обоснованным применение термической обработки [2], но при этом нежелательно подвергать изделие термической обработке полностью. Выходом из положения явилось применение концентрированных источников энергии, таких как лазерное излучение (ЛИ), для поверхностной обработки материала покрытия [3]. При этом поверхностный слой покрытия оплавляется и происходит легирование матрицы металла веществом наполнителя. Результат взаимо-

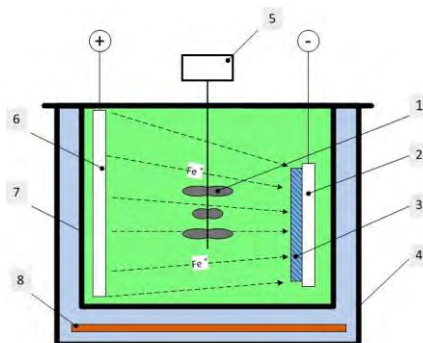
действия многокомпонентных частиц ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) с матрицей основного металла под воздействием ЛИ мало изучен и требует более внимательного рассмотрения.

В настоящей статье приведены результаты изучения влияния лазерной обработки на физико-механические свойства композиционного электрохимического покрытия. Исследования проводили на примере композиционного электрохимического покрытия (КЭП) на железной основе с добавлением дисперсной упрочняющей фазы. Покрытия получали из хлористого электролита-суспензии (ЭС) при механическом перемешивании и следующих режимах электролиза: температура электролита 65 ± 5 °С, плотность катодного тока 30 А/дм^2 , водородный показатель (рН) 1,0. Покрытия толщиной $\sim 0,3$ мм наносили на образцы из стали Ст3 площадью $0,25 \text{ дм}^2$. Анодную обработку образцов и деталей проводили в растворе 30 % серной кислоты при плотности тока 60 А/дм^2 в течение 1 мин.

Дисперсная фаза представляет собой порошок ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$), который не обрабатывали, только перед внесением предварительно замачивали в небольшом количестве электролита с добавлением ПАВ. После этого проводился контроль рН и смесь постепенно добавляли в рабочий электролит. Режим перемешивания во всех опытах был постоянным. Покрытия получали в электрохимической ванне объемом 5 л, оборудованной осевой лопастной мешалкой для поддержания постоянной концентрации дисперсной фазы (рисунок 1).

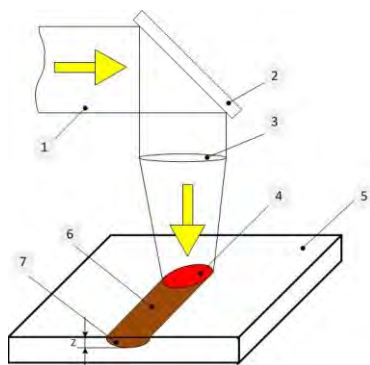
При проведении экспериментов был использован комплекс лазерной наплавки, состоящий из установки лазерной наплавки Комета-2 и манипулятора. Схема процесса представлена на рисунке 2. Режимы лазерной обработки (непрерывное излучение): мощность излучения – 1 кВт; диаметр пятна нагрева 1 мм; скорость перемещения пятна нагрева – 500–2500 мм/мин; расстояние между дорожками – 1 мм.

На рисунке 3, а представлена микроструктура покрытия без наполнителя. Электрохимическое железное покрытие обладает значительной сеткой трещин по всей поверхности. При этом трещины проходят от поверхности к подложке. Трещины вызваны высокими напряжениями, которые появляются в процессе осаждения электрохимического покрытия.



- 1 – мешалка; 2 – катод (подложка);
 3 – композиционное покрытие;
 4 – водяная баня; 5 – привод мешалки;
 6 – растворимый анод; 7 – корпус
 ванны осаждения; 8 – нагреватель

Рисунок 1 – Экспериментальная лабораторная установка для получения композиционных электрохимических покрытий



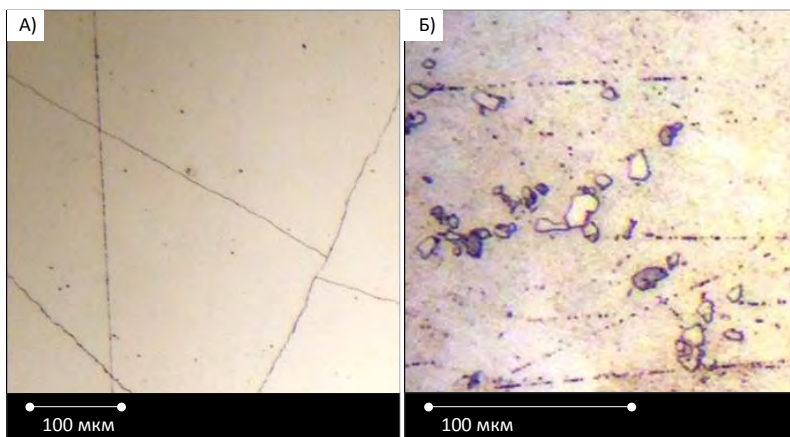
- 1 – лазерный пучок; 2 – управляющее
 зеркало; 3 – фокусирующая линза;
 4 – пятно нагрева; 5 – обрабатывае-
 мая поверхность; 6 – площадь зоны
 обработки; 7 – поперечный вид зоны
 обработки; Z – глубина зоны закалки

Рисунок 2 – Принципиальная схема лазерной обработки поверхности КЭП

В свою очередь, на рисунке 3, б представлена аналогичная микроструктура покрытия с добавлением наполнителя порошка ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) и обработанного лазерным излучением (ЛИ). После добавления в структуру электрохимического железа наполнителя и обработки ЛИ трещины практически отсутствуют, следовательно, можно говорить о том, что частицы наполнителя препятствуют появлению трещин и являются своеобразными концентраторами напряжений внутри КЭП, а лазерная обработка окончательно устраняет трещины с поверхности покрытия.

Очевидно, что по мере рассеяния тепловой энергии от пятна нагрева выявляются различные по свойствам слои покрытия. В зоне пятна нагрева формируется область гетерогенного материала, в которой происходят фазовые изменения в жидком состоянии (первый слой). Затем следует область с фазовыми и структурными превращениями в твердом состоянии (второй слой) и область с незначительным тепловым воздействием, в которой видимых изменений в

структуре покрытий не происходит (третий слой). В первых двух слоях под воздействием иницилирующего лазерного излучения происходит экзотермическая реакция в частицах дисперсной фазы между титановым ядром и слоем углерода на поверхности между компонентами дисперсных частиц с выделением дополнительной энергии, которая расходуется на образование устойчивой химической связи между дисперсной фазой и матрицей.



А) – электрохимическое железо; Б) – КЭП с наполнителем из ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$)

Рисунок 3 – Продольный шлиф электрохимического железного покрытия и КЭП после лазерной обработки

После проведения лазерной обработки КЭП был проведен количественный фазовый анализ наполнителя в покрытии. При сравнении гранулометрического состава порошкового наполнителя ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) до внесения его в электролит (рисунок 4) и дисперсного состава порошкового наполнителя ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) в КЭП (рисунок 5) стало очевидно, что в матричном материале покрытия (электрохимическом железе) закрепляются преимущественно частицы с размером 8 мкм (среднее значение – 7,84 мкм).

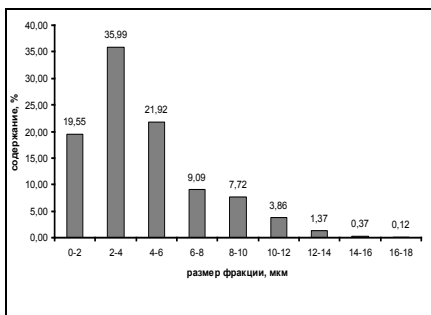


Рисунок 4 – Гранулометрический состав порошкового наполнителя ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) до внесения его в электролит

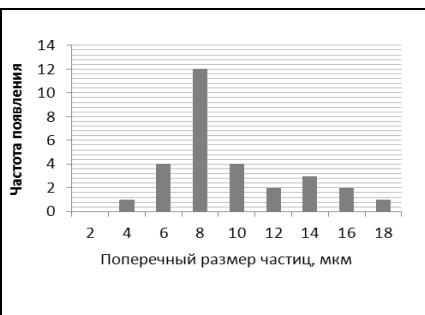


Рисунок 5 – Дисперсный состав порошкового наполнителя ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) в КЭП

Исследования твердости покрытий с наполнителем $10 \text{ г/дм}^3_{\text{эл-т}}$ ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) и без него, полученных при одинаковой плотности постоянного тока (30 А/дм^2), показали следующее: КЭП в зоне после лазерной обработки имеет твердость $\sim 7500 \text{ МПа}$, твердость участка КЭП, не подвергшихся обработке, обладает твердостью $\sim 3500 \text{ МПа}$, твердость электрохимического железа $\sim 1500 \text{ МПа}$.

Выводы. Твердость КЭП с наполнителем из композиционного порошка ($\text{Cr}_7\text{C}_3 - \text{TiC} - \text{Cr}_3\text{C}_2$) зависит от содержания частиц в матричном материале, где размер частиц находится в пределах $6-10 \text{ мкм}$.

Лазерное излучение благоприятно влияет на структуру КЭП, уменьшает пористость покрытия за счет оплавления, активизирует связь «частица – матрица». Участки КЭП, обработанные лазерным излучением, имеют повышенную твердость за счет микролегирования в зоне полного переплава.

Таким образом, лазерное излучение позволяет формировать на отдельных участках КЭП зоны с повышенной твердостью, при этом остальная часть восстановленной или упрочненной детали не подвергается термическому влиянию.

Литература

1. Формирование композиционных покрытий на основе железа при электрохимическом осаждении из растворов электролитов с керамическими наполнителями / Ф.И Пантелеенко [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 4. – С. 27–33.

2. Кисель, Ю.Е. О взаимосвязи электрофизических свойств электрохимических покрытий с фазовыми превращениями при их термической обработке / Ю.Е. Кисель // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 2. – С. 13–16.

3. Лазерная обработка износостойких композиционных электрохимических покрытий / Г.В. Гурьянов [и др.]. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 9. – С. 32–37.

УДК 669.714 621. 732.18

И.А ИВАНОВ, д-р техн. наук,
А.Г СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
В.А. ШЕЙНЕРТ (БНТУ)

АНАЛИЗ СОСТАВОВ И МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ КАТОДОВ–МИШЕНЕЙ ИЗ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ

Вакуумно-плазменная обработка сталей и сплавов, с формированием на их поверхности защитных слоев, широко используется для придания поверхности изделий из этих материалов специальных свойств. Наиболее известными и широко применяемыми являются покрытия на основе соединений титана с кремнием, азотом и углеродом. Использование таких соединений обусловлено их свойствами (высокие температуры плавления, твердость, жаропрочность, износ- и коррозионная стойкость) [1]. Процесс вакуумно-плазменного формирования покрытий на основе нитридов, карбидов или оксидов тугоплавких металлов из однокомпонентных металлических катодов достаточно прост в реализации и достаточно хорошо изучен. Качество таких покрытий определяется степенью химической чистоты катода-мишени, правильным выбором смеси