

# ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И АРМИРОВАННЫХ МЕТАЛОПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

**В. Б. Тарельник**, д.т.н., проф.  
**Е. В. Коноплянченко**, к.т.н., доц.  
**А. А. Саржанов**, к.т.н., доц.  
**А. Г. Павлов**, ст. преподаватель  
**Т. П. Волошко**, ст. преподаватель  
**Б. А. Саржанов**, аспирант  
*Сумський національний аграрний університет*

*Предложены новые технологические решения, которые включают нанесение на изношенную поверхность стальных и чугунных деталей покрытия методом электроэрозионного легирования (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.*

*На сформированную методом ЭЭЛ поверхность наносят по крайней мере один слой металлополимерного материала (МПП), который перед полимеризацией армируют, хотя бы одним слоем проволоки.*

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

## **Постановка проблемы в общем виде**

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 последних исследований и публикаций**

Современные ремонтные технологии располагают многочисленными методами восстановления деталей машин и оборудования. Значительное количество технологических приемов нанесения и многообразие 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 (электромеханические, 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 поводов и короблений; слабая адгезия нанесенного слоя с основой; наличие пор, трещин и шлаковых включений; снижение усталостной прочности; повышенная

экологическая опасность.

Таблица 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.
Гальванопокрытие.	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.
Электроэрозионное 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 металлополимерных 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.

Среди рассмотренных методов восстановления деталей большого внимания заслуживают электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) и нанесение металлополимерных материалов (МППМ), 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  $(0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}$  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 нанесённое 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].

Для повышения качества, восстанавливаемого методом ЭЭЛ поверхностного слоя, нами предложен способ, при котором покрытие ЭЭЛ 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.

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.

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].

Несмотря на неоспоримые достоинства интегрированная технология ЭЭЛ+МПМ имеет и недостатки. Это прежде всего низкая твердость и прочность сформированного поверхностного слоя, особенно в тех случаях, когда слой МПМ находится выше покрытия, нанесенного методом ЭЭЛ. Основное применение способа это восстановление деталей в неразъемных соединениях (посадочных мест под подшипники, полумуфты и др.).

Таким образом, **целью** работы является совершенствование способа интегрированной технологии восстановления деталей ЭЭЛ + МПМ, путем повышения качества покрытия, сформированного методом ЭЭЛ и повышения твердости и прочности формируемого поверхностного слоя за счет его армирования.

#### **Методы исследования**

Из технологических инструкций заводов поставщиков оборудования ЭЭЛ, литературных источников и опыта работы известно, что для

восстановления поверхности в качестве материалов электродов рекомендуются чистые металлы (хром, никель и др.), нержавеющие стали, например, 12Х18Н10Т, бронза, металлокерамические твердые сплавы групп ВК и ТК.

Методом ЭЭЛ на установке модели «Элитрон 52-А» на образцы, размером 20х10х8 и 15х15х8 мм 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.

При этом изготавливали три серии образцов: 1серия – 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».

#### **Результаты исследований**

##### **Нанесение бронзовых покрытий**

Качественные параметры бронзовых покрытий, сформированных в соответствии с тремя сериями, сведены в табл. 2. Как видно из таблицы при нанесении оловянной бронзы, согласно серии 1, наибольшая толщина покрытия (0,1 мм), при 100 % сплошности, достигается при энергии разряда  $W_p=0,20$  Дж. Шероховатость поверхности при этом составляет  $Rz=21$  мкм. Последующее увеличение энергии разряда до  $W_p=0,35$  Дж влечет за собой наряду с увеличением толщины слоя до 0,43 мм резкое увеличение шероховатости поверхности до  $Rz=59$  мкм и снижение ее сплошности до 80%. Последующее увеличение энергии разряда сопровождается еще большим ростом шероховатости поверхности и снижением сплошности. Наибольшая толщина слоя, которая составляет 0,92 мм, формируется при  $W_p=0,90$  Дж. При этом шероховатость поверхности и сплошность покрытия равны, соответственно,  $Rz=98$  мкм и 60%. Дальнейшее увеличение энергии разряда приводит к резкому снижению качества покрытия (низкая сплошность, высокая шероховатость, прижоги) и выгоранию электрода.

Согласно 2-й серии первым слоем наносили оловянную бронзу с сплошностью 100% и толщиной покрытия 0,1 мм, при  $W_p=0,20$

Дж, а затем вторым слоем при  $W_p=0,35$  и  $0,55$  Дж где шероховатость, соответственно, больше ~ в 3 и 4 раза ( $Rz=59$  и  $82$  мкм). При этом общая толщина слоя составляет, соответственно,  $0,65$  и  $0,81$  мм, шероховатость  $Rz=47$  и  $58$  мкм при 100% сплошности (табл. 2). Дальнейшее увеличение энергии разряда при нанесении второго слоя до  $W_p=0,90$  Дж, при незначительном увеличении толщины слоя, приводит к резкому

увеличению шероховатости поверхности с  $Rz=58$  до  $Rz=81$  мкм.

Результаты качественных параметров покрытий из БрО10Ф1 на стали 20, нанесенных поэтапно, согласно серии 3, значительно хуже, чем на у покрытий из 2-й серии (сплошность 65-75%, шероховатость  $Rz=85-92$  мкм) при незначительно отличающейся толщине нанесенного слоя.

Таблица 2 – Зависимость качественных параметров бронзовых покрытий, нанесенных методом ЭЭЛ на сталь 20, от энергии разряда

Энергия разряда, $W_p$	Производительность, см <sup>2</sup> /мин	Толщина слоя, мм	Шероховатость, Rz, мкм	Сплошность, %	Изображение поверхности
<b>Серия 1</b>					
0,04	0,4	0,05	10	100	
0,11	1,5	0,06	12	100	
0,20	1,6	0,10	21	100	
0,35	1,7	0,43	59	80	
0,55	2,5	0,70	82	70	
0,90	3,4	0,92	98	60	
<b>Серия 2</b>					
0,04 + 0,35	1-й этап 0,4 2-й этап 1,7	0,55	57	90	
0,2 + 0,35	1-й этап 1,6 2-й этап 1,7	0,65	47	100	
0,2 + 0,55	1-й этап 1,6 2-й этап 2,5	0,81	58	100	
0,2 + 0,90	1-й этап 1,6 2-й этап 3,4	0,95	81	100	
<b>Серия 3</b>					
0,90 + 0,04	1-й этап 3,4 2-й этап 0,4	0,87	92	65	
0,90 + 0,20	1-й этап 3,4 2-й этап 1,6	0,74	85	75	

Таким образом, восстановление стальных деталей методом ЭЭЛ электродом инструментом из оловянной бронзы марки БрО10Ф1, необходимо проводить в два этапа, причем на первом формировать покрытие при энергии

разряда  $W_p = 0,20$  Дж, а на втором при  $W_p = 0,55$  Дж. В результате получим покрытие толщиной  $0,81$  мм, сплошностью 100% и шероховатостью  $Rz = 58$  мкм.

**Нанесение покрытий из твердого сплава**

## Т15К6

Как видно из табл. 3 сплошность покрытия 100% и толщина слоя 0,12 мм достигается при энергии разряда  $W_p=0,55$  Дж. Шероховатость поверхности при этом составляет  $Rz=21$  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 0,20 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.

### Нанесение покрытий из нержавеющей стали 12Х18Н10Т

В табл. 3 представлены результаты качественных параметров покрытий при ЭЭЛ стали 20 электродом инструментом из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Как видно из таблицы наибольшая сплошность покрытия 95% и толщина слоя 0,08 мм достигается при энергии разряда  $W_p = 0,35$  Дж. Шероховатость поверхности при этом составляет  $Rz = 11$  мкм. Дальнейшее увеличение энергии разряда приводит к возрастанию толщины слоя до 0,14 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 0,12 мм при 100% 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.

Таблица 3 – Зависимость качественных параметров покрытий из твердого сплава Т15К6 и стали 12Х18Н10Т, нанесенных методом ЭЭЛ на сталь 20

Энергия разряда, $W_p$	Производительность, $см^2/мин$	Толщина слоя, мм	Шероховатость, $Rz$ , мкм	Сплошность, %	Изображение поверхности
<b>Тердый сплав Т15К6</b>					
$^*0,55$	2,5	0,12	21	100	
$^*0,90$	3,4	0,19	65	85	
$^{**}0,55 + 0,90$	1-й этап 2,5 2-й этап 3,4	0,20	37	100	
$^{***}0,90 + 0,55$	1-й этап 3,4 2-й этап 2,5	0,14	54	90	
<b>Сталь 12Х18Н10Т</b>					
$^*0,35$	1,7	0,08	11	95	
$^*0,55$	2,5	0,14	31	80	
$^{**}0,35 + 0,55$	1-й этап 1,7 2-й этап 2,5	0,12	17	100	
$^{***}0,55 + 0,35$	1-й этап 2,5 2-й этап 1,7	0,8	34	80	

\*- покрытие наносили согласно 1-й серии;

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

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

Таким образом, восстановление стальных деталей методом ЭЭЛ, с использованием

электрода инструмента из твердого сплава Т15К6 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т,

Вісник Сумського національного аграрного університету

наиболее целесообразно проводить в два этапа, согласно предлагаемому способу (см. табл. 3).

Следует отметить, что предлагаемый способ сохраняет свою актуальность и для деталей из чугуна. В табл. 4 представлены результаты качественных параметров формируемых поверхностных слоев при ЭЭЛ

высокопрочного чугуна марки ВЧ-60 электродами из хрома, никеля и твердого сплава Т15К6 на установке модели «Элитрон 22А». Как видно из таблицы с увеличением энергии разряда для всех материалов электродов увеличивается толщина нанесенного покрытия и шероховатость поверхности, а сплошность снижается.

Таблица 4 - Результаты качественных параметров формируемых поверхностных слоев при ЭЭЛ высокопрочного чугуна марки ВЧ-60

Материал электрода	Энергия разряда, $W_p$ , Дж	Шероховатость, $R_z$ , мкм	Толщина слоя, мм	Сплошность, %	Производительность, $см^2/мин$
ЭЭЛ высокопрочного чугуна марки ВЧ-60 при различных энергиях разряда					
Хром	0,13	15,0	40	100	1,5
	0,27	17,5	50	100	1,7
	0,39	20,4	55	95	2,0
	0,55	35,0	60	90	2,5
Никель	0,13	13,0	50	100	1,5
	0,27	15,5	55	100	1,7
	0,39	22,0	60	95	2,0
	0,55	33,5	70	85	2,5
Т15К6	0,13	21,0	50	100	1,5
	0,27	26,0	60	95	1,7
	0,39	34,0	80	90	2,0
	0,55	42,5	100	80	2,5
ЭЭЛ высокопрочного чугуна марки ВЧ-60, согласно предлагаемого способа					
Хром	1-й этап 0,27 2-й этап 0,55	30,2	80	100	1-й этап 1,7 2-й этап 2,5
Хром	1-й этап 0,55 2-й этап 0,27	24,0	55	90	1-й этап 2,5 2-й этап 1,7
Никель	1-й этап 0,27 2-й этап 0,55	29,5	95	100	1-й этап 1,7 2-й этап 2,5
Никель	1-й этап 0,55 2-й этап 0,27	26,1	60	85	1-й этап 2,5 2-й этап 1,7
Т15К6	1-й этап 0,13 2-й этап 0,55	43,3	110	100	1-й этап 1,5 2-й этап 2,5
Т15К6	1-й этап 0,13 2-й этап 0,55	38,5	80	100	1-й этап 2,5 2-й этап 1,5

При этом 100% сплошности и наибольшая толщина слоя сохраняется для хрома и никеля при  $W_p = 0,27$  Дж, а для твердого сплава Т15К6 при  $W_p = 0,13$  Дж.

Таким образом, при восстановлении деталей из чугуна марки ВЧ-60 методом ЭЭЛ с использованием электродов из хрома, никеля и твердого сплава лучшие качественные параметры у образцов с покрытиями сформированными в два этапа, согласно предлагаемому способу.

Ниже представлено описание методов армирования МПМ проволокой. В зависимости от требуемых качественных и геометрических параметров восстанавливаемой поверхности, армирование проводят различными способами.

#### **Восстановление изношенных поверхностей деталей тел вращения**

Как известно, основной причиной выхода из строя деталей машин является не поломка, а износ их поверхностного слоя. Иногда возникает необходимость восстановления наружных поверхностей из мягких антифрикционных металлов деталей тел вращения, например, опорных пальцев зубчатых колес после

разрушения баббитового слоя.

В данном случае на изношенную поверхность детали **1** (рис. 1, а) методом ЭЭЛ наносится слой **3** покрытия из любого мягкого антифрикционного металла (медь, олово, серебро, оловянная бронза и др.). При этом между нанесенным металлом и деталью образуется переходной слой **2**, представляющий собой взаимное диффузионное проникновение элементов анода и катода. Покрытия можно наносить, варьируя энергию разряда в диапазоне 0,036-6,8 Дж. С ростом энергии разряда увеличивается толщина наносимого покрытия и шероховатость поверхности. При этом толщина слоя может изменяться, в зависимости от характера взаимодействия анода и катода (установки с ручным вибратором, типа «Элитрон 52-А» и механизированные установки с многоэлектродными головками, типа «Элитрон-347» или «ЭИЛ-9»), в первом случае от 0,01 до 0,25 мм и во втором случае от 0,05 до 2,0 мм, а высота микронеровностей ( $R_z$ ) при этом изменяется, соответственно, от 8,5 до 155,8 мкм и от 20 до 200 мкм и более. После этого на ЭЭЛ поверхность наносится металлополимерный

материал 4.

Нанесение материала является одной из операций, определяющих как качество образованных адгезионных связей, так и долговечность восстановленной детали. Слои металлополимера тщательно втираются лопаткой или шпателем в поверхность восстанавливаемой детали. Попадание при таком втирании полимерного материала во

впадины и микронеровности восстанавливаемой детали с одной стороны обеспечивает улучшение адгезии, а с другой - исключает вероятность образования очагов коррозии в этих впадинах, не заполненных МПМ.

Руководствуясь основной концепцией применения МПМ, заключающейся в том, что его рабочий слой не должен быть меньше 1-1,5 мм

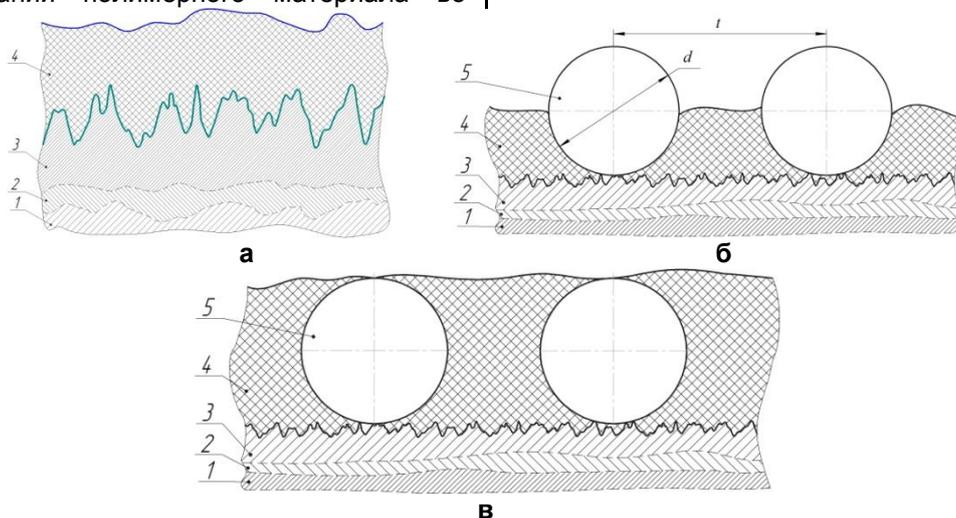


Рисунок 1 - Восстановление изношенных поверхностей тел вращения.

шаг навивки проволоки ( $t$ ) на вал будет составлять:

$$t = d + 1 - 1,5 \text{ мм,}$$

где  $d$  – диаметр проволоки [3].

После навивки проволоки необходимо продолжить нанесение МПМ до тех пор, пока наносимый слой не покроет ее полностью (рис. 1, в).

В данном случае, для восстановления изношенных поверхностей можно использовать проволоку из: меди, олова, баббита, серебра и др.

В отдельных случаях возникает необходимость восстановления изношенных подшипниковых и посадочных шейк, которые имеют твердость порядка 35-40 единиц HRC

В данном случае, после нанесения на изношенную поверхность методом ЭЭЛ покрытия из твердого износостойкого металла и нанесения слоя из МПМ, на сформированный слой, с натягом, надевают термообработанную пружину. При этом шаг ее навивки должен быть не менее 1,0 – 1,5 мм. После того, как пружина будет

одета, необходимо продолжить нанесение МПМ пока он полностью не покроет ее витки (рис. 1, в). Материалом пружины может служить сталь 65Г, 9ХВ2С, бериллиевая бронза БрБ2 и др.

Затвердевший металлополимерный материал можно обрабатывать любым из известных способов, включая шлифование или обработку лезвийным инструментом.

#### **Восстановление изношенных плоских и криволинейных поверхностей деталей**

При восстановлении плоских и криволинейных поверхностей из мягких антифрикционных металлов после нанесения на проточенную изношенную поверхность (1) методом ЭЭЛ покрытия из мягкого антифрикционного металла и нанесения слоя из МПМ, по технологии описанной выше (фиг. 1,а), на сформированный слой накладывают сетку из мягкого антифрикционного металла с размерами ячейки не менее 1,0-1,5×1,0-1,5 мм (рис. 2).

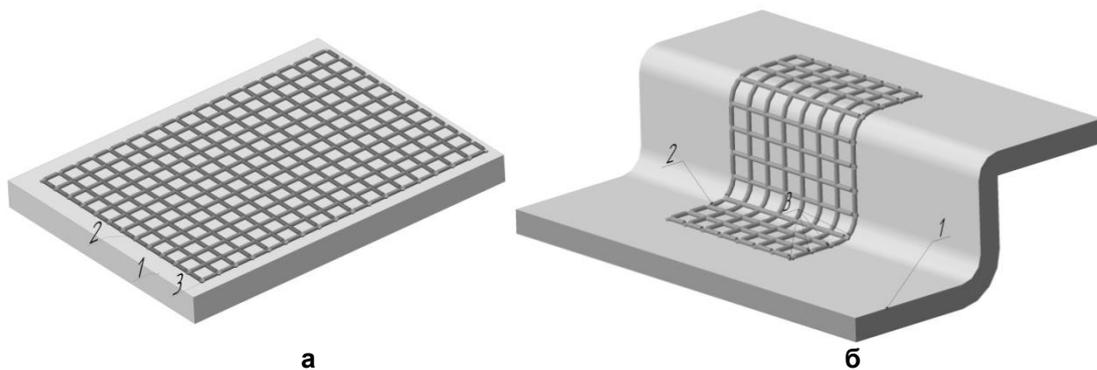


Рисунок 2 - Восстановление изношенных плоских (а) и криволинейных (б) поверхностей.

Сетка может прикрепляться за пределами восстанавливаемой поверхности любым известным способом, например, привариванием контактной сваркой (3). После установки сетки необходимо продолжить нанесение МПМ до тех пор, пока он полностью не покроеет ее (фиг. 1, в). В случае значительного износа накладывание сетки можно повторять необходимое число раз.

Затвердевший МПМ можно обрабатывать любым из известных способов, включая шлифование или обработку лезвийным инструментом.

Изношенные плоские и криволинейные поверхности поверхностей деталей из твердых износостойких металлов, восстанавливают согласно технологии, описанной в выше, за исключением того, что используемая сетка изготавливается из термообработанной твердой проволоки.

#### Выводы:

1. Предложен новый способ восстановления изношенных поверхностей стальных и чугунных деталей методом ЭЭЛ, отличающийся тем, что 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 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.

3. Предложен новый способ восстановления металлических деталей машин в соответствии с которым, на сформированную методом ЭЭЛ поверхность наносят слой МПМ, который перед полимеризацией армируют, в зависимости от назначения и геометрических особенностей восстанавливаемой поверхности, хотя бы одним слоем проволоки, или проволоки, соединенной в сетку. В результате, формируется поверхностный слой, качество, износостойкость, надежность и долговечность которого выше, чем при использовании для восстановления методов ЭЭЛ и нанесения МПМ каждого отдельно.

### **Список використаної літератури:**

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720 с.
2. Иванов В.П. Технология и оборудование восстановления деталей машин: учебник – Минск: Техноперспектива, 2007. – 458 с.
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., ил.
5. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Голяк О.Л., Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование. М. : Транспорт.1995 г. 303 с.
6. Е.В.Юрченко, В.И.Юрченко, А.И. Дикусар 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.- сс. 15- 17
9. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): Пат. 104664. Україна. МПК В23Н 5/00 /Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О.; Опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.-3 с.

### ***Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Саржанов О.А., Павлов О.Г., Волошко Т.П., Саржанов Б.О. Відновлення поверхні сталевих і чавунних деталей застосуванням комбінованої технології електроерозійного легування і армованих металополімерних покриттів***

*Запропоновано нові технологічні рішення, які включають нанесення на зношену поверхню сталевих і чавунних деталей покриття методом електроерозійного легування (ЕЕЛ). При цьому покриття ЕЕЛ наносять в два етапи. На першому етапі наносять шар, використовуючи режими, які забезпечують найбільшу товщину і суцільність поверхні. На другому - цим же електродом, з енергією розряду і відповідної їй продуктивністю, формують поверхню з шорсткістю приблизно в 2-4 рази вище, ніж на попередньому етапі.*

*На сформовану методом ЕЕЛ поверхню наносять принаймні один шар металополімерного матеріалу (МПМ), який перед полімеризацією армують, хоча б одним шаром дроту.*

**Ключові слова:** відновлення, якість, шорсткість, товщина шару, електроерозійне легування, металополімерних матеріали.

### ***Tarelnyk V.B., Konoplianchenko Ie.V., Sarzhanov O.A., Pavlov O.G., Voloshko T.P., Sarzhanov B.O. Restoration of the steel and cast iron parts surface using the combined technology of electroerosive alloying and reinforced metal-polymer coatings***

*There have been proposed new technical solutions including operations of applying coatings onto worn surfaces of steel and cast iron parts by electro-erosive alloying method (EEA). In this case, the EEA coatings are applied in two stages. At the first stage, there is applied a layer on the conditions providing the greatest thickness and continuity of the surfaces obtained. At the second stage, the operation is performed by the same electrode and on the conditions of the discharge energy and productivity corresponding thereto, which provide for the formation of the surface having a roughness value being about 2-4 times higher than that at the previous stage.*

*At least one layer of a metal polymer material (MPM) is applied on the surface formed by the above said EEA method, with this layer having been reinforced by at least one wire reinforcement layer before polymerization.*

**Key words:** restoration, quality, roughness, layer thickness, electroerosive alloying, metal polymer materials.