

УДК 629.621.432.691.9.048.4

**Н. М. Чигринова**, д-р техн. наук, профессор, **О. Н. Воронец**, аспирант  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь  
Тел.: (37529) 7634938, E-mail: [chygrynova@yandex.ru](mailto:chygrynova@yandex.ru)

## РАЗРАБОТКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКЕ, МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ

*В статье приведены некоторые результаты особенностей создания покрытий на поверхности образцов методом электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием.*

**Ключевые слова:** комплексная обработка, электроискровое легирование, 3-D-технологии.

**N. M. Chigriniva, O. N. Voronets**

### DEVELOPMENT OF WEAR-RESISTANT COATINGS ON STEEL CASTING, BY METHOD OF ELECTROSPARK PROCESSING

*The paper presents some results of the features of creating coatings on the surface of samples by the method of electrospark doping with additional ultrasonic action.*

**Keywords:** complex processing, electrospark alloying, 3-D-technology.

#### 1. Введение и постановка проблемы.

Надежность и долговечность большинства изделий современной техники в значительной степени зависит от работоспособности и срока службы многочисленных узлов трения (трибосистем) различных систем и механизмов машин и их агрегатов. Процессы разрушения деталей машин в подавляющем большинстве случаев начинаются с поверхностных зон. Поверхности деталей подвергаются изнашиванию, коррозии, усталостному и другим видам разрушения. Надежность трибосистем определяется главным образом износостойкостью подвижно сопряженных деталей, которая зависит от физико-механических свойств материалов этих деталей и качества обработки сопряженных поверхностей. Свойства материалов трибосистем как и всех конструкционных материалов зависят от химического состава и структуры материалов. Для деталей узлов трения определяющим для надежности и долговечности трибосистемы является структура и свойства поверхностных слоев.

Следовательно, повышение износостойкости деталей трибосистемы является актуальной научно-технической задачей современного машиностроения. Эта задача относится к числу наиболее сложных в науке и технике, поскольку требует анализа сложных взаимосвязанных процессов в зоне трения, которые можно изучить и описать только на основе фундаментальных положений физики, химии, материаловедения.

В течение последних десятилетий разработаны различные методы повышения износостойкости деталей узлов трения. Наибольшую актуальность приобретают технологии получения износостойких и упрочненных покрытий высокоэнергетической обработкой. Каждый из известных в настоящее время методов имеют свои достоинства и недостатки, ограничивающие область их применения. Поэтому разработка эффективного, достаточно простого для освоения в промышленном производстве и экономичного метода повышения износостойкости остается актуальной научной и практической задачей [1].

Сегодня известно множество различных технологий и методов, способных улучшить свойства и качество стандартных изделий, но большинство из них либо

весьма трудо-, энергоемки и ресурсозатратны, либо не гарантируют получения ожидаемых результатов.

Выбор методов формирования функциональных покрытий определяется условиями эксплуатации упрочняемого изделия и исходным состоянием его рабочих поверхностей.

К перспективным методам формирования функционально-адаптированных покрытий, способных ограничить или предотвратить разрушение металлической подложки в условиях термоудара в агрессивных газовых средах, могут быть, электроискровое легирование с дополнительным ультразвуковым воздействием – ЭИЛ с УЗВ.

Выбор указанной технологии обусловлен наличием в контактной зоне металл-покрытие высокотемпературной плазмы, что обеспечивает необходимую адгезию формируемого покрытия с подложкой, минимальную пористость его структуры и сниженный в результате ультразвукового воздействия уровень остаточных напряжений в его кристаллической решетке

При указанной обработке происходит комплексное энергетическое воздействие на материал изделия, состоящее в одновременном поглощении его поверхностью потока заряженных частиц при массопереносе легирующего электрода при импульсных разрядах в момент возникновения искры, и поглощении акустической энергии, задаваемой ультразвуковыми колебаниями эродирующего электрода [2]. Такое воздействие обеспечивает формирование на обрабатываемой поверхности сплошных покрытий с высокой, на уровне механической прочности обрабатываемого материала, адгезией, легирование приповерхностного слоя металлической основы необходимыми добавками на глубину до 100 мкм, а также образование в приповерхностном слое изделия мелкокристаллических и наноструктур, обладающих повышенной прочностью и пластичностью. Упрочняемая зона насыщена двойными и тройными карбидными системами в сферической форме, определяющими максимально возможную степень упрочнения. Кроме того, ультразвуковое модифицирование одновременно с гомогенизацией структуры упрочняемой поверхности приводит к выравниванию градиента напряжений в кристаллической решетке поверхностных слоев изделия, устраняя таким образом основные недостатки подавляющего большинства технологий формирования покрытий – структурную нестабильность, пористость, несплошность, хрупкость, легкую повреждаемость и скалываемость покрытия при ударных, температурных и прочих воздействиях. Например, по сравнению с булатированным инструментом, твердость упрочненной поверхности которого не превышает 55-60 HRC, сформированное предлагаемым способом износостойкое покрытие имеет твердость более 70 HRC, что заметно превосходит твердость сердцевины упрочняемого материала [3].

В результате применения указанных схем обеспечиваются:

- возможность использования в качестве легирующих электродов сложнокомпонентных либо синтезируемых композиционных материалов, обеспечивающих создание на рабочих поверхностях полифункциональных покрытий;
- улучшение адгезии покрытия с подложкой;
- снижение шероховатости упрочненных рабочих поверхностей;
- увеличивает ресурс изделия;
- увеличение срока безремонтной эксплуатации;
- уменьшение количества ремонтов;
- возможность использования при восстановлении и одновременном упрочнении жестко-допускных изделий типа плунжерных пар, что практически невозможно выполнить каким-либо иным способом формирования покрытий;

- существенно уменьшая энергоемкость и стоимость покрытия по сравнению с газопламенными и ионно-плазменными методами, лазерной обработкой;
- отсутствие необходимости в последующей механической обработке.
- уменьшение трудо-, энерго- и материальных затрат на подготовку упрочненного изделия к эксплуатации за счет исключения из технологического цикла операции механической дообработки поверхности после ее упрочнения данным методом.

## 2. Результаты исследования

Еще одним способом, улучшающим свойства электроискровых покрытий, в частности, жаростойкость является последующий отжиг сформированной поверхности.

Такую комплексную обработку целесообразно применять, когда требуется повысить прочность, стойкость различным видам внешнего воздействия, а также снизить хрупкость металлической поверхности. Например, когда изделие должно функционировать в условиях термоциклирования (детали цилиндрической группы в ДВС) или интенсивного абразивно-механического износа: различные виды штамповой оснастки, уплотнительные кольца, кольца подшипников и т.п. [4].

Однако, поскольку электроискровое легирование не позволяет формировать беспористые покрытия, окисление поверхности объекта после указанной обработки при высоких температурах неизбежно. Основным недостатком отжига – это его большая продолжительность, возможная неравномерность зеренного строения в центре и на поверхности крупногабаритных изделий, вызванная неодинаковой скоростью охлаждения.

Применение комплексной технологии базового ЭИЛ с последующей термической обработкой, как показывает практика, оправдано лишь в тех случаях, когда в качестве легирующих анодов не применяются твердосплавные композиции на основе вольфрамо-кобальтовых сплавов, которые начинают интенсивно окисляться при нагреве.

Еще одним ограничивающим использование данного комплексного метода фактором является назначение металлического объекта: при его эксплуатации в рабочих условиях, когда требуются высокие характеристики износостойкости и прочности, данный метод лучше не применять.

Микроструктурный анализ показал, что толщина электроискрового слоя составила 20-30 мкм, а зона термического влияния простирается на 15-20 мкм в основу (рис.1.2). На фотографии можно увидеть четкую границу между покрытием и основной, а также поры микротрещины. Как видно из рис. 1 микротвердость электроискровых покрытий уменьшилась незначительно, а именно на 21%. Это снижение может быть причиной перераспределения внутренних напряжений, а также приводит к снижению пористости поверхностного слоя и исчезновению микротрещин.

Среднее значение силы трения (в момент приработки), полученное во время триботехнических исследований для электроискровых покрытий приблизительно на 30 % выше тех значений, которые для таких же покрытий после обработки.

## 3. Электроискровое легирование и 3-D-технологии.

Такая аддитивная технология может обеспечить работу металлических объектов с комбинированными покрытиями практически в любой агрессивной и силовой среде с максимальным рабочим ресурсом за счет получения функциональных износостойких слоев с практически нулевой пористостью и однородной структурой, высокими антифрикционными и коррозионностойкими свойствами [5].

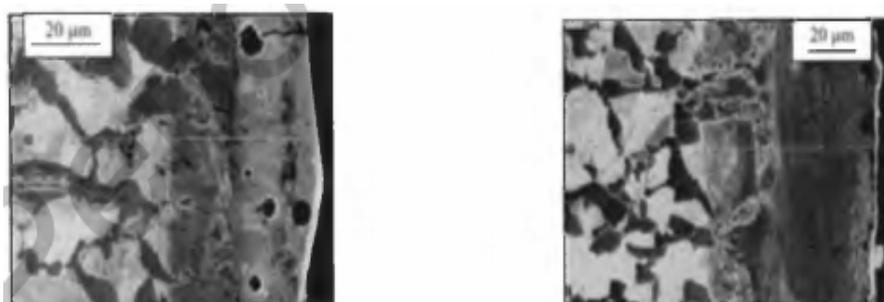


Рисунок 1. Микроструктуры электроискрового покрытия (а) и электроискрового покрытия после термообработки (б)

Так, например, для работы детали в агрессивной среде применяют полимерное покрытие с использованием технологии 3D- печати (рис. 2). С использованием технологии 3D- печати за основу берется принцип послойного создания поверхности изделия. Основой этой технологии является следующий принцип: при помощи маленьких сопел полимер наносится на поверхность и сразу полимеризуется под воздействием УФ излучения. Отличительными особенностями этого метода является то, что можно использовать широкий диапазон материалов (полимерный пластик разного состава, цвета и плотности), использовать небольшую толщину слоя (до 16 микрон - подходит для создания мелких и гладких деталей) и относительно быстро печатать за счет использования жидких материалов. Polyjet - это единственная технология, по крайней мере сегодня, которая позволяет комбинировать сразу несколько материалов в одном прототипе! Но есть и недостатки, главным из которых является тот факт, что можно печатать только с использованием полимерного пластика (как правило, полимерные пластики очень дорогие). Применяется технология Polyjet в основном в промышленности, медицине и образовании, хотя на сегодняшний день есть и бытовые модели 3d принтеров для различных целей.

Исходным продуктом является полимер, в который добавлен специальный реагент-отвердитель, и эта смесь напоминает эпоксидную смолу, только в обычном состоянии она остается жидкой, а полимеризуется и становится твердой под воздействием ультрафиолетового лазера. Речь может идти только о последовательном построении тонкими слоями.

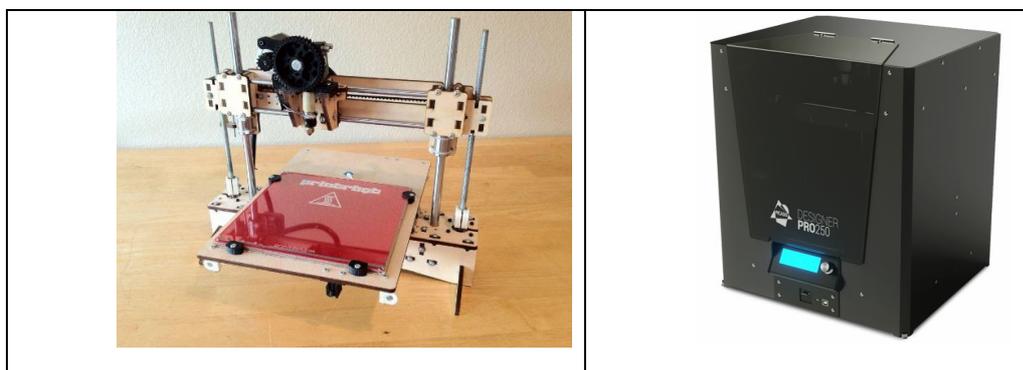


Рисунок 2. Модели 3D- принтера для создания покрытий на металлических поверхностях

Требования к самому полимеру достаточно противоречивы: если он будет густым, то его легче полимеризовать, но сложнее обеспечить ровную поверхность после каждого шага погружения; приходится использовать специальную линейку, которая на каждом шаге проходит по поверхности жидкости и выравнивает ее. Большое количество отвердителя при фиксированной мощности лазера позволит уменьшить необходимое время воздействия, однако неизбежная фоновая засветка «портит» окружающий объем полимера и сокращает возможный срок его использования.

#### 4. Заключение

На основании проведенного критического анализа существующих методов комплексной обработки поверхностей металлических объектов с целью увеличения их рабочего ресурса и придания им улучшенных эксплуатационных характеристик были сделаны следующие выводы:

1) рассмотренные известные методы, в том числе относительно новые, поверхностного упрочнения деталей с целью повышения механических и триботехнических свойств, методы, не удовлетворяют в полной мере современным требованиям к эффективности, универсальности и экономичности технологических процессов;

2) повышение требований к поверхностной прочности и износостойкости деталей узлов трения машин приводит к необходимости совершенствования известных и разработки новых высокоэффективных технологических методов поверхностного упрочнения конструкционных материалов. Большие потенциальные возможности имеют методы поверхностного модифицирования деталей машин, включая детали трибосистем, с применением высококонцентрированных потоков энергии;

3) одним из наиболее перспективных можно считать метод электроискровой обработки, при котором формируются и используются потоки частиц высокой плотности энергии при импульсном воздействии на обрабатываемую деталь, позволяющий создавать поверхностные структуры с повышенными механическими и триботехническими свойствами при значительной простоте технологического оборудования и экономичности процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетян, Н. А. Повышение износостойкости конструкционных сталей / Н. А. Айрапетян // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – №5. – С. 32-36.
2. Фельдштейн, Е. Э. Трибологические характеристики покрытий, полученных электроискровым легированием с последующим лазерным упрочнением. / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Кардаполова, Г. Б. Хородыски, О. В. Кавальчук // Трение и износ. – 2013. – Том 34. – № 2. – С. 175-180.
3. Алимбаева, Б. Ш. Восстановление деталей электроискровым легированием. / Б. Ш. Алимбаева, Е. Н. Миловидов // Материалы Межвуз. науч.-практ. конф. «Совершенствование системы эксплуатации ВВСТ» – Омск: ОАБИИ, 2014. – С. 126-129.
4. Алимбаева, Б. Ш. Синтез нанокompозитных покрытий с повышенными физико-механическими свойствами методом электроискрового легирования. / Б. Ш. Алимбаева, Д. Н. Коротаев, Ю. К. Машков // Омский научный вестник. – Омск, 2013. – №2(120). – С. 133-136.
5. Алимбаева, Б. Ш. Формирование упрочненных поверхностных слоев методом электроискрового легирования в различных технологических условиях. / Б. Ш. Алимбаева, Д. Н. Коротаев, М. Ю. Байбарацкая // Технологии упрочнения, покрытий и ремонта: теория и практика: в 2-х ч.– 2011. С. 20-23.

Поступила в редколлегию 16.05.2017 г.