

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ – МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РОТОРНЫХ МАШИН

*В.Б. Тарельник**, д-р техн. наук, проф.;

*Н.В. Захаров**, д-р техн. наук, проф.;

*В.С. Марцинковский***, председатель правления;

*Б. Антошевский****, д-р техн. наук, проф.

* Сумский национальный аграрный университет

** ООО “ТРИЗ”, г. Сумы

*** Политехнический университет, г. Кельце, Польша

Одним из путей улучшения качества поверхностного слоя и снижения стоимости ремонта машин являются многократное восстановление формы деталей металлопокрытиями и обеспечение их взаимозаменяемости.

Анализ наиболее распространенных способов восстановления изношенных поверхностей деталей (детонационно-газовая и вакуумно-плазменная обработка, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, электроэрозионное легирование) показывает, что все они имеют как достоинства, так и недостатки.

Среди рассматриваемых методов все более широкое применение находит метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) [1, 2]. По своим достоинствам он не только не уступает рассматриваемым методам, а во многих случаях превосходит их. Недостатки ЭЭЛ можно устранить как за счет совершенствования самой технологии ЭЭЛ [3], так и сочетания ее с другими технологиями повышения качества поверхностей деталей [4, 5].

Целью работы является расширение области применения метода ЭЭЛ за счет совершенствования комбинированных технологий повышения качества поверхностных слоев изделий применительно к конкретным деталям.

В роторных машинах (винтовых и центробежных компрессорах, дутьевых машинах, центрифугах, насосах, электродвигателях и др.) одной из основных причин потери их работоспособности является износ рабочих поверхностей вала ротора или его разрушение. Усталость определяет служебную долговечность вала, его выносливость.

Кроме действующих на вал переменных сил и моментов, необходимо также иметь в виду силы трения, возникающие в подшипниках скольжения. Трение между поверхностями шеек вала и вкладышей подшипников скольжения вызывают износ шеек. Величина этого износа зависит от условий трения, определяющихся рядом факторов: физико-механическими свойствами материалов вала и подшипника, формой и размерами деталей, шероховатостью поверхностей трения, скоростью, нагрузочным и тепловым режимами работы трущейся пары, способом подвода, количеством и качеством смазки.

При пуске двигателя сопряжение вал - подшипник работает в условиях полусухого трения, при котором возникает металлический контакт, вызывающий повышенный износ трущихся поверхностей и дальнейшее их заедание.

Кроме того, нередко на валах износу подвергаются посадочные места под рабочие колеса, муфты, полумуфты, шарико- и роликоподшипники и т.д.

Таким образом, при ремонте деталей типа валов основным местом, подлежащим восстановлению и упрочнению, является шейка вала.

УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛОВ

Технология упрочнения и восстановления деталей типа валов основана на совмещении дополняющих друг друга технологий ЭЭЛ и поверхностного пластического деформирования (ППД). ЭЭЛ обеспечивает нанесение на упрочняемые или изношенные участки вала твердых, износостойких материалов, а ППД, в свою очередь, обеспечивает необходимые требования, предъявляемые к микрогеометрии формируемых поверхностей, а также повышает усталостную прочность изделия [6, 7].

Так, в результате аварии (Одесский припортовый завод) произошел эксцентричный задир шейки вала электродвигателя (в дальнейшем ротор), которая служила посадочным местом под подшипник со стороны полумуфты. При установке ротора на существующие центры биение якоря достигало 5 мм.

Для осуществления правки центров конец ротора со стороны полумуфты закреплялся в 4-кулачковый патрон токарного станка с использованием медных пластин, позволяющих сместить ротор относительно его оси без повреждения поверхности. Свободный конец ротора поджимался центром с использованием медной фольги.

За базу принималась поверхность якоря, биение которого составляло 0,02 мм; шейки \varnothing 95 мм - 1,2 мм; шейки под полумуфту \varnothing 75 мм - 2,2 мм. Биение шеек под подшипники (\varnothing 80 мм) не удалось измерить вследствие повреждения их поверхностей.

После зацентровки ротора и проточки “как чисто” всех шеек их биение составило не более 0,02 мм. Размеры шеек после проточки составили: шейки под подшипники - \varnothing 79,8 мм и \varnothing 78,25 мм (со стороны полумуфты); шейки под полумуфту - \varnothing 72,64 мм; свободный конец вала - \varnothing 74,93 мм.

Для защиты от повреждений шпоночного паза изготавливалась “ложная” шпонка.

Все четыре шейки были восстановлены в размер с использованием комбинированной технологии ЭЭЛ и ППД (обкаткой роликом) и с учетом припуска на шлифовку 0,4 мм - 0,5 мм на диаметр. При этом нанесение слоев ЭЭЛ чередовалось с ППД, т.е. обкатка роликом производилась после каждого “прохода” ЭЭЛ.

ЭЭЛ осуществлялось на установке “ЭИЛ-9” (рис. 1).

В качестве материала электродов применялась высокопрочная нержавеющая сталь ВНС-2 состава 08X15H5Д2Т.

Для восстановления размеров шеек со стороны полумуфты использовались максимальные режимы, когда сила рабочего тока генератора составляла $I_p = 20 - 30$ А, что позволяло увеличивать размер шейки до 0,6 мм и более на диаметр за один проход. При восстановлении шеек со стороны свободного конца вала использовались более “мягкие” режимы, когда $I_p = 5 - 10$ А. При этом толщина наносимого покрытия составляла до 0,2 мм на диаметр.

Обкатка роликом производилась на токарном станке пружинно-штоковым приспособлением с $D_p = 40$ мм и профильным радиусом $r = 4$ мм. Удельное усилие выглаживания составляло 3000 МПа. После каждого “прохода” ЭЭЛ и ППД поверхность шеек тщательно очищалась металлическими щетками.

После шлифовки шеек в размер по чертежу производились фрезеровка шпоночного паза на глубину 7,5^{0,2} мм и балансировка ротора.

На рис. 2 изображен отремонтированный ротор электродвигателя.

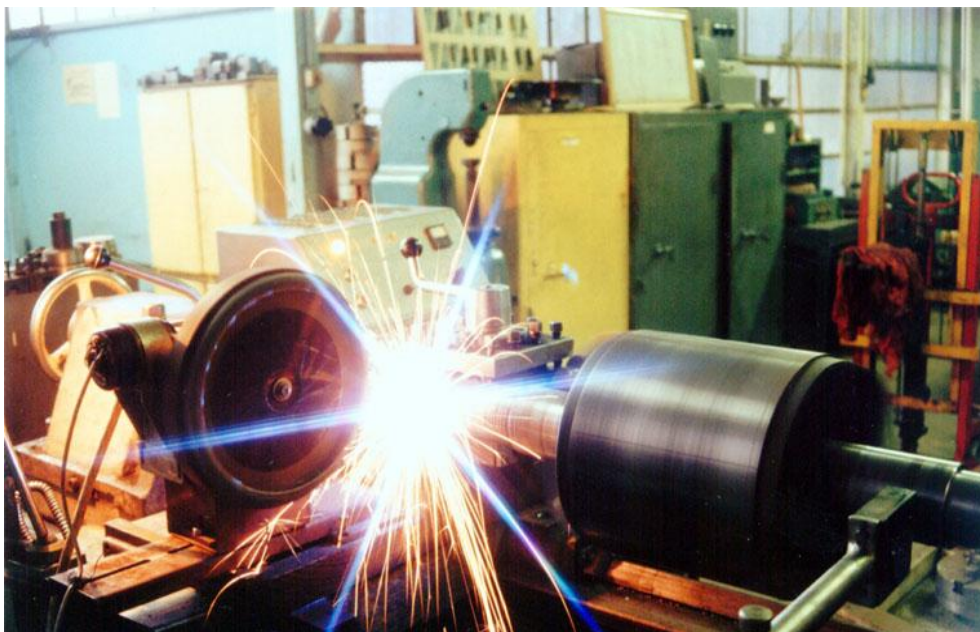


Рисунок 1 - ЭЭЛ ротора электродвигателя

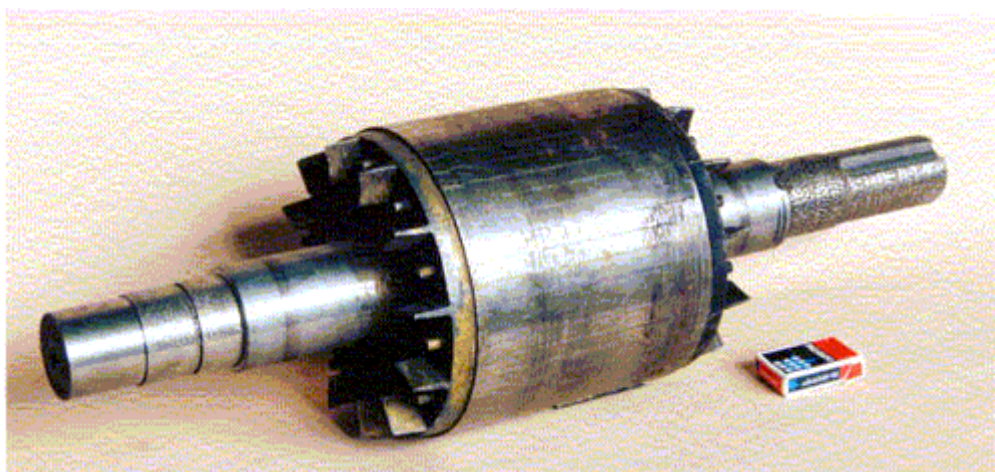


Рисунок 2 - Ротор электродвигателя после ремонта

РЕМОНТ ВИНТОВ ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА

В процессе работы винтового компрессора в винтах в основном изнашиваются посадочные места под подшипники, а иногда и кромки зубьев винтов по наружному диаметру. Износ, как правило, не превышает 0,3 мм на диаметр. Учитывая то, что зазор между винтами находится на уровне 0,05 мм, даже небольшой износ кромок зубьев винтов по наружному диаметру приводит к значительному снижению производительности компрессора.

На шахте им. Засядько в результате аварии компрессорной установки КУ ВВ 50/8 - У3 произошел осевой сдвиг ведомого винта (материал - сталь 40, твердость ~ 150 НВ) компрессорного блока CF 246 G (заводской №

497457), что привело к задиру его поверхностей (кромки зубьев по наружному диаметру $\varnothing 277$ мм и посадочной шейки подшипника $\varnothing 70,03$ мм) со стороны всасывания. Износ наружной поверхности кромок зубьев отмечался на протяжении всей их длины с постепенным возрастанием к торцу со стороны всасывания и достигал 2,5 мм на сторону. Износ посадочной шейки подшипника составлял 1,5 мм на диаметр.

Восстановление шейки подшипника производилось по выше - изложенной технологии ЭЭЛ + ППД на механизированной установке ЭЭЛ модели "ЭИЛ - 9".

Применение этой установки для восстановления наружной поверхности кромок зубьев не дало желаемого результата. Применение электродов из различных материалов (сталь 40, нержавеющие стали 12Х18Н10Т, 08Х15Н5Д2Т, бронза, латунь) на самых "грубых" режимах легирования позволяло восстановить наружные поверхности кромок зубьев не более чем на 0,2 мм.

Наружные поверхности кромок зубьев были восстановлены на установке с ручным вибратором модели "ЭЛИТРОН - 52А". В качестве электродов использовалась специальная оловянистая бронза марки О10Ц1,5Н.

После шлифовки шейки подшипника и наружной поверхности кромок зубьев в размер компрессорный блок был собран, испытан и отправлен заказчику.

ЭЭЛ РАБОЧИХ КОЛЕС

Сложность и высокая стоимость изготовления рабочих колес центробежных компрессоров обуславливают высокие требования к их износостойкости.

В большинстве случаев рабочие колеса выходят из строя по причине эрозионного износа их лопаток (рис. 3).

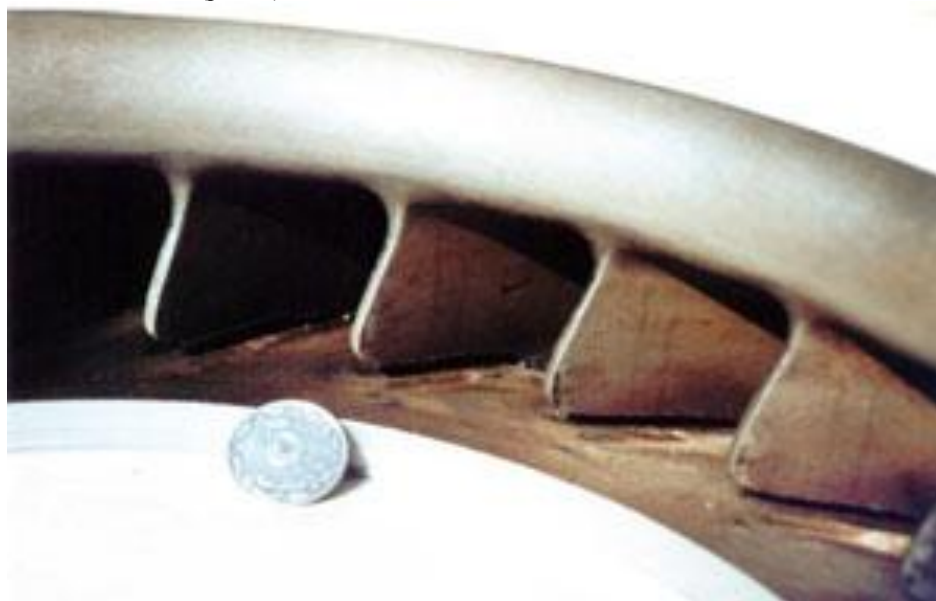


Рисунок 3 - Эрозионный износ лопаток колеса 1-й ступени ротора воздушного компрессора КВД модели 2MCL - 456 фирмы "Хитачи" (Япония)

ЭЭЛ - один из наиболее перспективных методов повышения долговечности рабочих колес центробежных компрессоров [8]. Технология нанесения на рабочие колеса износостойких покрытий методом ЭЭЛ была апробирована в Северодонецком ПО "Азот" на воздушном компрессоре КВД модели 2MCL - 456 фирмы "Хитачи". Компрессор был остановлен по причине эрозионного износа лопаток рабочих колес 1-й и 2-й ступеней ротора.

На вновь изготовленных рабочих колесах входные кромки лопаток, подвергаемые наибольшему эрозионному износу, упрочнялись методом ЭЭЛ на установке "УИЛВ - 8".

ЭЭЛ лопаток рабочих колес можно проводить на установках с ручным вибратором моделей "УИЛВ-8", "Элитрон-14", "Элитрон-22", "Элитрон-52", позволяющих наносить износостойкие покрытия толщиной соответственно 0,08; 0,1; 0,12 и 0,15 мм.

ЭЭЛ КОЛЕЦ ИМПУЛЬСНЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

В высокооборотных насосах и компрессорах большого давления широкое применение нашли торцевые уплотнения бесконтактного типа. Наличие в торцевой паре гарантированного зазора величиной 0,003 - 0,004 мм приводит к тому, что уплотняющие поверхности колец почти не изнашиваются и уплотнения могут работать практически неограниченно долго [9].

Традиционно кольца импульсных торцевых уплотнений изготавливались из силицированных графитов, что накладывало определенные ограничения на область применения уплотнения, скорость скольжения и величину уплотняемого давления. Эти материалы довольно дороги и имеют низкую ударную прочность, подвержены растрескиванию под действием силовых и тепловых нагрузок.

Расширение области применения импульсных уплотнений в сторону повышения режимных параметров потребовало использования новых материалов в паре трения. Применение композиционных материалов типа “основа-покрытие”, сочетающих защитные свойства покрытий с механической прочностью основы, являются перспективным путем повышения износостойкости колец импульсных торцевых уплотнений.

С целью отработки технологии формирования покрытий уплотнительных колец были выполнены обширные экспериментальные исследования по послойному ЭЭЛ сталей и сплавов различного состава электродами из тугоплавких металлов и их карбидов, а также электродами из мягких антифрикционных металлов [10].

В результате проведенных работ для упрочнения стальных подложек нами были предложены квазимногослойные покрытия, формируемые в последовательности ВК8 + Cu + ВК8. Так на стали 45 (микротвердость основы 2800 МПа) выбранные наиболее рациональные режимы легирования позволяют формировать покрытия с шероховатостью

$Ra=0,6$ мкм, толщиной до 30-40 мкм, микротвердостью на уровне 8740 МПа и сплошностью 100 % (рис. 4).

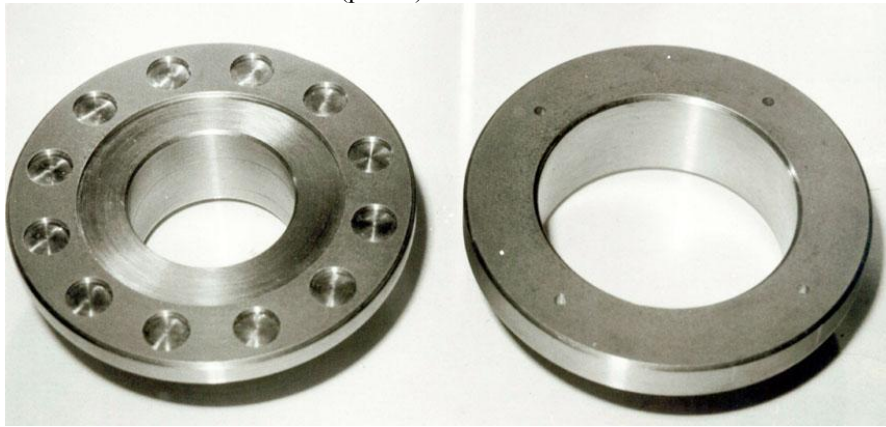


Рисунок 4 - Кольца импульсных торцевых уплотнений с КЭП

Результаты исследований износостойкости покрытий, состоящих из твердого сплава ВК8 и меди, свидетельствуют о том, что в паре трения может образовываться серовитная пленка, снижающая коэффициент трения в несколько раз. В данном случае, когда сформированный на основе ЭЭЛ поверхностный слой представляет собой пористый материал, пропитанный медью, при определенных условиях может устанавливаться режим избирательного переноса.

Комбинированные электроэрозионные покрытия (КЭП) на образцах из никелевого сплава ХН58МБЮД применяемого для работы в криогенных средах, сформированные в последовательности Cu + ВК8 и ВК8 + Cu + ВК8, не обеспечивают желаемой микротвердости в поверхностном слое.

В данном случае положительные результаты при упрочнении никелевого сплава ХН58МБЮД, обеспечивают КЭП, созданные по схеме ВК8 + ВК8 + Cu и ВК8 + ВК8 + Ni. Шероховатость в этом случае составляет ($Ra=0,8-1,0$ мкм), а микротвердость ($H_{\mu}=9270$ МПа и 9850 МПа соответственно).

Экспериментальные исследования импульсных торцевых уплотнений с кольцами, упрочненными ЭЭЛ, выполнялись на экспериментальном стенде Сумского государственного университета.

Так как наибольший износ колец импульсного уплотнения происходит при пуске и остановке машины, особое внимание уделялось испытанию на пусковых режимах. При пусковом перепаде давления 0,5 МПа 20 пусковых циклов и остановок

уплотнения на воздухе показали, что следов разрушения покрытия не наблюдается. Принимая во внимание то обстоятельство, что в моменты пуска, до образования газовой пленки, торцовая пара работает в режиме сухого трения, можно заключить, что КЭП обеспечивает требуемую износостойкость уплотняющих поверхностей колец импульсного уплотнения.

В НПО “Энергомаш” г. Химки, Московской обл. в процессе проведения работ, направленных на создание нового класса экономичных и надежных уплотнений роторов, в частности турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей, впервые были выполнены комплексные экспериментальные исследования одного узла импульсного уплотнения с КЭП в средах с различными теплофизическими свойствами (вода, жидкие кислород и азот) в широком диапазоне режимных параметров ($n = 8400 - 22700$ об/мин, $p = 0,8 - 12,2$ МПа), подтвердившие высокую работоспособность уплотнения в этих условиях [11].

SUMMARY

New technologies of strengthening and repair of rotary machine parts by methods of the electroerosion alloyage are described

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tarelnik V.B., Martsinkjvsky V.S., Gritsenko V.G. Hardening and reconditioning of main compressor parts by electroerosion alloying followed by plastic deformation. 5th International Symposium INSYCONT '98 Energy and environmental aspects of tribology Cracow, Poland, 1998.- P. 179-180.
2. Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием.- Сумы: Издавництво “МақДен”, 2002.-324 с.
3. Тарельник В.Б. Исследование влияния режимов электроискрового упрочнения на качественные параметры покрытий // Конструирование и производство транспортных машин. - Киев, 1994.- Вып. 24.- С. 103-107.
4. Тарельник В.Б. Комбинированные технологии электроэрозионного легирования.- К.: Техника, 1997.- 127 с.
5. Тарельник В. Ионно азотування квазібагатошарових електроерозійних покриттів // Машинознавство.- 1999.- № 6.- С. 31-33.
6. Тарельник В. Б. Микрогеометрия, структура и свойства электроэрозионно-легированных слоев, подверженных поверхностной пластической деформации // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.- 2000.- Вып. 77.- С. 25-29.
7. Тарельник В. Б. Влияние поверхностной пластической деформации на остаточные напряжения и усталостную прочность образцов из стали 45 с электроэрозионными покрытиями // Там же.- 2000.- Вып. 80.- С. 69-71.
8. П.Е. Жарков, В.Б. Тарельник. Повышение ресурса центробежных компрессоров электроэрозионным легированием рабочих колес // Химическое и нефтегазовое машиностроение.- 2003.- №1.- С. 22-24.
9. Торцовое уплотнение с регулируемой утечкой: А.с. 446695 СССР, МКН 23 Р 1/12 / К.В. Лисицын, В. А. Марцинковский, Н.В. Перидерий (СССР).-№ 1827549/25-8; Заявлено 11.09.72; Опубл. 22.06.74, Бюл. № 7.- 2 с.
10. Тарельник В. Б., Марцинковский В. С. Повышение износостойкости колец торцовых уплотнений ЭЭЛ трущихся поверхностей // Труды 9-й Междунар. конф. “Герметичность, виброненадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования”.- Сумы, 1999.- Т.1.- С. 254-265.
11. Тарельник В. Б. Разработка технологии повышения качества поверхностных слоев импульсных торцовых уплотнений, работающих в различных средах, методом электроэрозионного легирования // Электронная обработка материалов.- 2000.- № 4.- С. 7-11.

Поступила в редакцию 6 октября 2004г