

**Тарельник В.Б.,
Коноплянченко Е.В.,
Белоус А.В.,
Волошко Т.П.**

Сумской национальный аграрный университет,
40021, г. Сумы, ул. Герасима Кондратьева, 160,
каф. технического сервиса, (0542) 62-78-35,
E-mail: technology@i.ua

Жуков А.Н.

ПАО «Сумское машиностроительное научно-
производственное объединение», 40004, г. Сумы,
ул. Горького, 58, (0542) 25-05-39,
E-mail: snpo@frunze.com.ua

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

УДК 621.9.048

В статье приведен новый способ повышения износостойкости рабочих поверхностей стальных колец импульсных торцевых уплотнений, который включает нанесение на них квазимногослойных комбинированных электроэрозионных покрытий, позволяющих получить микротвердость поверхностного слоя в пределах 6500...9600 МПа при шероховатости поверхности Ra порядка 0,5 мкм.

***Ключевые слова:** импульсное торцевое уплотнение, износ, поверхностный слой, электроэрозионное легирование, микротвердость.*

Введение. Создание надежных уплотнительных узлов, обеспечивающих герметичность в течение длительного времени в широком диапазоне изменения температур и давлений, является одной из основных проблем, возникающих при проектировании насосных и компрессорных машин и агрегатов. Одним из самых распространенных уплотнительных элементов, широко применяемых в насосах, компрессорах и различных химических аппаратах (реакторах, мешалках и др.), является торцевое уплотнение. Работы, направленные на поиск менее дефицитных, более дешевых но не менее надежных материалов, используемых при изготовлении бесконтактных торцевых уплотнений, является актуальными и своевременными.

Анализ основных достижений и публикаций. Торцевое уплотнение с импульсным уравниванием аксиально подвижного элемента имеет сравнительно недавнюю историю - 1974 г.[1]. Традиционная конструктивная схема импульсного торцевого уплотнения (ИТУ) показана на рис.1. На рабочей поверхности аксиально подвижного кольца (ползуна) 1 расположены замкнутые камеры 2, а на поверхности опорного диска 3 несколько подводных каналов 4, которые при вращении упорного кольца последовательно соединяют камеры 2 с уплотняемой полостью А. Принцип действия импульсного уплотнения основан на том, что при вращении ротора подводные каналы 4 периодически сообщают камеры с полостью высокого давления 5, вследствие чего в них происходят всплески давления (импульсы), вызывающие изменение баланса осевых сил.

Силы действуют на аксиально подвижное кольцо, вследствие чего уплотняющие поверхности торцевой пары разделяются тонким слоем рабочей среды, толщина его зависит от размеров камер и питающих каналов.

ИТУ относятся к типу саморегулируемых, в них величина торцевого зазора выдерживается автоматически. Саморегулирование зазора основано на том, что осредненное за период между последовательными впрысками уплотняемой среды давление в каждой из камер 2 тем больше, чем меньше торцевой зазор и чем больше частота вращения ротора. Увеличение торцевого зазора приводит к уменьшению осредненного давления в

этих камерах и к нарушению баланса сил, действующих на аксиально подвижный элемент. В результате этого кольцо перемещается в сторону опорного диска и торцовый зазор уменьшается до тех пор, пока давление не возрастет настолько, чтобы восстановить равновесие осевых сил. При отсутствии вращения ротора и наличии давления уплотняемой среды торцовый зазор закрывается и уплотнение работает как стояночное.

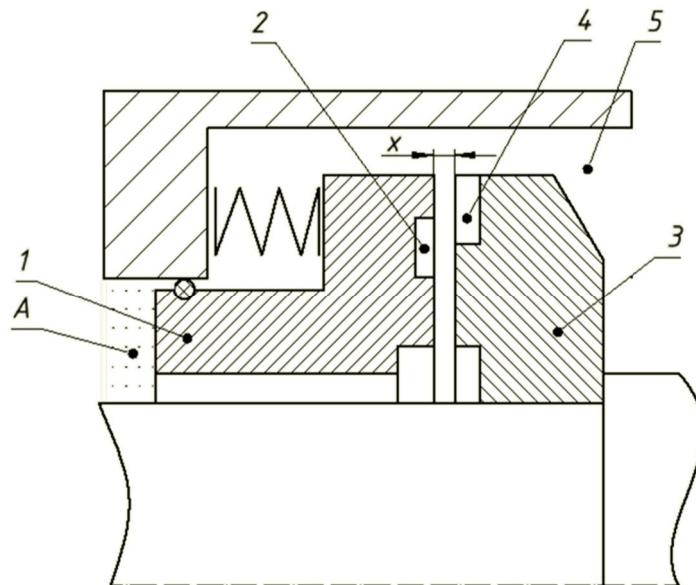


Рис.1 - Традиционная конструктивная схема ИТУ

Характерной особенностью ИТУ является то, что микрозазоры в паре трения достигаются за счет макрогеометрии торцовых поясков, т.е. размеры (ширина, глубина и длина) камер и питающих каналов исчисляются в миллиметрах и во много раз превосходят размеры зазора. При этом изменение размеров камер и питающих каналов в результате эрозионного или абразивного износа не оказывает существенного влияния на величину зазора и, следовательно, утечки.

Традиционно кольца ИТУ изготавливались из силицированных графитов, что накладывало определенные ограничения на область их применения, скорость скольжения и величину уплотняемого давления. Эти материалы дороги, имеют низкую ударную прочность, подвержены растрескиванию под действием силовых и тепловых нагрузок [2].

ИТУ на жидкостной смазке исследованы в широком диапазоне параметров режима: уплотняемый перепад давлений до 16,0 МПа, скорость скольжения до 100 м/с. Благодаря своим высоким эксплуатационным качествам, они успешно работают в высокооборотных питательных насосах атомных и тепловых электростанций. В среднем их наработка между плановыми ремонтами насосов составляет не менее 8000 ч, при этом степень износа при пути 10^6 км остается в пределах 1 - 2 мкм, что для узлов трения характеризуется как нулевой износ. При типичных условиях работы (давление 2,0 - 4,0 МПа, окружная скорость 40 - 60 м/с) уровень утечки составляет всего 1 - 2 л /ч [3].

В [4] проведен анализ работы затворного импульсного уплотнения. Отмечено, что применение таких уплотнений позволяет сэкономить энергию и ресурсы, а также повысить экологическую безопасность насосного и компрессорного оборудования. В некоторых агрессивных средах, где применение в разъемных соединениях уплотнений из неметаллических материалов ограничено или невозможно, применяют металлические уплотнения.

Надежность и долговечность ИТУ зависит от величины зазора между поверхностями трения и от параллельности поверхностей торцевой пары. Зазор между трущимися парами зависит от большого количества факторов: условий эксплуатации (частоты вращения и перепада давления), величины поджатия, теплофизических свойств уплотняемой жидкости, характеристик материала, геометрии уплотнительных колец, силовых и температурных деформаций. Изменение защитных и трибологических свойств поверхностей деталей можно достичь за счет образования специального рельефа поверхностей пар трения [5, 6].

Расширение области применения импульсных уплотнений в сторону повышения режимных параметров вызвало необходимость создания новых, композиционных материалов типа «основа - покрытие», сочетающих защитные свойства покрытий с механической прочностью основы.

Перспективным путем повышения износостойкости колец ИТУ может быть формирование на рабочих торцевых поверхностях методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) квазимногослойных покрытий, соединяющих в себе смазывающие и антиизносные свойства. Такими покрытиями могут быть комбинированные электроэрозионные покрытия (КЭП), сочетающие в себе твердые износостойкие и мягкие антифрикционные материалы. В [7] предложен новый способ ЭЭЛ, отличающийся тем, что с целью повышения износостойкости и уменьшения шероховатости поверхности, сначала наносят слой покрытия антифрикционным легкоплавким металлом, а затем слой покрытия из износостойкого высокотвердого металла.

Для увеличения толщины и сплошности покрытия были предложены квазимногослойные комбинированные электроэрозионные покрытия (КЭП), формируемые в последовательности ВК8 + Cu + ВК8. Наиболее предпочтительным является КЭП, где первый и последний слои из твердого сплава ВК8 наносятся при $W_u = 0,2$ Дж, а медь – 0,08 Дж. В этом случае толщина упрочненного слоя увеличивается до 30-40 мкм, микротвердость находится на уровне 8740 МПа, а сплошность составляет 100% [8].

Однако толщина покрытия 30-40 мкм также недостаточна для большинства колец торцевых уплотнений. Согласно [9], для снижения стоимости уплотнений целесообразно изготавливать кольца трущейся пары из дешевых металлов и при этом выполнять антифрикционное износостойкое покрытие трущихся поверхностей. Покрытия выполняют плазменным напылением порошков из оксидов алюминия или хрома, карбидов вольфрама или хрома. Толщина этих покрытий составляет обычно десятые доли миллиметра. Кроме напыления, покрытия колец выполняют гальваническим способом или термообработкой: хромированием, оксидированием, азотированием и др. При этом карбид вольфрама с кобальтом в качестве связки имеет ограниченное применение, в основном для абразивосодержащих сред. Кобальт имеет низкую химическую стойкость – растворяется даже в дистиллированной воде, поэтому его нельзя применять в аппаратах пищевой промышленности. Кобальтовая связка колец из карбидов вольфрама подвергается сильной коррозии в морской воде. При этом наличие в покрытии даже незначительного количества (до 8%) кобальта при определенных условиях может негативно сказаться на его износостойкости.

Одним из достоинств метода ЭЭЛ является возможность в широких пределах изменять механические, термические, электрические, термоэмиссионные и другие свойства рабочих поверхностей деталей [10]. Благодаря этому можно обеспечить работоспособность уплотнения в средах с высокой коррозионной и химической активностью. На качество формируемого поверхностного слоя оказывают влияние различные параметры: технологические режимы оборудования, материалы основы и электродного материала,

время обработки и т.п. В свою очередь, вышеуказанные факторы определяют такие качественные параметры поверхностного слоя, как микротвердость, глубина упрочненного слоя, шероховатость поверхности. Однако для достижения требуемых параметров точности рабочей поверхности, параметра шероховатости, необходимо применение дополнительных методов обработки, в качестве которых рассматриваются два метода финишной обработки: шлифование (ШЛ) и ультразвуковая обработка (УО) методом БУФО.

Таким образом, **целью** работы является улучшение параметров рабочих поверхностей стальных колец импульсных уплотнений, влияющих на их износостойкость.

Методика исследований. Толщину слоя покрытия измеряли микрометром, а шероховатость поверхности - на приборе профилографе-профилометре мод. 201 завода «Калибр» путем снятия и обработки профилограмм. Структуры поверхностного слоя изучали на оптическом микроскопе «Неофот-2», где проводилась оценка качества слоя, его сплошности, толщины и строения зон подслоя. Одновременно на микротвердомере ПМТ-3 проводили дюрометрический анализ на распределение микротвердости в поверхностном слое и по глубине шлифа от поверхности. Для исследования влияния времени легирования на качественные параметры поверхностного слоя при цементации электроэрозионным легированием (ЦЭЭЛ) использовались образцы из различных материалов: армко-железа, стали 12Х18Н10Т, сталей 30Х13 и 40Х. В качестве анода использовали углерод (графит марки ЭГ-4). Обработка БУФО осуществлялась на базе токарно-винторезного станка 16К20 с применением магнитоэрозионного преобразователя ПМС-39 и ультразвукового генератора УЗУ-030. ЦЭЭЛ проводилась на установках «ЭИЛ-8А» и «ЭИЛ-9» при энергиях разряда 0,6; 2,6 и 4,6 Дж.

Обсуждение результатов. Для решения указанной технической задачи предложен способ повышения износостойкости рабочих поверхностей стальных колец импульсных торцовых уплотнений, включающий, как и в [8], нанесение на них квазимногослойных комбинированных электроэрозионных покрытий (КЭП) состава, формируемого в последовательности ВК8 + Cu + ВК8, в котором слои КЭП наносят при сниженных показателях энергий разрядов, а перед нанесением КЭП рабочие поверхности обрабатывают методом ЦЭЭЛ при энергии разряда в диапазоне 0,036...4,6 Дж, при этом толщину слоя повышенной твердости увеличивают на толщину слоя ЦЭЭЛ. Причем, ЦЭЭЛ могут проводить при варьировании разряда в диапазоне 0,036...1,41 Дж без дополнительной обработки, при варьировании разряда в диапазоне 1,41...2,83 Дж с дополнительной обработкой методом БУФО, а также при варьировании разряда в диапазоне 2,83...4,60 Дж с дополнительной обработкой методом БУФО и шлифовкой. Кроме того, первый и последний слои из твердого сплава ВК8 могут наносить при энергии разряда $W_u = 0,1$, а слой из меди - при $W_u = 0,04$ Дж.

Использование метода ЦЭЭЛ, когда при ЭЭЛ в качестве электрода используют графит (углерод) обеспечивает:

- достижение 100% сплошности упрочнения поверхностного слоя;
- повышение твердости поверхностного слоя детали за счет диффузионно-закалочных процессов;
- легирование можно осуществлять в строго указанных местах, не защищая при этом остальную поверхность детали;
- отсутствие объемного нагрева детали, а следовательно поводок и короблений [11].

Применение заявляемого способа позволяет, варьируя разряд при осуществлении операции ЦЭЭЛ в диапазоне 0,036...6,8 Дж, формировать слои рабочих поверхностей стальных колец импульсных торцовых уплотнений повышенной твердости толщиной от 4-5 до 320-350 мкм.

Микроструктури упрочненого поверхнового слоя образцов из армо-железа, стали 12Х18Н10Т, стали 30Х13 и стали 40Х при энергии разряда $W_p = 1,41$ Дж и времени легирования 1 мин/см², приведены на рис. 2.

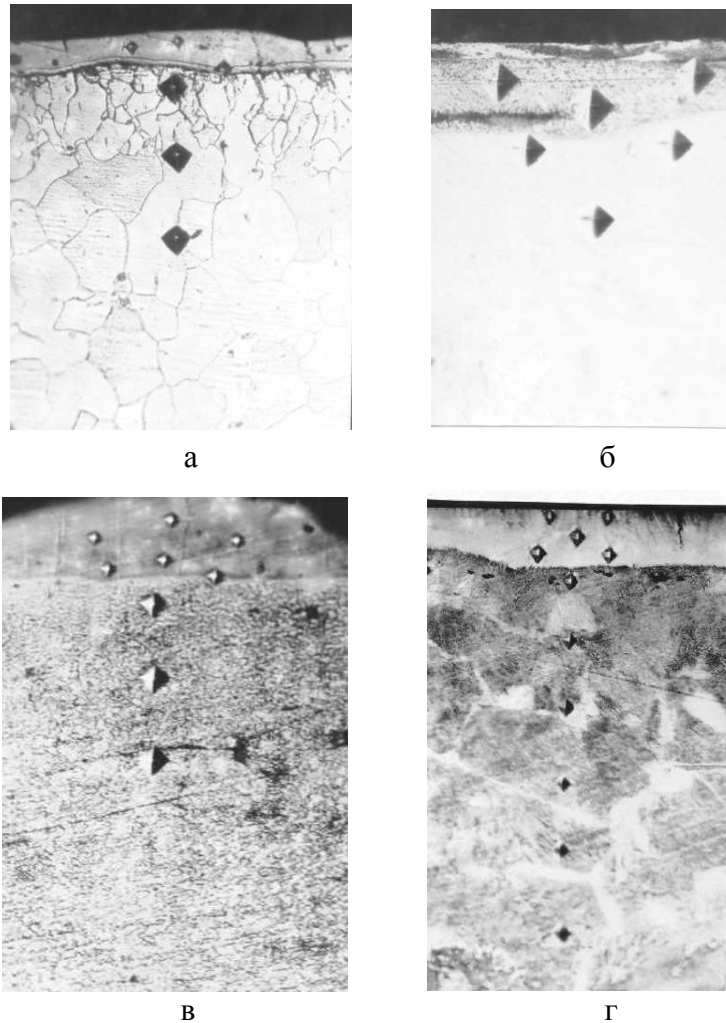


Рис.2 - Микроструктура поверхнового слоя образцов после ЦЭЭЛ
а – армо-железо, х 250, нагрузка $P=0,02$ Н; б - сталь 12Х18Н10Т х 400, нагрузка $P=0,05$ Н;
в – сталь 30Х13 х 400, нагрузка $P=0,02$ Н; г - сталь 40Х х 200, нагрузка $P=0,05$ Н.

Нижче в таблицях представлені результати проведених досліджень.

Шероховатість поверхності, незалежно від досліджуваного матеріала, з підвищенням енергії розряду зростає (см. табл. 1).

Крім того, в таблицях представлені дані загальної глибини упрочненого шару і максимальної мікротвердості на поверхності досліджуваних зразків в залежності від енергії розряду.

С збільшенням енергії розряду збільшується глибина упрочненого шару. Незалежно від досліджуваного матеріала і режиму ЦЭЭЛ мікротвердість упрочненого шару, максимальна на поверхності, по мірі углублення плавно знижується і переходить в мікротвердість підложки. Слід відзначити, що щільність упрочненого шару на всіх досліджуваних зразках 100%.

Відомо, що для формування при ЭЭЛ якісних покриттів вихідна шероховатість поверхності не повинна перевищувати $Rz < 6,3$ мкм, що відповідає $Ra \approx 1,2$ мкм. [12]. Тому ЦЭЭЛ в якості попередньої операції, згідно з пропонуваному способом, можна виробляти без додаткової обробки тільки при енергії розряду в діапазоні 0,036...1,4 Дж.

Результаты исследования образцов из разных материалов

Энергия разряда $W_{\text{л}}, \text{Дж}$	Время легирования, мин	Общая глубина слоя, мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость, $R_a, \text{мкм}$
1	2	3	4	5
<i>Сталь 12X18H10T</i>				
0,5	1	30	950	0,8-0,9
1,41		71	900	1,0-1,6
2,83		96	840	5,5-6,3
3,4		101	870	8,3-8,5
6,8		115	900	11,9-14
0,5	5	48	1013	0,9-1.0
1,41		134	1101	1,2-1,7
2,83		200	974	5,8-6,7
3,4		210	960	8,6-8,8
6,8		250	1100	11,9-14.1
0,5	10	51	1006	0,9-1.1
1,41		145	995	1,4-1,9
2,83		220	930	5,8-6,9
3,4		230	1001	8,6-9.1
6,8		275	1050	12.3-15
<i>Сталь 40X</i>				
0,5	1	35	950	0,8-0,9
1,41		146	900	1,0-1,6
2,83		215	980	5,5-6,3
3,4		230	960	8,3-8,5
6,8		270	1010	11,9-14
0,5	5	50	987	0,8-0,9
1,41		377	993	1,1-1,7
2,83		658	1001	5,6-6,5
3,4		722	997	8,7-8,9
6,8		910	1050	11,9-14.1
0,5	10	55	1002	0,9-1.0
1,41		424	989	1,2-1,8
2,83		757	1100	5,7-6,8
3,4		833	1050	8,5-9.0
6,8		1060	1001	12.1-14.3

1	2	3	4	5
<i>Армко-железо</i>				
0,5	1	30	950	0,8-0,9
1,41		71	900	1,0-1,6
2,83		96	840	5,5-6,3
3,4		101	870	8,3-8,5
6,8		115	900	11,9-14
0,5	5	37	985	0,9-1,0
1,41		163	970	1,2-1,6
2,83		245	1002	5,7-6,7
3,4		262	1006	8,6-8,9
6,8		310	1070	11,9-14,1
0,5	10	38	991	0,9-1,1
1,41		173	1006	1,5-1,9
2,83		261	1050	5,7-6,9
3,4		281	959	8,7-9,1
6,8		333	1040	12,4-15
<i>Сталь 30X13</i>				
0,5	1	34	1050	0,8-0,9
1,41		134	978	1,1-1,5
2,83		196	909	5,8-6,3
3,4		209	1072	8,0-8,5
6,8		245	1027	11,9-14
0,5	5	48	1020	0,8-1,0
1,41		358	1005	1,2-1,7
2,83		623	1100	5,9-6,7
3,4		684	993	8,7-8,8
6,8		860	1000	11,9-14,1
0,5	10	50	995	0,9-1,1
1,41		405	1002	1,4-1,8
2,83		720	1040	5,8-6,8
3,4		795	1080	8,6-9,0
6,8		1006	1100	12,3-14,9

Результаты исследований качественных параметров поверхности образцов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Качественные параметры образцов после ЦЭЭЛ

Энергия разряда, Дж	Время легирования, мин	Общая глубина слоя, мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость Ra, мкм
Сталь 40X				
0,6	5	50	987	0,8-0,9
2,83		658	1000	5,6-6,5
4,6		910	1050	11,9-14,1
Сталь 12X18H10T				
0,6	5	48	1013	0,9-1,0
2,83		200	974	5,8-6,7
4,6		250	1100	10,0-14,5

Таблица 3

Качественные параметры поверхностей образцов при использовании интегрированных технологий

Энергия разряда, Дж	Метод обработки образца	Общая глубина ЦЭЭЛ слоя, мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость Ra, мкм	Общая глубина ЦЭЭЛ слоя, мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость Ra, мкм
		<i>Сталь 40X</i>			<i>Сталь 12X18H10T</i>		
0,6	ЦЭЭЛ+УО	50	980	0,2	50	880	0,2
	ЦЭЭЛ+УО+ШЛ	40	920	0,6	48	841	0,6
	ЦЭЭЛ+ШЛ	10	780	0,6	18	723	0,6
	ЦЭЭЛ	50	987	0,8-0,9	48	1013	0,9-1,0
2,83	ЦЭЭЛ+УО	657	920	0,8	210	970	0,8
	ЦЭЭЛ+УО+ШЛ	635	895	0,8	195	950	0,8
	ЦЭЭЛ+ШЛ	580	770	0,8	130	790	0,8
	ЦЭЭЛ	658	1000	5,6-6,5	200	974	5,8-6,7
4,6	ЦЭЭЛ+УО	908	854	0,8	244	985	0,8
	ЦЭЭЛ+УО+ШЛ	895	840	0,8	220	875	0,8
	ЦЭЭЛ+ШЛ	856	824	0,8	110	670	0,8
	ЦЭЭЛ	910	1050	11,9-14,1	250	1100	10,0-14,5

Таким образом, перед нанесением методом ЭЭЛ покрытия состава ВК8 + Cu + ВК8 целесообразно производить ЦЭЭЛ при следующих энергиях разряда:

- до 1,41 Дж - без дополнительной обработки;
- до 2,83 Дж с дополнительной обработкой методом БУФО;
- до 4,6 Дж с дополнительной обработкой методом БУФО и шлифовкой.

При энергии разряда больше 4,6 Дж ЦЭЭЛ проводить нежелательно из-за ухудшения качества поверхности, а именно, высокой шероховатости, недостаточной сплошности обработанной поверхности и т. п., а также из-за быстрого разрушения электрода.

С целью улучшения качественных характеристик формируемых поверхностных слоев исследовались квазимногослойные КЭП, сформированные по схеме ВК8 + Cu + ВК8. Покрытия наносили на образцы из стали 40Х, которые подвергались ЦЭЭЛ при энергии разряда $W_u = 0,6$ Дж.

Шероховатость сформированного слоя при ЭЭЛ значительно зависит от величины исходной шероховатости поверхности, причем, чем выше исходная, тем выше конечная. Учитывая то, что после ЦЭЭЛ шероховатость поверхности образцов повышается и составляет $R_a = 0,8 - 0,9$ мкм, а также то, что при воздействии на ЦЭЭЛ слой в зоне термического влияния может произойти отпуск, что приведет к негативным последствиям (снижению микротвердости и толщины упрочненного слоя), первый слой твердого сплава ВК8 наносили при энергии разряда $W_u = 0,1$ Дж, меньшей чем в [8], где $W_u = 0,2$ Дж. Второй слой (медь) и третий (твердый сплав ВК8) - наносили на различных режимах (см. табл. 4).

Таблица 4

Результаты металлографических исследований КЭП

Материал электрода	Энергия разряда, W_u , Дж	Толщина, мкм		Микротвердость, МПа		Шероховатость R_a , мкм
		слоя	переходной зоны	слоя	переходной зоны	
ВК8	0,1	до 15	60-65	6500-9600	7500...9800	0,5
Cu	0,04					
ВК8	0,1					
ВК8	0,1	до 15	60-65	6420...7570	7500...9580	0,5
Cu	0,08					
ВК8	0,1					
ВК8	0,1	до 15	до 60	5520...6970	6480...9300	0,8
Cu	0,08					
ВК8	0,2					
ВК8	0,2	до 20	до 60	6330...8740	6030...9500	0,7
Cu	0,08					
ВК8	0,2					

Для сравнения, КЭП наносили на режимах [8].

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что наиболее предпочтительным является КЭП, когда первый и последний слой из твердого сплава ВК8 наносились при энергии разряда $W_u = 0,1$, а промежуточный (медь) – при $W_u = 0,04$ Дж.

Выводы:

1. Предложен новый способ повышения износостойкости рабочих поверхностей стальных колец ИТУ, который включает нанесение на них квазимногослойных КЭП состава, сформированного в последовательности ВК8 + Cu + ВК8, при этом перед нанесением КЭП рабочие поверхности обрабатывают ЦЭЭЛ при энергии разряда в диапазоне 0,036 ... 4, 6 Дж, причем, толщину слоя повышенной твердости увеличивают на толщину слоя ЦЭЭЛ.

2. Металлографические исследования КЭП показали, что для стальных подложек наиболее предпочтительным является покрытие состава ВК8 + Cu + ВК8, когда первый и последний слой из твердого сплава ВК8 наносят при энергии разряда $W_u = 0,1$ Дж, а медь при $W_u = 0,04$ Дж. Микротвердость поверхностного слоя таких покрытий находится на достаточно высоком уровне ($H_u = 6500...9600$ МПа), шероховатость низкая ($R_a = 0,5$ мкм), микротвердость от максимальной на поверхности плавно снижается по мере углубления до твердости основного металла.

Литература:

1. 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.
2. Торцевые уплотнения аппаратов химических производств / Г. В. Антипин, М. Т. Банников, А. Д. Домашнев и др. – М.: Машиностроение, 1984.- 112 с.
3. Москаленко В. В., Лисицын К. В., Марцинковский В. А. Характеристики и опыт эксплуатации импульсных торцовых уплотнений // Труды 6-й техн. конфер. «Уплотнения и вибрационная надежность центробежных машин».- Сумы.- 1991.- С. 41.
4. Martsynkovskyy V., Zahorulko A., Gudkov S., Mischenko S. Analysis of buffer impulse seal // *Procedia Engineering*, Volume 39, 2012, pp. 43-50. DOI: 10.1016/j.pro-eng.2012.07.006.
5. Bogdan Antoszewski. Influence of Laser Surface Texturing on Scuffing Resistance of Sliding Pairs // *Advanced Materials Research*, V. 874, 2014, pp. 51-55.
6. Błasiak S., Kundera Cz. Numerical analysis of the grooved surface effects on the thermal behavior of a non-contacting faceseal // *Procedia Engineering*, V.39,2012, pp. 315-326.
7. Способ электроэрозионного легирования поверхностей стальных деталей: Пат. 2524471. Российская Федерация. МПК В23Н 9/00 / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б.; Опубл. 27.07.14, Бюл. № 21.-10 с.
8. 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.
9. Мельник В.А. Торцевые уплотнения валов: справочник.- М.: Машиностроение, 2008.- 320 с.
10. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М./ Кишинев: Штинца, 1985.- 196 с.
11. Патент України на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/ В.С. Марцинковський, В.Б.Тарельник, А.В. Білоус / Опубл. 25.03.2008, бюл. № 10.
12. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей.- М.: Машиностроение, 1976.- с. 46.

Summary

V.Tarelnyk, A.Zhukov, Ie.Konoplianchenko, A.Belous, T.Voloshko, Increase reliability of impulse face seal

Explosive technology development is followed not only by operating machine parameters increase but also by the existence of new, cheaper but not less reliable composite materials, combining surface protective properties with mechanical base strength.

Presented in the article technical solution relates to the field of electrophysical and electrochemical machining, particularly to electroerosion alloying, and can be used for surface processing of impulse face seal (IFS) elements.

Set the way of the IFS steel rings working surfaces wear resistance increase, which consists of coating of quasi-multilayers combined electroerosion covering (QCEC). A new method of working surfaces wear-resistance increase of impulse face seal metal rings was proposed, which includes QCEC application of the alloy formed in the sequence of BK8+Cu+BK8, herewith the working surfaces before the application are processed with cementation with electroerosion alloying with energy discharge in the range of 0.036...4.6 J, provided that the hardened layer thickness is increased by layer thickness processed with cementation with electroerosion alloying.

Metallographic studies of QCEC have shown that the most preferable for steel supports is the coating BK8+Cu+BK8, where the first and the last layers of solid alloy BK8 are applied with energy discharge $W_u = 0.1$ J, and the copper with $W_u = 0.04$ J. The surface layer microhardness of such coatings is high enough ($H_{\mu} = 6500...9600$ MPa), low roughness ($R_a = 0.5$ micron), the microhardness smoothly decreases from the maximum as penetration increases to hardness of the base metal.

Keywords: impulse face seal, wear, surface layer, electroerosive alloying, microhardness

References

1. End seal with controlled leakage: A.c. 446695 USSR, MKH 23 P 1/12 /K.V. Lisitsyn, V.A.Martsynkovskyy, N.V.Periderii (USSR).-№ 1827549/25-8; Applied 11.09.72; Publ. 22.06.74, Bul. № 7.- 2 p.
2. End seals for chemical machinery. / G. V. Antipin, M.T.Bannikov, A.D. Domashnev, etc. – M.: Machine building, 1984.-112 p.
3. Moskalenko V.V., Lisitsyn K.V., Martsynkovskyy V.A. Characteristics and experience of impulse end seals operation// Materials of the 6th technical conference «Seals and vibration reliability of centrifugal machines». - Sumy- 1991.- P. 41.
4. Martsynkovskyy V., Zahorulko A., Gudkov S., Mischenko S. Analysis of buffer impulse seal // Procedia Engineering, Volume 39, 2012, pp. 43-50.**DOI:** 10.1016/j.pro-eng.2012.07.006.
5. Bogdan Antoszewski. Influence of Laser Surface Texturing on Scuffing Resistance of Sliding Pairs //Advanced Materials Research, V. 874, 2014, pp. 51-55.
6. Błasiak S., Kundera Cz. Numerical analysis of the grooved surface effects on the thermal behavior of a non-contacting face seal // Procedia Engineering, V.39,2012, pp. 315-326.
7. Method of electroerosion alloying of steel workpiece surfaces: Pat. 2524471. The Russian Federation. MPKV23N9/00 / Martsynkovskyy V.S.Tarelnyk V.B.; Publ. 27.07.14, Bul. № 21.-10 p.
8. Tarelnyk V.B. Development of upgrading technology of the surface layers of impulse end seals, operating in different environments, using electroerosion alloying// Materials electronic processing.- 2000.- № 4.- p. 7-11.

9. Melnik V.A. End seals of shafts: reference book.-M.: Machine building, 2008.- 320 p.
10. Electrospark alloying of metal surfaces/ Gitlevich A.E., Mikhailov V.V., Parkanskii N.Ya, Revutskii V.M./Kishinev: Shtintsa, 1985.- 196 p.
11. Patent of Ukraine for invention № 82948, 23C 8/00. Cementation method of steel work-pieces using electroerosion alloying/ V.S.Martsynkovskyy, V.B.Tarel'nyk, A.V.Bilous/ Publ. 25.03.2008, Bul. № 10.
12. Lazarenko N.I. Electrospark alloying of metal surfaces.-M.: Machine building, 1976.- p. 46.