

при необходимости можно рекомендовать данный комплекс упрочняющих технологий к практическому применению. Так как место разрушения всех упрочненных ППД образцов располагается за пределами покрытия, то увеличение предела выносливости еще больше.

ВЫВОДЫ:

1. Экспериментально установлено, что чем ниже исходная микротвердость упрочняемого участка поверхности, тем больше резервы к ее повышению методами ППД.

2. Для обобщения и упрощения выбора наиболее рационального усилия деформации предлагается все электроэрозионные покрытия, в зависимости от микротвердости упрочняемого участка покрытия, разбить на три группы: мягкие (< 2000 МПа), средние ($2000 - 3000$ МПа) и твердые (> 3000 МПа). Для мягких покрытий рекомендуются удельные усилия деформации $P_{cp} = 750 - 1250$ МПа, средних - $1300 - 1500$ МПа и твердых - $2500 - 3000$ МПа.

3. Применение КЭП, сформированных за счет поочередного нанесения на сталь 45 меди и хрома, снижает величину растягивающих напряжений и глубину их распространения, по сравнению с покрытиями только из хрома, соответственно с 250 до 210 МПа и с $0,2$ до $0,15$ мм. Применение ППД (обкатка шариком) приводит к изменению знака деформаций с положительного на отрицательный, что определяет наличие в поверхностном слое благоприятных напряжений сжатия.

4. Усталостная прочность КЭП, сформированных поочередным нанесением меди и хрома, на 50% выше, чем у покрытий, состоящих только из хрома. ППД увеличивает предел выносливости КЭП $Cu + Cr$ на 20% по сравнению с базовым вариантом - образцом без покрытия.

НОВЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ (Часть 1)

*Тарельник В.Б., д.т.н., Павлов А. Г., Саржанов Б.А., аспирант,
СНАУ, г.Сумы*

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.

Анализ основных достижений и публикаций

Значительное количество технологических приемов нанесения и многообразии 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. Восстановление деталей позволяет экономить значительное количество дефицитных материалов, в 2...3 раза продлить срок службы, уменьшить выпуск товарных запасных частей на заводах-производителях и снизить себестоимость ремонта машин и оборудования.

На сегодня существует много разных технологических методов компенсации изношенного слоя металла деталей. Наиболее распространенные из них: наплавка, гальванопокрытие, металлизация, пластическое деформирование, электроэрозионное легирование. 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 [1].

В [2] 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/мм². Для получения покрытия повышенной толщины до $0,3 \cdot 10^{-3}$ м использована технология «барьерных» слоев [3]. 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. Для повышения качества, восстанавливаемого методом ЭЭЛ поверхностного слоя, нами предложен способ, при котором покрытие ЭЭЛ наносит 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 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 (МППМ). 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 + МППМ очевидны: сплошность поверхности 100%; шероховатость значительно ниже, чем при ЭЭЛ; твердость значительно выше, чем у МППМ; 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 МППМ 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 + МППМ 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 [5].

Несмотря на неоспоримые достоинства интегрированная технология ЭЭЛ + МППМ имеет и недостатки. Это прежде всего низкая твердость и прочность сформированного поверхностного слоя, особенно в тех случаях, когда слой МППМ 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 + МППМ, 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.), нержавеющей стали, например, 12Х18Н10Т, бронза, металлокерамические твердые сплавы групп ВК и ТК.

Методом ЭЭЛ на установке модели «Элитрон 52-А» на образцы, размером 20x10x8 и 15x15x8 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

Анализ проведенных исследований показал, что 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 $R_z = 21$ 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 $R_z = 59$ 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, $R_z = 98$ 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 ($R_z = 59$ и 82 мкм). При этом общая толщина слоя составляет, соответственно, 0,65 и 0,81 мм, шероховатость $R_z = 47$ и 58 мкм при 100% сплошности. 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 $R_z = 58$ до $R_z = 81$ 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 $R_z = 85-92$ мкм) при незначительно отличающейся толщине нанесенного слоя.

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.

При нанесении твердого сплава Т15К6 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.

При нанесении нержавеющей стали 12Х18Н10Т 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.

Таким образом, восстановление стальных деталей методом ЭЭЛ, с использованием электрода инструмента из твердого сплава Т15К6 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т, наиболее целесообразно проводить в два этапа, согласно предлагаемому способу. Следует отметить, что предлагаемый способ сохраняет свою актуальность и для деталей из чугуна.

Список литературы

1. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Голяк О.Л., Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование. М. : Транспорт.1995 г. 303 с.
2. Е.В.Юрченко, В.И.Юрченко, А.И. Дикусар Наноструктурирование поверхности из алюминиевых сплавов в условиях электроискрового легирования. Наноинженерия - 2013. -№2. - С.12-24.
3. 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.

4. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): Пат. 104664. Україна. МПК В23Н 5/00 /Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Ищенко А.О.; Опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.-3 с.

НОВЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ (Часть 2)

*Тарельник В.Б., д.т.н., Павлов А. Г., Саржанов Б.А., аспирант,
СНАУ, г.Сумы*

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 (рис. 1, а).



а



б

Рисунок 1 - Разрушение баббитового слоя опорных пальцев зубчатых колес (а) и вал ротора насоса ЦНС-180 с изношенными поверхностями (б).

В данном случае на изношенную поверхность детали **1** (рис. 2, 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