

УДК 621. 9.048.4

Н. М. Чигринова¹, д-р техн. наук, проф., **С. И. Ловыгин²**, аспирант,
В. Е. Чигринов¹, **Ю. И. Касач¹**, магистр

¹Белорусский национальный технический университет г. Минск, Республика Беларусь

²ОХП ИСЗП ГНУ «Институт порошковой металлургии» г. Минск, Республика Беларусь
Тел./Факс: +375 17 293 95 81; E-mail: chigrynova@ya.ru

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

В статье приведены результаты исследований применения ультразвуковой обработки различной интенсивности в получении толстых многослойных покрытий, формируемых на форсированных режимах электроискрового легирования с ультразвуковым воздействием с их последующим оплавлением. Показано, что низкий уровень искажений в материале анода после его обработки с применением ультразвука свидетельствует об уменьшении уровня внутренних напряжений в металле, и его более стабильном состоянии. Установлено, что электроискровая обработка с применением ультразвука на форсированных режимах позволяет получать покрытия, толщина которых в 2,1 раза больше, чем при однократной обработке на серийной установке и в 1,3 раза больше по сравнению с толщиной покрытия, полученного многократным легированием на серийном оборудовании.

Ключевые слова: электроискровое легирование, ультразвуковое воздействие, внутренние напряжения, шероховатость поверхности, оплавление выступов покрытия

N. M. Chigrinova, S. I. Lovygin, V. E. Chigrinov, Yu. I. Kasach

ENGINEERING OF SURFACE LAYER OF METAL PRODUCTS WITH ELECTROMECHANICAL ACTION OF VARIABLE INTENSITY

In the article results of researches of application of ultrasonic processing of various intensity in reception of thick multilayered coatings formed on the forced modes of electrospark alloying with ultrasonic influence with their subsequent reflowing are resulted. It is shown that a low level of distortion in the anode material after its processing with the use of ultrasound indicates a decrease in the level of internal stresses in the metal, and its more stable state. It is established that electric spark treatment using ultrasound on forced modes allows obtaining coatings with a thickness 2.1 times greater than in a single treatment at a serial installation and 1.3 times greater than the thickness of a coating obtained by multiple doping with serial equipment.

Keywords: electrospark alloying, ultrasonic action, internal stresses, surface roughness, reflow of coating protrusions.

1. Введение

Машиностроение является одним из основных факторов, определяющих развитие мировой экономической системы. Его технологический уровень диктует ценовые и качественные параметры продукции предприятий промышленности и смежных отраслей, обеспечивает их конкурентоспособность. В этой отрасли народного хозяйства формируется мультипликативный эффект, проявляющийся на макроэкономическом, отраслевом и региональном уровнях. Он позволяет обеспечить рост экономики, повысить занятость и благосостояние людей и тем самым реализовать приоритеты государственной социально-экономической политики.

Однако в этой отрасли народного хозяйства существует множество нерешенных проблем. Так, сроки фактической эксплуатации машин и оборудования превышают нормативные в 23 раза, затраты на ремонт техники оставляют почти 12–15 %.

Отсутствие ряда позиций техники конкурентоспособного отечественного производства вынуждает многие предприятия и хозяйства приобретать

зарубежную технику, доля которой в структуре машиностроительного парка постоянно увеличивается. Поэтому, учитывая нынешнее состояние и перспективы развития, которые предусматривают увеличение выпуска машиностроительной продукции и снижение ее себестоимости, разработка и исследование новых ресурсосберегающих направлений и методологических подходов к повышению эффективности машиностроительного производства за счет совершенствования эксплуатации и ремонта быстро и глубоко изнашиваемых узлов и механизмов актуальны и решают целый ряд важных народнохозяйственных задач.

Современные инновационные процессы в машиностроении базируются, в частности, на инженерии поверхностного слоя металлических объектов, осуществляемой с применением широкого ряда современных методов. Весьма востребованными являются и различные ремонтные технологии, позволяющие продлевать сроки эксплуатации изделий машиностроения, экономя тем самым энерго-, материальные и прочие ресурсы.

Весьма эффективным методом ремонта и восстановления геометрических размеров жесткодopusкных изделий за счет формирования в критических зонах изделий функционально адаптированных покрытий является интегральный метод электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием (ЭИЛ с УЗВ)[1]. Однако во многих сегментах машиностроительного комплекса узлы и механизмы машин подвергаются при эксплуатации серьезному абразивно-механическому износу, превышающему возможности восстановления изношенных поверхностей интегральным методом ЭИЛ с УЗВ. Поэтому в процессе проводимых исследований и экспериментов авторы пришли к выводу, что для ремонта и восстановления геометрии *сильно* изношенных поверхностей необходимо расширить ареал применимости этой малоэнергоёмкой, дешевой, мобильной технологии за счет разработки и применения дополнительных приемов воздействия на процесс формирования защитных покрытий для обеспечения их необходимых параметров.

В данном исследовании рассмотрены роль и место ультразвуковой обработки различной интенсивности в получении толстых многослойных покрытий, формируемых на форсированных режимах ЭИЛ и УЗВ с их одновременным оплавлением на ультразвуковой частоте.

2. Основное содержание и результаты работы

С целью установления механизмов влияния электромеханических воздействий переменной интенсивности и очередности ультразвуковой обработки в процессе формирования покрытия на изменение состояния материала легируемого анода и параметры формируемого покрытия были подготовлены две группы экспериментальных образцов: первую группу составили образцы стали Ст.45 после однократного типового УЗВ и ЭИЛ+УЗВ на серийном оборудовании, вторая группа состояла из образцов, на поверхности которых покрытия создавались на форсированных режимах УЗВ и ЭИЛ многократной обработкой.

Методически при обработке группы № 1 процесс осуществлялся с использованием серийных установок ЭИЛ и УЗВ, а при обработке группы № 2 – с применением серийной установки ЭИЛ с частотой вибровозбудителя 600 Гц и скоммутированной с ней усовершенствованной серийной установки УИЛ-2 большей мощности и с увеличенной частотой следования рабочих импульсов легирующего анода с частотой его вибрации 22 кГц [2]. В качестве анода применяли твердосплавный электрод Т15К6.

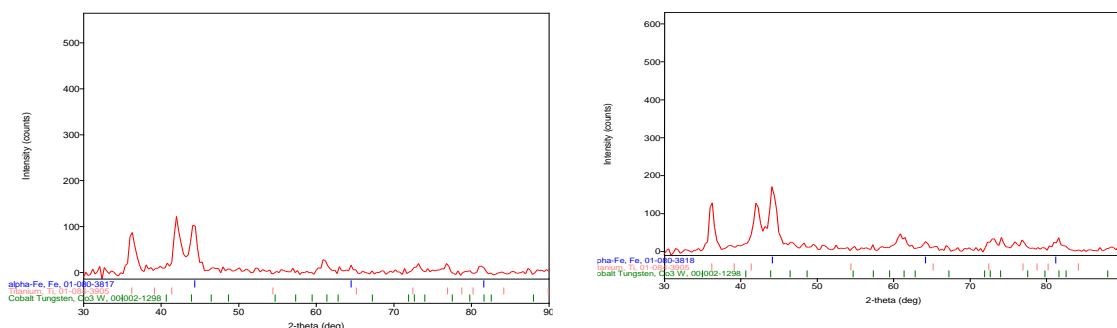
Основными требованиями к материалу оплавляющего анода было его минимальное влияние на химический состав формируемого покрытия, а также высокие теплопроводность и электроэрозионная стойкость. В данном исследовании таким оплавляющим электродом-анодом была выбрана медь марки М1.

Влияние интенсивности электромеханического воздействия и очередности ультразвуковой обработки иллюстрируются данными рентгенофазового анализа (табл.1) и результатами гравиметрических измерений (табл.1 и рис.1) и рис.2.

Таблица 1. – Параметры кристаллической решетки и изменение внутренних напряжений в металлической основе после различных видов энергетических воздействий

Состав	Параметры кристаллической решетки			Микроискажения кристаллической решетки, (%)
	a, (Å)	b, (Å)	c, (Å)	
после ЭИЛ				
Fe	2,903	2,903	2,903	0,46
Ti	2,846	2,846	4,416	1,05
Co ₃ W	4,989	4,989	4,230	6,0
после ЭИЛ+УЗВ				
Fe	2,901	2,901	2,901	0,31
Ti	2,857	2,857	4,27	0,72
Co ₃ W	5,19	5,19	4,09	2,73

Сравнение параметров и уровня искажений кристаллической решетки материала анода после электромеханических воздействий различной интенсивности и анализ их соответствия аналогичным параметрам материала анода в его исходном состоянии показывают, что в исходном металле и после его обработки типовым электроискровым методом параметры решетки практически не изменяются, а уровень искажений в ней после типового однократного электроискрового легирования увеличен в 1,7 раза (0,274 % – в исходном материале, 0,460 % – после ЭИЛ), что не противоречит известным данным о появлении дополнительных напряжений в материале в результате электроискровой обработки [3].



а) б)
 Рисунок 1. Характер интенсивности рентгеновских линий титана в материале основы после различных видов ее обработки:
 а) после ЭИЛ б) после ЭИЛ+УЗВ

После комбинированного однократного ЭИЛ+УЗВ воздействия в решетке материала анода уровень искажений по сравнению с этим же параметром в исходном материале увеличен в 1,1 раза, но в 1,5 раза ниже, чем после типового ЭИЛ.

Более низкий уровень искажений в материале анода после его обработки с применением ультразвука свидетельствует об уменьшении уровня внутренних напряжений в металле, о его более стабильном состоянии [4]. При этом зафиксировано некоторое возрастание активности основных элементов полученного покрытия (рис.1), что является предпосылкой для более активного прироста толщины формируемого покрытия. Интересна отмеченная особенность влияния УЗВ на материалы с различной исходной твердостью: чем мягче материал, тем сильнее влияние УЗВ на его кристаллическую структуру и ее искажений (табл. 1 по Co₃W).

Очередность УЗВ оказывает заметное влияние на состояние обрабатываемой поверхности, что в свою очередь приводит к изменению особенностей образования и роста покрытия. Так, характер полученной с помощью гравиметрического метода диаграммы контроля массы подвергнутых перечисленным выше воздействиям образцов иллюстрирует влияние очередности УЗВ на интенсивность массопереноса материала анода при электроискровом легировании (рис.2). Анализ данной диаграммы позволяет заключить, что УЗВ на первой стадии формирования покрытия активизирует поверхность металлической основы, в материале которой интенсифицируются анодно-катодные взаимодействия, результатом чего является более активный прирост массы покрытия [5].

В образце, полученном по схеме с УЗВ на последней стадии образования покрытия при использовании типовых режимов обработки, прирост массы несколько снижается, что можно объяснить уплотнением переносимого материала анода в процессе высокочастотных механических ударов электрода-анода [3].

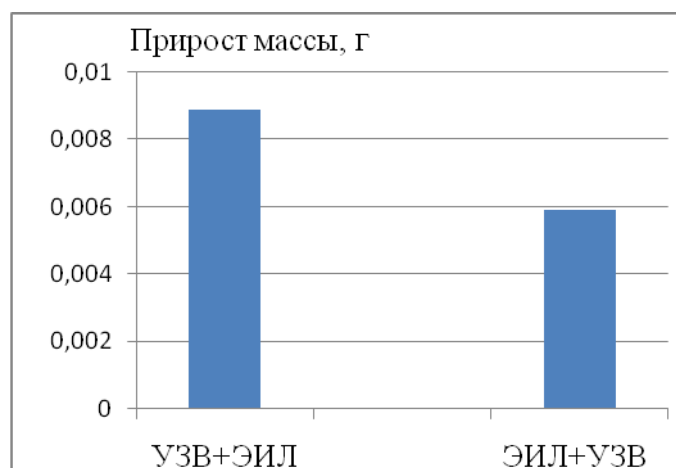


Рисунок 2. Прирост массы покрытия в зависимости от характера обработки поверхности стального катода

На рис. 3 показана кривая изменения толщины покрытия в зависимости от очередности и интенсивности УЗВ: при однократной обработке на серийной установке (поз.1 и 3) и при многоцикловом воздействии на форсированных режимах, реализуемых созданным устройством [2] (поз. 4 и 5).

Как видно из данного графика, многоцикловая обработка по схеме УЗВ+ЭИЛ на форсированных режимах позволяет получать покрытия, толщина которых в 2,1 раза больше, чем при однократной обработке на серийной установке (поз.5 и 1

соответственно) и в 1,3 раза больше по сравнению с толщиной покрытия, полученного многократным легированием на серийном оборудовании. Подтверждением целесообразности многоцикловой обработки по комбинированной схеме ЭИЛ+УЗВ+ЭИЛ+УЗВ являются данные по шероховатости поверхности покрытий, сформированных согласно указанным на графике схемам.

Степень снижения толщины слоев при оплавлении выступов сформированного покрытия составила 3,2 %, что существенно больше снижения его массы, не превышающего 0,14 %. Это свидетельствует о перераспределении объемов материала на поверхности покрытия и подтверждается заметным снижением шероховатости (рис.4).

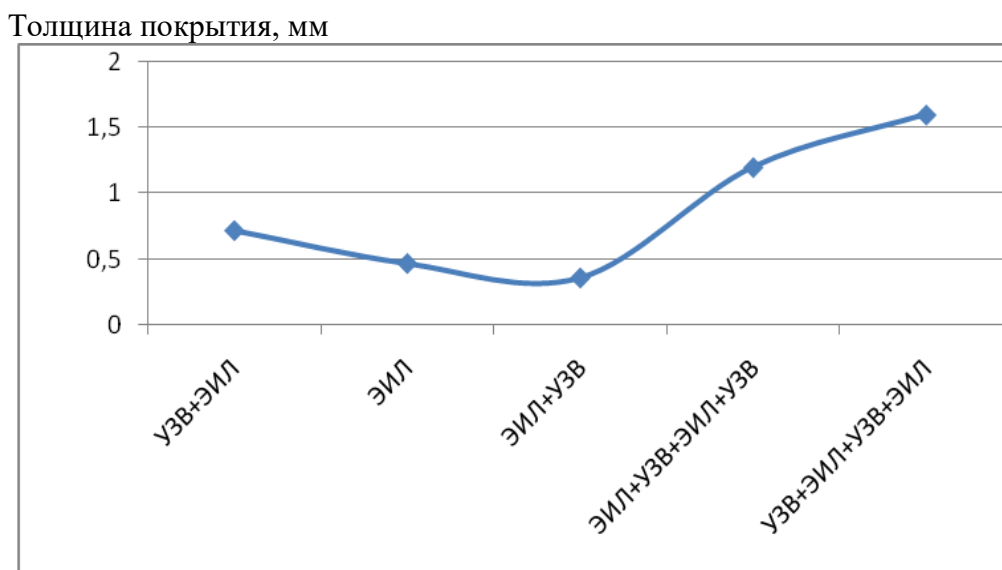


Рисунок 3. Толщина электроискрового покрытия, полученного при различной очередности и интенсивности ультразвукового воздействия

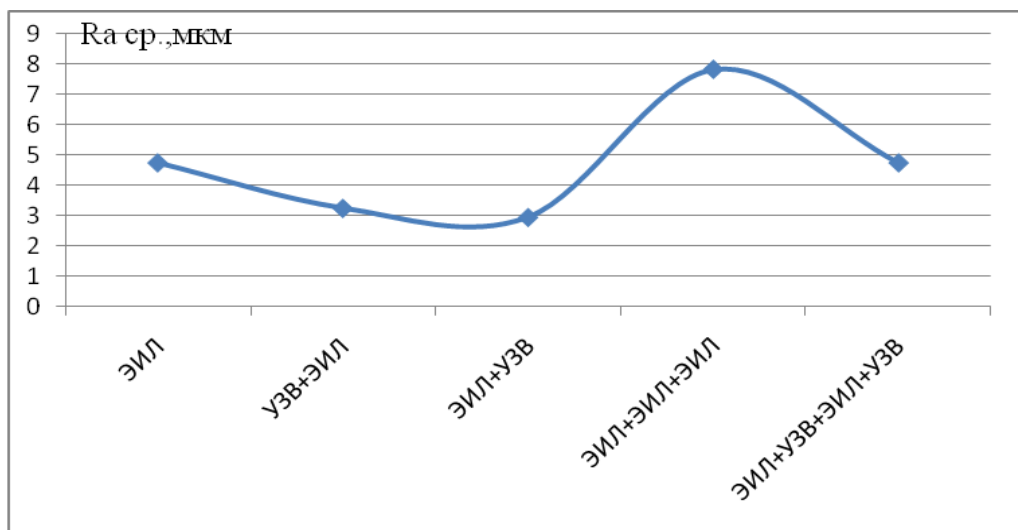
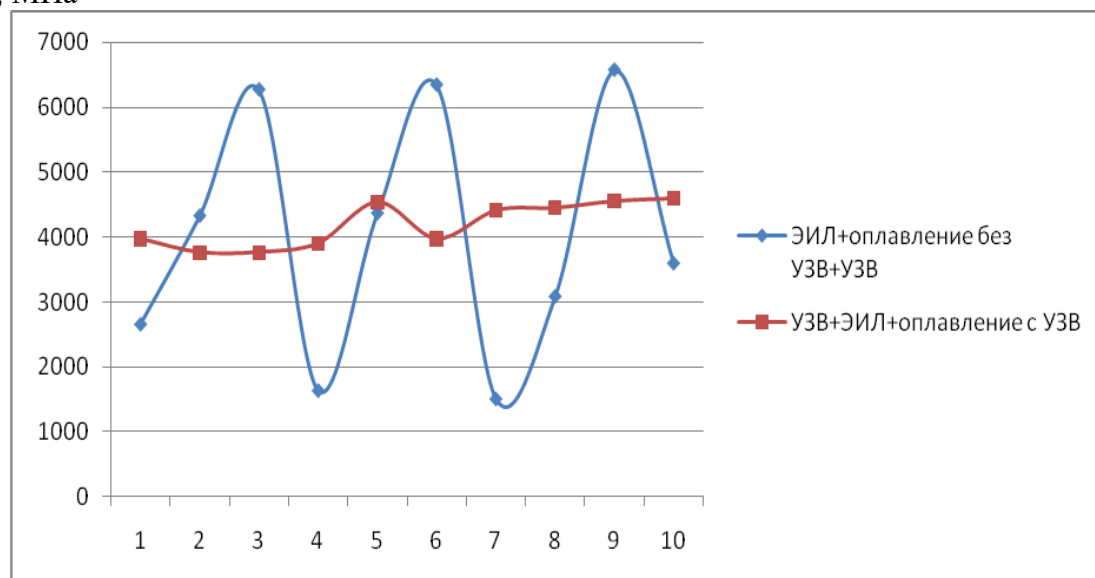


Рисунок 4. Изменение средних значений Ra на поверхности покрытий, полученных согласно изучаемым схемам обработки поверхности стального катода

Анализ полученной кривой указывает на определяющую роль ультразвука в процессе повышения качества поверхности формируемых покрытий. При этом очередность УЗВ обуславливает характер этого повышения: УЗВ на последней стадии формирования покрытия более заметно снижает шероховатость поверхности покрытия, чем при его получении с ультразвуком на первоначальной стадии процесса. Роль очередность ультразвуковой обработки хорошо просматривается при контроле микротвердости, измеренной по методике Кнуппа (рис.5).

Как видно из рис. 5, наличие ультразвукового воздействия на первой и последней стадиях формирования покрытий на форсированных режимах обуславливает более равномерную микротвердость по поверхности покрытия: разброс в величине H_{μ} заметно меньше, чем в образце, в котором операция оплавления осуществлялась без применения УЗВ и ультразвук использовался только на последней стадии создания покрытия. При этом средняя микротвердость поверхности после обработки с двойным ультразвуковым воздействием составляет 4300 МПа, а после обработки с УЗВ только на последней стадии получения покрытия она несколько меньше и не превышает 4030 МПа.

H_{μ} , МПа



Зоны замеров по сечению образца, мм

Рисунок 5. Характер изменения микротвердости по сечению покрытия в зависимости от схемы его получения

Это малозначительное снижение микротвердости не сказывается на свойствах поверхности, которые, напротив, существенно возрастают в связи с ультразвуковым воздействием на материал, в результате которого понижается уровень внутренних напряжений, система быстрее приходит в равновесное состояние и все процессы в анодно-катодных контактных областях происходят более стабильно и быстро.

3. Заключение

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1) Инженерия поверхности при электромеханическом воздействии переменной интенсивности на материал анода при формировании электроискровых покрытий определяет характер протекающих в анодно-катодной области процессов. Наиболее значимую роль в комбинированном ЭИЛ+УЗВ электромеханическом воздействии на материал анода играет ультразвуковая обработка и ее очередность в процессе формирования покрытия;

2) Более низкий уровень искажений в материале анода после его обработки с применением ультразвука свидетельствует об уменьшении уровня внутренних напряжений в металле, о его более стабильном состоянии. При этом зафиксировано некоторое возрастание активности основных элементов полученного покрытия, что и объясняет более активный прирост его толщины. УЗВ на первой стадии формирования покрытия активизирует поверхность металлической основы, в материале которой интенсифицируются анодно-катодные взаимодействия, результатом чего является более активный прирост массы покрытия. Наличие ультразвукового воздействия на первой и последней стадиях формирования покрытий обуславливает более равномерную микротвердость по поверхности;

3) Многоцикловая обработка по схеме УЗВ+ЭИЛ+УЗВ+ЭИЛ+ на форсированных режимах позволяет получать покрытия, толщина которых в 2,1 раза больше, чем при однократной обработке на серийной установке и в 1,3 раза больше по сравнению с толщиной покрытия, полученного многократным легированием на серийном оборудовании. В результате оплавления слоев многослойного покрытия происходит перераспределение объемов материала на поверхности, повышение ее сплошности и снижение шероховатости. При этом УЗВ на последнем этапе получения покрытия более заметно снижает шероховатость его поверхности, чем при обработке с ультразвуком на первоначальной стадии процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чигринова, Н. М. Интенсификация процессов микроплазменного упрочнения и восстановления металлических изделий повышенной точности электромеханическим воздействием: дис. ... д-ра техн. наук / Н. М. Чигринова. – Минск: с прил., 2010. – 265 с.

2. Пат. 8228 Устройство для обеспечения ультразвукового воздействия на поверхность с переменной частотой и интенсивностью / Авт. Чигринова Н. М., Хохряков С. А., Ловыгин С. И.

3. Лазаренко, Н. И. О механизме образования покрытия при электроискровом легировании металлических поверхностей / Н. И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1965. – № 1.

4. Абрамов, В. О. Теоретический анализ ультразвукового поверхностного упрочнения / В. О. Абрамов [и др.] // Материаловедение. – 1997. – № 7. – С. 7–14.

5. Chigrinova, N. M. Physical simulation of heat and mass-transfer in microplasma and spark processes with various ambiances / N. Chigrinova // Eleventh International Workshop on New Approaches to High-Tech: Nano Design, Technology, Computer Simulations, Bayreuth, Germany, 17-21 September 2007. – Bayreuth, 2007. – Vol.11. – P. 1–6.

Поступила в редколлегию 12.05.2018 г.