

УДК 621.9.048 DOI 10.36910/6775.24153966.2019.68.15

**Б.А. Саржанов**

Сумський національний аграрний університет

**НОВЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

*В работе описан новый способ восстановления изношенных поверхностей деталей из нержавеющей стали 12X18H10T методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ), электродами из твердого сплава T15K6 и из этой же стали 12X18H10T. Результаты проведенных исследований могут быть применены в ремонтных технологиях при восстановлении посадочных мест под подшипники качения, шкивов, защитных втулок и рабочих колес роторов, полумуфт и других деталей.*

*Ключевые слова:* восстановление, качество, шероховатость, сплошность, толщина покрытия, электроэрозионное легирование, металлополимерные материалы.

**Б.О. Саржанов****НОВИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ**

*У роботі описаний новий спосіб відновлення зношених поверхонь деталей з нержавіючої сталі 12X18H10T методом електроерозійного легування (ЕЕЛ), електродами з твердого сплаву T15K6 і цієї ж сталі 12X18H10T. Результати проведених досліджень можуть бути застосовані в ремонтних технологіях при відновленні посадочних місць під підшипники кочення, шківів, захисних втулок і робочих коліс роторів, напівмуфт і інших деталей.*

*Ключові слова:* відновлення, якість, шорсткість, суцільність, товщина покриття, електроерозійне легування, металлополімерні матеріали.

**B.A. Sarzhanov****A NEW METHOD FOR INCREASING THE QUALITY OF COATINGS WHEN RESTORING PARTS BY THE METHOD OF ELECTROEROSION ALLOYING**

*This work describes a new method for restoring worn surfaces of parts made of stainless steel 12X18H10T by electroerosive alloying (EEA), electrodes made of hard alloy T15K6 and the same steel 12X18H10T. In this case, the coating is applied in two stages, and at the first stage, a layer is applied using the modes that provide the greatest surface thickness with the greatest continuity, then a coating layer is applied to the resulting surface with the same electrode and EEA method with such a discharge energy and its corresponding productivity, at which form a surface with a roughness of approximately 2-4 times higher than in the previous step. As a result, at a relatively acceptable thickness of the reconstructed layer, the most rational roughness value is formed and the surface continuity increases to 100%. A reserve for increasing the thickness of the restored layer can be a combined technology, including EEA and the subsequent deposition of metal-polymer materials. In this case, individual technologies do not in any way reduce the dignity of each other, but supplement them and eliminate the disadvantages inherent in each technology individually. The results of the research can be applied in repair technologies when restoring seats for rolling bearings, pulleys, protective sleeves and impellers of rotors, coupling halves and other parts.*

*Key words:* restoration, quality, roughness, continuity, coating thickness, electroerosive alloying, metal-polymer materials.

**Постановка проблеми.** При длительной эксплуатации машин изнашивание деталей сопровождается снижением эксплуатационных показателей. Износ рабочих поверхностей деталей нередко требует их полной замены, что повышает себестоимость производимой продукции. Важнейшими задачами ремонтно-обслуживающего производства являются поддержание работоспособности, восстановление ресурса машин и оборудования, обеспечение их высокой надежности и возможности эффективного использования. Повышение износостойкости отремонтированных деталей машин - одна из актуальных задач технического обслуживания и ремонта.

Для решения этих задач предусматривается улучшение качества ремонта за счет внедрения современных методов его организации и оптимальных технологических процессов упрочнения и восстановления деталей. Следовательно, ресурс восстановленных деталей должен быть, как правило, значительно выше, благодаря использованию эффективных способов восстановления и улучшенным свойствам упрочненных поверхностей.

**Анализ основных достижений и публикаций.** Современные ремонтные технологии располагают многочисленными методами восстановления деталей машин и оборудования. Значительное количество технологических приемов нанесения и многообразия областей применения покрытий, широкий спектр материалов для этих целей делают непростым в условиях

конкурентного подхода объективное решение по выбору покрытия и оптимальной технологии его нанесения.

Согласно [1] работоспособность и ресурс восстановленных деталей складывается в среднем 60...80% этих показателей для новых. Однако в настоящее время известны технологические методы (электрохимические, электрофизические и др.), с помощью которых можно полностью восстановить первичный ресурс деталей или даже увеличить его.

Восстановление деталей позволяет сэкономить значительное количество дефицитных материалов, в 2...3 раза продлить срок их службы, уменьшить выпуск товарных запасных частей на заводах-производителях и снизить себестоимость ремонта машин и оборудования.

Одним из путей улучшения качества поверхностного слоя и снижения стоимости ремонта машин является многократное восстановление формы деталей металлопокрытиями и обеспечение их взаимозаменяемости. На сегодня существует много разных технологических методов компенсации изношенного слоя металла деталей [1 - 4]. Наиболее распространенные из них, их преимущества и недостатки приведены в табл. 1.

В результате анализа таблицы можно отметить, что основными недостатками, которые негативно влияют на конечный результат или значительно повышают себестоимость ремонта являются: наличие поволоок и короблений; слабая адгезия нанесенного слоя с основой; наличие пор, трещин и шлаковых включений; снижение усталостной прочности; повышенная экологическая опасность.

Среди рассмотренных методов восстановления деталей большого внимания заслуживают электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) и нанесение металлополимерных материалов (МПМ), которые экологически безопасны и последнее время все чаще используются в ремонтном производстве.

При выборе технологического способа восстановления большое значение имеет величина максимального износа, при которой деталь становится непригодной к эксплуатации. В общем случае 85% деталей машин становятся непригодными при износах, не превышающих  $(0,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$  м [5].

В [6] исследованиями установлено, что на алюминиевых сплавах при помощи ЭЭЛ, электродами из сплава Al-Sn можно получить износостойкое покрытие, которое в 5-6 раз превышает стойкость закаленной стали. Особенностью такого покрытия является наличие в его структуре микро и нановолокон оксида олова, которые обладают высокой микротвердостью HV 1200 кг/мм<sup>2</sup>.

Для получения покрытия повышенной толщины до  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м использована технология «барьерных» слоев [7]. Сущность технологии заключается в следующем: после нанесения 3÷4 слоев сплава АО20-1, когда приращение слоя приостанавливается, наносится так называемый «барьерный» слой, который изолирует нанесенное покрытие из сплава АО20-1 от следующего слоя такого же состава и позволяет продолжать наращивать толщину покрытия.

Следует отметить, что с увеличением режима ЭЭЛ (энергии разряда), как правило снижается сплошность (наличие сквозных пор) формируемого покрытия [8].

Резервом увеличения толщины восстановленного слоя могут быть комбинированные технологии например ЭЭЛ и нанесение металлополимерных материалов (МПМ). В данном случае отдельно взятые технологии не в коей мере не снижают достоинства друг друга, а дополняют их и устраняют недостатки, присущие каждой технологии в отдельности.

Преимущества интегрированной технологии ЭЭЛ + МПМ очевидны: сплошность поверхности 100%; шероховатость значительно ниже, чем при ЭЭЛ; твердость значительно выше, чем у МПМ; благодаря возможности нанесения методом ЭЭЛ покрытия с использованием большой гаммы электродных материалов, можно в широких пределах изменять механические, термические, электрические и другие свойства рабочих поверхностей деталей; попадание МПМ во впадины и микронеровности восстанавливаемой детали исключает вероятность образования очагов коррозии в этих впадинах; износостойкость, надежность и долговечность восстановленных деталей выше, чем при восстановлении, с использованием отдельно взятых технологий.

Таблиця 1

**Технологии компенсации изношенного слоя металла деталей**

Метод	Преимущества	Недостатки
Наплавка.	Повышение твердости и износостойкости, возможность неограниченно наращивать изношенную поверхность.	Образование трещин, высокая пористость, наличие шлаковых включений, снижение усталостной прочности, коробление, повышенная экологическая опасность.
Гальвано-покрытие.	Сохраняет структуру детали, высокая износостойкость и твердость поверхности.	Низкая прирабатываемость и смачивание маслом, снижение усталостной прочности, низкая адгезия, повышенная экологическая опасность.
Металлизация	Механические свойства материала детали не изменяются и деталь не поддается короблению, высокая износостойкость.	Высокая пористость (до 10%), снижение усталостной прочности, низкая адгезия, повышенная экологическая опасность.
Пластическое деформирование.	Повышает твердость, уменьшает шероховатость, повышает износостойкость.	Низкая производительность, возможное деформирование поверхности на 5-10 мкм и больше, могут возникать равномерные наплывы металла толщиной 0,03-0,3 мм.
Электро-эрозионное легирование.	Локальная обработка поверхности - легирование можно проводить на отдельных участках от нескольких мм и больше не защищая остальную поверхность; прочное соединение перенесенного и основного металла; отсутствие общего нагрева детали в процессе обработки, возможность использования в качестве обрабатываемых материалов: чистых металлов, сплавов, металлокерамических композиций, тугоплавких соединений; повышение твердости, жаро-, зносо- и коррозионной стойкости; отсутствие необходимой подготовки поверхности.	Повышение шероховатости, возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, снижение усталостной прочности.
Нанесение металло-полимерных материалов.	Возможность неограниченно наращивать изношенную поверхность, близкие к металлу деформационные характеристики, высокая адгезия.	Необходимость специальной подготовки поверхности, в том числе формирование шероховатости поверхности. Сравнительно невысокая твердость.

Следует отметить, что при использовании технологии ЭЭЛ + МПМ возможны различные варианты формирования поверхности. Методом ЭЭЛ можно варьировать высотой микронеровностей, а последующей лезвийной обработкой можно обеспечивать различное соотношение площадей из нанесенного металла и металлополимерного материала [9].

В [10] на подложку из стали 20, при различных режимах энергии разряда, наносили покрытия электродами из оловянной бронзы марки БрО10Ф1, твердого сплава Т15К6 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Кроме этого на образцы из высокопрочного чугуна, марки ВЧ-60, на установке модели «Элитрон -22А» наносили покрытия из хрома, никеля и твердого сплава Т15К6. В результате предложены новые технологические решения, которые включают нанесение на изношенную поверхность стальных и чугунных деталей покрытия методом ЭЭЛ. При этом покрытие ЭЭЛ наносят в два этапа. На первом этапе наносят слой, используя режимы, которые

обеспечивают наибольшую толщину и сплошность поверхности. На втором – этим же электродом, с энергией разряда и соответствующей ей производительностью, формируют поверхность с шероховатостью приблизительно в 2-4 раза выше, чем на предыдущем этапе.

Многие детали используемые в конструкциях машин, эксплуатация которых подразумевает контакт с окислительными средами, органическими растворителями и неорганическими кислотами умеренной концентрации, например, оборудование химических и нефтеперерабатывающих производств, насосных и компрессорных агрегатов, центрифуг и др. основным материалом, используемым при изготовлении, является хром-никелевая нержавеющая сталь 12X18H10T. Учитывая это возникает необходимость в проведении исследований, направленных на повышение качества покрытий, применяемых при восстановлении этой стали. Работы, проводимые в этой области актуальны и своевременны.

Таким образом, **целью** работы является совершенствование способа интегрированной технологии восстановления деталей из нержавеющей стали 12X18H10T комбинированной технологией ЭЭЛ + МПМ, путем повышения качества покрытия, сформированного методом ЭЭЛ.

**Методы исследования.** Методом ЭЭЛ на установке модели «Элитрон 52-А» на образцы, размером 20x10x8 и 15x15x8 мм из стали 12X18H10T при различных режимах энергии разряда наносили покрытия электродами из твердого сплава Т15К6 и нержавеющей стали 12X18H10T (рис. 1).

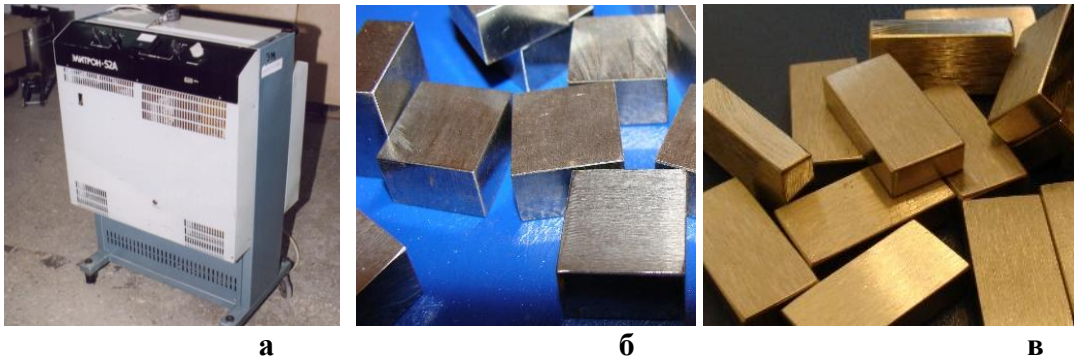


Рис. 1. Установка «Элитрон-52А», предназначенная для чистового и грубого ЭЭЛ (а) и плоские образцы размером: б – 15x15x6 мм; в – 20x10x5 мм.

При этом изготавливали три серии образцов: 1 серия – покрытие проводили в один этап: на один образец наносили покрытие на одном режиме; 2 серия – покрытия проводили в два этапа: первый на режиме, обеспечивающем наибольшую сплошность и толщину покрытия и второй на более грубом, с шероховатостью в 2-4 раза больше чем на предыдущем; 3 серия - покрытия проводили в два этапа в последовательности противоположной серии 2. Толщину покрытия измеряли микрометром, а шероховатость поверхности на профилографе профилометре модели 201 завода «Калибр» (рис 2).











Рис. 2. Измерение шероховатости на приборе профилографе – профилометре мод. 201 завода «Калибр».

**Результаты исследований.** Для повышения качества, упрочняемого или восстанавливаемого методом ЭЭЛ поверхностного слоя, нами предложен новый способ, при котором покрытие наносят поэтапно, причем на первом этапе наносят слой, используя режимы, которые обеспечивают наибольшую сплошность и толщину покрытия, затем, тем же электродом производят ЭЭЛ с такой энергией разряда и соответствующей ей производительностью, при которой формируют поверхность с шероховатостью приблизительно в 2-4 раза выше, чем на предыдущем этапе. В этом случае происходит выброс металла катода (детали) в местах приложения импульсов, т.е. распыление наиболее выступающих частей поверхности и на их месте образуются впадины вновь образованного покрытия, глубина которых находится на уровне поверхности предыдущего покрытия. В результате, происходит минимальное повышение уровня шероховатости поверхности [11]. Результаты проведенных исследований качественных параметров покрытий сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Зависимость качественных параметров покрытий из твердого сплава Т15К6 и стали 12Х18Н10Т, сформированных методом ЭЭЛ на стали 12Х18Н10Т**

Энергия разряда, $W_p$	Производительность, $cm^2/min$	Толщина слоя, мм	Шероховатость, Rz, мкм	Сплошность, %	Изображение поверхности
<b>Твердый сплав Т15К6</b>					
*0,55	2,5	0,14	23	100	
*0,90	3,4	0,19	65	85	
**0,55 + 0,90	1-й этап 2,5 2-й этап 3,4	0,22	37	100	
***0,90 + 0,55	1-й этап 3,4 2-й этап 2,5	0,15	54	90	
<b>Сталь 12Х18Н10Т</b>					
*0,35	1,7	0,09	13	95	
*0,55	2,5	0,15	31	80	
**0,35 + 0,55	1-й этап 1,7 2-й этап 2,5	0,22	17	100	
***0,55 + 0,35	1-й этап 2,5 2-й этап 1,7	0,21	34	80	

\*- покрытие наносили согласно 1-й серии; \*\* - покрытие наносили согласно 2-й серии;

\*\*\* покрытие наносили согласно 3-й серии.

При нанесении покрытий из твердого сплава Т15К6 (см. табл. 2) сплошность покрытия 100% и толщина слоя 0,12 мм достигается при энергии разряда  $W_p = 0,55$  Дж. Шероховатость поверхности при этом составляет  $Rz = 23$  мкм. Дальнейшее увеличение энергии разряда приводит к возрастанию толщины слоя до 0,19 мм и значительному снижению качества покрытия (сплошность 85% и шероховатость  $Rz = 65$  мкм).

При формировании покрытия поэтапно, согласно предлагаемого способа, с использованием первоначально энергии разряда  $W_p = 0,55$  Дж, а затем  $W_p = 0,90$  Дж толщина слоя составляет 0,22 мм при 100% сплошности и шероховатости  $Rz = 37$  мкм. Нанесение покрытия в обратном порядке: сначала с  $W_p = 0,90$  Дж, а затем с  $W_p = 0,55$  Дж приводит к снижению его сплошности до 90% и возрастанию шероховатости до  $Rz = 54$  мкм.

В табл. 2 представлены результаты качественных параметров покрытий при ЭЭЛ стали 12Х18Н10Т электродом инструментом из этой же стали. Как видно из таблицы наибольшая сплошность покрытия 95% и толщина слоя 0,09 мм достигается при энергии разряда  $W_p = 0,35$  Дж. Шероховатость поверхности при этом составляет  $Rz = 13$  мкм. Дальнейшее увеличение энергии разряда приводит к возрастанию толщины слоя до 0,15 мм и значительному снижению качества покрытия (сплошность 80% и шероховатость  $Rz = 31$  мкм).

При формировании покрытия поэтапно, согласно предлагаемого способа, с использованием первоначально энергии разряда  $W_p = 0,35$  Дж, а затем  $W_p = 0,55$  Дж толщина слоя составляет 0,22 мм при сплошности приближающейся к 100% и шероховатости  $Rz = 17$  мкм. Нанесение покрытия в обратном порядке приводит к снижению его сплошности до 80% и возрастанию шероховатости до  $Rz = 34$  мкм.

Таким образом, восстановление деталей из нержавеющей стали методом ЭЭЛ, с использованием электрода инструмента из твердого сплава Т15К6 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т, наиболее целесообразно проводить в два этапа, согласно предлагаемому способу (см. табл. 2). Последующим нанесением МПМ можно неограниченно увеличивать толщину комбинированного покрытия, сформированного в последовательности ЭЭЛ + МПМ.

#### **Выводы:**

1. Предложен новый способ восстановления изношенных поверхностей деталей из нержавеющей стали 12Х18Н10Т методом ЭЭЛ, электродами из твердого сплава Т15К6 и этой же стали 12Х18Н10Т. При этом покрытие наносят в два этапа, причем на первом этапе наносят слой, используя режимы, которые обеспечивают наибольшую толщину поверхности при наибольшей сплошности, затем на полученную поверхность наносят слой покрытия тем же электродом и способом ЭЭЛ с такой энергией разряда и соответствующей ей производительностью, при которой формируют поверхность с шероховатостью приблизительно в 2-4 раза выше, чем на предыдущем этапе. В результате, при относительно приемлемой толщине восстановленного слоя, формируется наиболее рациональная величина шероховатости и до 100% повышается сплошность поверхности.

2. Резервом увеличения толщины восстановленного слоя может быть комбинированная технология, включающая ЭЭЛ и последующее нанесение металлополимерных материалов. В данном случае отдельно взятые технологии не в коей мере не снижают достоинства друг друга, а дополняют их и устраняют недостатки, присущие каждой технологии в отдельности.

3. Результаты проведенных исследований могут быть применены в ремонтных технологиях при восстановлении посадочных мест под подшипники качения, шкивов, защитных втулок и рабочих колес роторов, полумуфт и других деталей.

#### **Список использованных источников:**

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабаний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720с.
2. Иванов В.П. Технология и оборудование восстановления деталей машин: учебник – Минск: Техноперспектива, 2007. – 458с.
3. Ищенко А.А. Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 250 с.
4. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672с.

5. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Голяк О.Л., Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование. – М. : Транспорт, 1995. - 303с.
6. Юрченко Е.В., Юрченко В.И., Дикусар А.И. Наноструктурирование поверхности из алюминиевых сплавов в условиях электроискрового легирования. Наноинженерия - 2013. -№2. - С.12-24.
7. Иванов В.И. Увеличение толщины электроискровых покрытий Состояние вопроса. Часть 1. Причины ограничения толщины покрытий. Часть 2. Методы увеличения толщины электроискровых покрытий. Труды ГОСНИТИ том 113. М. 2013 г. 429- 435 с, 150-456 с.
8. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976.- С. 15- 17
9. Пат. 104664 Україна, МПК В23Н 5/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти)/ Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О.; № u201209838; опубл. 14.08.12, Бюл. № 4. – 6с.
10. V Tarelnyk et al 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 233: 012050 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012050>
11. Пат. на корисну модель 138052 Україна, МПК В23Р 6/00, В23Н 1/00, С23С 28/00. Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей методом електроерозійного легування/ Саржанов Б.О.; № u2019 09758; опубл. 12.09.19, Бюл. № 21. – 19с.

**Рецензенти:**

**Козаченко О.В.**, д.т.н., професор (ХНТУСХ ім. Петра Василенка, м. Харків)

**Конопляченко Є.В.**, к.т.н., доцент (СНАУ, м. Суми)

Стаття надійшла до редакції 15.12.2019