

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК  
ХАРКІВСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Випуск 159

«ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН ДЛЯ  
РОСЛИННИЦТВА»

*Присвячений 85 - річчю університету*

Харків 2015

УДК 621.9.048

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ****Тарельник В.Б.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Лебедь В.Т.<sup>2</sup>, д.т.н., доцент,  
Коноплянченко Е.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Тарельник Н.В.<sup>1</sup>, к.э.н., доцент***(1- Сумский национальный аграрный университет, Украина;  
2-Донбасская государственная машиностроительная академия, Украина)*

*Предложены новые методы повышения износостойкости стальных деталей, подвергающихся фреттинг-коррозии. Представлены результаты исследований качественных параметров поверхностных слоев, цементированных методом электроэрозионного легирования (ЦЭЭЛ) стальных деталей, а так же деталей, ЦЭЭЛ и покрытых мягкими антифрикционными металлами, после безабразивной ультразвуковой финишной обработки.*

**Введение.** Наиболее характерными случаями отказов работы прессовых и прессово-шпоночных соединений являются нарушение прочности сопряжения, фреттинг-усталостные повреждения и поломки вследствие усталости. Поэтому повышение работоспособности этих соединений является одной из важнейших задач в обеспечении надежности и долговечности деталей машин.

Фреттинг-коррозия наблюдается при различных прессовых посадках на вращающихся валах, в местах посадки лопаток турбин, в шлицевых, шпоночных, болтовых и заклепочных соединениях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Изнашивание при фреттинг-коррозии возникает при малых колебательных, циклических, возвратно-поступательных перемещениях с малыми амплитудами.

В результате фреттинг-коррозии снижается усталостная прочность деталей, что может явиться причиной серьезных аварий.

Сборка неподвижных поверхностей может осуществляться запрессовкой вала в отверстие, нагреванием детали, которая имеет отверстие и охватывает или охлаждением вала [1].

Анализ результатов эксплуатации составных прокатных валков ряда типоразмеров показывает, что отмечается большое число случаев низкой надежности фиксации бандажа на оси валка в процессе сборки термовоздействием [2]. Это способствовало разработке широкого спектра дополнительных конструктивных, технологических и других видов и средств крепления [3].

Повреждения от фреттинг-коррозии зависят от многих факторов: амплитуды относительного проскальзывания, контактного давления, количества циклов, частоты колебаний, материала и окружающей среды.

Для существенного повышения несущей способности прессовых соединений в последнее время широкое развитие получило направление, связанное с введением в зону контакта мягких и твердых прослоек [4-8].

Эффективность конкретного покрытия зависит от его толщины [5]. Проведенные опыты показали, что повреждение от фреттинга увеличивалось, если толщина электроосажденного слоя серебра уменьшалась со 125 до 12,5 мкм. Согласно [9] к практическому применению для большинства деталей рекомендуется толщина покрытия в пределах 75-125 мкм, хотя в отдельных случаях были рекомендованы толщины до 300 мкм.

В [10] автор приводит результаты работ А. Тума и Ф. Вундерлиха в которых отмечается значительный эффект повышения предела выносливости валов с напрессованными деталями путем цементации. Было установлено, что на предел выносливости образцов диаметром 12 мм с запрессованными втулками влияла поводка их при закалке. После принятия мер против поводки предел выносливости повысился с 137,3 до 412,0 МПа. По данным Э. Лера предел выносливости цементированных образцов диаметром 60 мм в запрессовке повысился более чем в два раза.

Анализ литературных источников показывает отсутствие единого механизма защиты от фреттинг-коррозии. Установлено что фреттинг-коррозию деталей можно уменьшить или полностью исключить, изменяя качественные параметры их поверхностных слоев, например, нанесением коррозионно-стойких защитных покрытий требуемой твердости, толщины и коэффициента трения, прочно соединенных с основой детали и не снижающих их усталостную прочность.

Одним из наиболее перспективных способов формирования поверхностных слоев деталей с требуемыми свойствами является метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ). Метод имеет ряд специфических особенностей, одной из которых является то, что процесс легирования может происходить без переноса материала анода на поверхность катода и не образовывать прирост материала, например, при ЭЭЛ графитовым электродом.

Способ ЭЭЛ графитовым электродом основан на процессе диффузии (насыщении поверхностного слоя детали углеродом) и имеет определенное сходство с разновидностью химико-термической обработки - цементацией.

По сравнению с обычной цементацией, способ цементации стальных деталей ЭЭЛ не только обладает всеми достоинствами сравниваемого метода, то есть упрочнение поверхности детали осуществляется при сохранении свойств ее исходного материала, но, кроме того, не происходит ее коробления, а малогабаритные установки позволяют выполнять упрочнение на любом имеющемся оборудовании. Производительность процесса при этом составляет 1-5 мин /см<sup>2</sup>.

При ЭЭЛ графитовым электродом упрочнение поверхности детали происходит за счет диффузионно-закалочных процессов, заключающихся в локальном насыщении ее углеродом, при достаточно высокой температуре (до

10000°C), с последующим быстрым охлаждением до практически комнатной температуры самой детали.

Цементацию стальных деталей электроэрозионным легированием (ЦЭЭЛ) можно выделить в отдельное направление, позволяющее формировать на деталях машин поверхностные слои повышенной износостойкости без изменения исходного размера детали [11].

При ЦЭЭЛ стальных деталей толщина упрочненного слоя зависит от энергии разряда и времени легирования (производительности процесса). С увеличением энергии разряда и времени легирования толщина упрочненного слоя увеличивается. При этом возрастает и шероховатость поверхности. Так при ЭЭЛ углеродом среднеуглеродистой легированной стали 40X ( $Ra = 0,5 \text{ мкм}$ ) с производительностью  $5 \text{ мин/см}^2$  при энергии разряда 6,8 Дж толщина слоя повышенной твердости составляет более 1,15 мм. Шероховатость поверхности при этом соответствует  $Ra = 11,7-14,0 \text{ мкм}$ .

С целью снижения шероховатости поверхности после ЦЭЭЛ применяют, как правило, методы поверхностно-пластического деформирования (ППД).

Среди методов ППД особого внимания заслуживают: обкатывание шариком и ультразвуковое упрочнение - метод безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО).

Следует отметить, что применение методов ППД не всегда приводит к желаемым результатам. Так, при обкатке шариком, незначительное превышение необходимого удельного усилия обкатки, обуславливает возникновение в поверхностном слое, предварительно ЭЭЛ углеродом, микротрещин [12]. Микротрещины, являясь концентраторами напряжений, могут привести к разрушению деталей, особенно тех, которые в процессе работы подвергаются знакопеременным нагрузкам.

Несмотря на то, что последующая обработка БУФО значительно снижает шероховатость поверхности, для многих деталей машин это является недостаточным.

Применение после ЦЭЭЛ шлифовки не представляется возможным, так как в данном случае удаляется, как минимум 50-100 мкм поверхностного слоя, причем слоя с наибольшей твердостью.

Таким образом, **целью** работы является повышение износостойкости деталей прессовых соединений путем формирования поверхностных слоев, снижающих негативное влияние фреттинг коррозии.

Качество ЦЭЭЛ слоя можно повысить как за счет выбора наиболее рациональных режимов обработки, так и за счет нанесения на цементированный слой мягких антифрикционных материалов, например, меди, серебра и др. и последующей обработки БУФО.

Повышение качества цементированного слоя путем выбора наиболее рациональных режимов ЭЭЛ

С целью снижения шероховатости поверхности деталей машин, с сохранением качества поверхностного слоя (отсутствие микротрещин, наличие

слоя повышенной твердости, 100%-я сплошность и др.) и таким образом расширения области их применения, предлагается после ЭЭЛ углеродом (графитовым электродом) производить легирование этим же электродом, но поэтапно. На каждом последующем этапе необходимо использовать режим ЭЭЛ с такой энергией разряда, при которой шероховатость поверхности этого же, но нелегированного (исходного) материала была бы в 2-3 раза ниже, чем на предыдущем этапе. При этом если величина шероховатости снижается в два раза, то легирование проводить за 1 проход, а если в три раза, то за 2 прохода. Один проход соответствует 100% обработки всей поверхности изделия с производительностью, соответствующей используемой энергии разряда.

Производительность процесса ЭЦ, в зависимости от режима легирования представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Производительность процесса ЦЭЛ, в зависимости от режима легирования

Энергия разряда ( $W_p$ ), Дж	0,1	0,31	0,53	0,9	2,83	3,4	6,8
Производительность ЭЦ, мин/см <sup>2</sup>	2,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5

Ниже приведена методика и результаты проведенных исследований.

ЦЭЭЛ выполнялась на переносных установках ЭЭЛ с ручным вибратором, обеспечивающих энергию разряда в диапазоне 0,1...0,53 Дж «Элитрон - 22А» и установки электроэрозионного легирования большей мощности - «Элитрон - 52А» с энергией разряда до 6,8 Дж.

Процесс ЦЭЭЛ проводился в автоматическом режиме с помощью специального приспособления на различных режимах в диапазоне энергий разряда ( $W_p$ ) от 0,1 до 6,8 Дж.

Для исследований использовали специальные образцы, изготовленные из сталей 38ХМЮА, 40ХН2МА в виде катушки, состоящей из двух дисков, диаметром 50 мм и шириной 10 мм, соединенных между собой проставкой диаметром 15 мм и имеющей два технологических участка такого же диаметра (рис 1, а). Поверхности дисков перед ЦЭЭЛ шлифовались до  $Ra = 0,5$  мкм. Образцы закреплялись в патроне токарного станка, после чего производилась ЦЭЭЛ (рис. 2) и обработка БУФО. Кроме того, для исследований использовались плоские образцы из стали 20, размером 20 x 40 x 5 мм. На всех этапах обработки измерялась шероховатость поверхности на приборе профилографе - профилометре мод. 201 завода «Калибр». Дальше круглые образцы разрезались на отдельные диски (диаметром 50 мм и шириной 10 мм) (рис. 1, б). Из дисков, в свою очередь, вырезались отдельные сегменты, а из плоских образцов параллелепипеда размером 10 x 10 x 5 мм из которых изготавливались шлифы для металлографических и дюрOMETрических исследований. Кроме того плоские образцы исследовались на электронном микроскопе-анализаторе "РЕМ - 106 И" производства ОАО «SELMI», г. Сумы, где проводилась оценка качества и топографии поверхностного слоя.



Рисунок 1 – Стальные образцы для исследования результатов ЦЭЭЛ

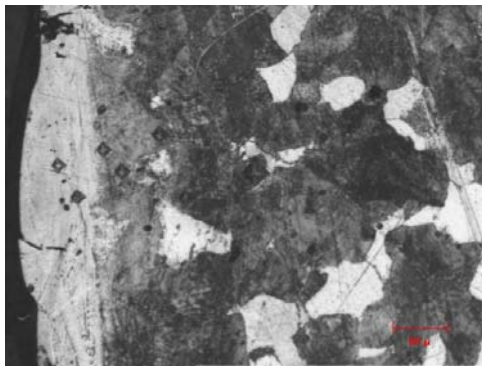


Рисунок 2 – ЦЭЭЛ с использованием токарного станка

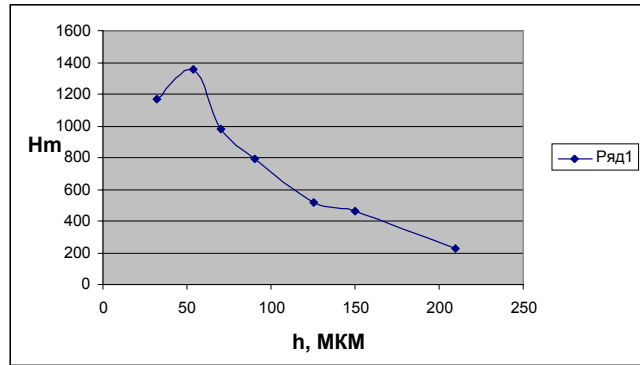
ЦЭЭЛ производилась графитовыми электродами марки ЭГ-4 с производительностью 5 мин/см<sup>2</sup>.

При ЦЭЭЛ круглых образцов из сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА с энергией разряда  $W_p = 0,53$  Дж шероховатость поверхности ( $R_a$ ) повышается с 0,5 до 1,4-1,7 мкм. Окончательная обработка БУФО снижает шероховатость поверхности до  $R_a = 0,6$  мкм. Толщина упрочненного слоя в этом случае не превышает 35 мкм, а микротвердость, соответственно 950 и 800 НV.

С увеличением режима ЦЭЭЛ до  $W_p = 0,9$  Дж глубина упрочненного слоя увеличивается до 150 – 170 мкм (рисунки 3 и 4). Микротвердость на поверхности составляет, соответственно, для сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА 1350 и 760 НV. По мере углубления микротвердость снижается и плавно переходит в твердость основы, соответственно, для сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА 225 и 260 НV. Шероховатость поверхности в свою очередь увеличивается до  $R_a = 1,6 - 2,0$  мкм. Последующая обработка БУФО снижает шероховатость поверхности до  $R_a = 0,8-0,9$  мкм. Дальнейшее увеличение толщины слоя повышенной твердости сопровождается формированием еще большей шероховатости поверхности.



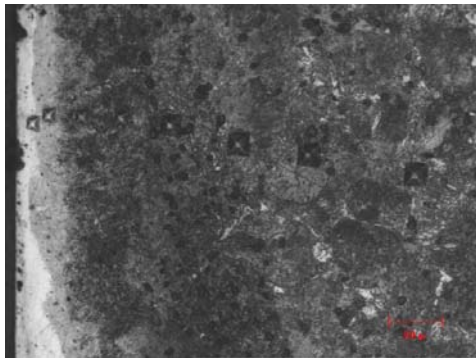
а



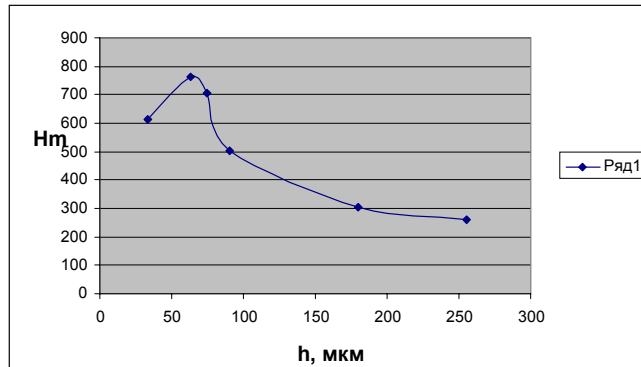
б

Рисунок 3 – Распределение микротвердости по глубине слоя при ЭЭЛ стали 38ХМЮА углеродом ( $W_p = 0,9$  Дж)

Результаты исследований параметров качества поверхностного слоя (общей толщины слоя повышенной твердости; максимальной микротвердости на поверхности, HV; шероховатости после ЦЭЭЛ и БУФО) сталей 38ХМЮА и 40ХН2МЮА сведены в табл. 2.



а



б

Рисунок 4 – Распределение микротвердости по глубине слоя при ЭЭЛ стали 40ХН2МЮА углеродом ( $W_p = 0,9$  Дж)

Таблица 2 – Результаты исследования стальных образцов после ЦЭЭЛ и БУФО

Марка стали	Энергия разряда, $W_p$ , Дж	Общая глубина слоя, мкм	Максимальная микротвердость на поверхности, HV	Шероховатость, Ra, мкм	
				после ЦЭЭЛ	после БУФО
38ХМЮА	0,1	10	900	0,8-0,9	0,2
	0,31	20	900	0,9-1,0	0,3
	0,53	35	950	1,4-1,7	0,6
	0,9	170	1350	1,6-2,0	0,8
	2,83	215	980	5,7-6,9	1,5
	3,4	230	960	8,3-8,5	2,3
	6,8	370	1010	11,9-14,0	3,2
40ХН2МЮА	0,1	10	900	0,8-0,9	0,2
	0,31	20	900	0,9-1,0	0,3
	0,53	37	800	1,4-1,7	0,6
	0,9	163	760	1,7-2,0	0,9
	2,83	245	1002	5,7-6,7	1,5
	3,4	262	1006	8,6-8,9	2,3
	6,8	380	1070	11,9-14,1	3,2

В табл. 3 представленны результаты максимального снижения величины шероховатости образцов после ЦЭЭЛ при использовании режимов легирования с различной энергией разряда. Так, например, после ЦЭЭЛ стали 38ХМЮА при энергии разряда 2,83 Дж шероховатость поверхности составляет  $Ra = 5,7-6,9$  мкм. После ЭЭЛ графитовым электродом с производительностью 2 мин/см<sup>2</sup> (2 прохода с производительностью 1 мин/см<sup>2</sup>) и использованием режима с энергией разряда 0,9 Дж шероховатость поверхности составляет  $Ra = 1,7-2,2$  мкм. Дальнейшее увеличение производительности легирования (числа проходов) не способствует снижению величины шероховатости поверхности.

После ЭЭЛ стали 38ХМЮА графитовым электродом с использованием режимов с энергиями разряда 0,53; 0,31 и 0,1 Дж и производительностью, соответственно 3; 6 и 14 мин/см<sup>2</sup> шероховатость поверхности составляет, соответственно  $Ra = 1,6-1,9$ ; 1,2-1,3 и 1,1-1,2 мкм. Дальнейшее увеличение производительности легирования на исследованных режимах не способствует снижению величины шероховатости поверхности.

Таким образом, чтобы максимально снизить шероховатость поверхности, например, стали 38ХМЮА после ЦЭЭЛ с энергией разряда 6,8 Дж, которая составляет  $Ra = 11,9-14,0$  Дж необходимо:

- на первом этапе произвести ЭЭЛ графитом при  $W_p = 2,83$  Дж (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости ~ в 2 раза с 11,9-14,0 до 5,7-6,9 мкм) с производительностью 0,5 мин/см<sup>2</sup>. Шероховатость поверхности после ЭЭЛ на первом этапе составляет  $Ra = 6,3-6,9$  мкм;

Таблица 3 – Результаты максимального снижения шероховатости поверхности стальных образцов после ЦЭЭЛ

Марка стали	Энергия разряда, $W_p$ , Дж	Шероховатость, $Ra$ , мкм Производительность, мин/см <sup>2</sup>						
		после ЭЦ	Энергия разряда, $W_p$ , Дж					
			0,1	0,31	0,53	0,9	2,83	3,4
38ХМЮА	0,1	0,8-0,9						
	0,31	0,9-1,0	<u>0,8-0,9</u> 2					
	0,53	1,4-1,7	<u>0,8-0,9</u> 2	<u>0,9-1,0</u> 1				
	0,9	1,7-2,1	<u>0,9-1,0</u> 2	<u>1,0-1,1</u> 1	<u>1,4-1,7</u> 1			
	2,83	5,7-6,9	<u>1,1-1,2</u> 14	<u>1,2-1,3</u> 6	<u>1,6-1,9</u> 3	<u>1,7-2,2</u> 2		
	3,4	8,3-8,9	<u>1,3-1,6</u> 18	<u>1,4-1,7</u> 7	<u>2,0-2,3</u> 4	<u>2,3-2,7</u> 3	<u>5,7-6,7</u> 0,5	
	6,8	11,9-14,0	<u>1,6-1,9</u> 25	<u>1,8-2,1</u> 13	<u>2,4-2,6</u> 8	<u>2,6-3,1</u> 5	<u>6,3-6,9</u> 0,5	<u>8,5-9,0</u> 0,5
40ХН2МЮА	2,83	5,7-6,7	<u>1,0-1,1</u> 14	<u>1,2-1,3</u> 6	<u>1,5-1,8</u> 3	<u>1,7-2,1</u> 2		
12Х18Н10Т	2,83	2,9-3,7	<u>0,8-0,9</u> 14	<u>1,0-1,2</u> 6	<u>1,5-1,8</u> 3	<u>1,7-2,0</u> 2		



- на втором этапе произвести ЭЭЛ графитом при  $W_p = 0,9$  Дж (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости  $\sim$  в 3 раза с 6,3-6,9 до 1,7-2,1 мкм) с производительностью 2 мин/см<sup>2</sup>. Шероховатость поверхности после ЭЭЛ на втором этапе составляет  $R_a = 1,7-2,2$  мкм;

- на третьем этапе произвести ЭЭЛ графитом при  $W_p = 0,1$  Дж (т.е. с энергией разряда, обеспечивающей снижение величины шероховатости  $\sim$  в 2 раза с 1,7-2,2 до 0,8-0,9 мкм) с производительностью 2 мин/см<sup>2</sup>. Шероховатость поверхности после ЭЭЛ на третьем этапе составляет  $R_a = 0,8-0,9$  мкм.

Следует отметить, что одноэтапное ЭЭЛ графитовым электродом, с целью снижения шероховатости поверхности этой же стали после ЦЭЭЛ с энергией разряда 6,8 Дж, на любом режиме не позволяет достичь аналогичных результатов. Так например, последующее легирование при  $W_p = 0,1$  Дж с производительностью 25 мин/см<sup>2</sup> позволяет снизить шероховатость поверхности до  $R_a = 1,6-1,9$  мкм.

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты поэтапного снижения шероховатости сталей 40ХН2МЮА и 12Х18Н10Т после ЦЭЭЛ с мощностью разряда  $W_p = 2,83$  Дж.

Аналогичные исследования проводились на плоских образцах из стали 20. Результаты измерения шероховатости поверхности образцов до упрочнения сведены в табл. 4.

Образец № 1 подвергался ЦЭЭЛ, при  $W_p = 2,83$  Дж. Результаты измерения шероховатости поверхности сведены в табл. 5.

Таблица 4 – Исходная шероховатость поверхности образцов из стали 20

Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм						Среднее значение параметра шероховатости, мкм	
$R_a$						$R_a$	$R_z$
0,70	0,39	0,51	0,59	0,67	0,45		
$R_z$						$R_a$	$R_z$
2,00	1,11	1,46	1,58	1,96	1,35	0,55	1,58

Таблица 5 – Шероховатость поверхности образцов из стали 20 после ЦЭЭЛ с энергией разряда  $W_p = 2,83$  Дж

Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм							Среднее значение параметра шероховатости, мкм	
$R_a$							$R_a$	$R_z$
5,10	5,00	4,64	4,43	4,49	5,20	4,70		
$R_z$							$R_a$	$R_z$
14,42	14,14	13,40	12,50	12,70	14,70	13,52	4,79	13,62

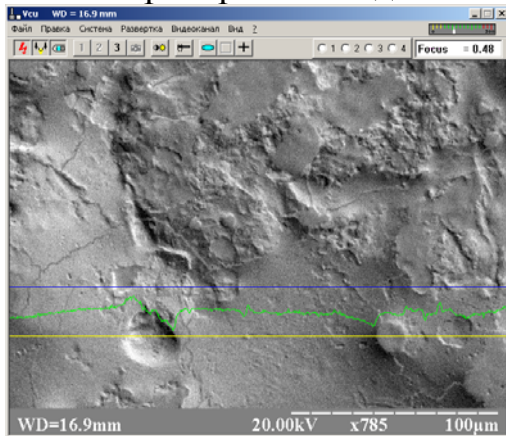
Образец № 2 подвергался ЦЭЭЛ поэтапно при  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж с производительностью, соответственно, 0,5; 2,0 и 2,0 мин/см<sup>2</sup>. Результаты измерения шероховатости поверхности сведены в табл. 6.

Ниже приведены результаты исследований на электронном микроскопе-анализаторе "РЕМ - 106 И", где проводилась оценка качества и топографии поверхностного слоя.

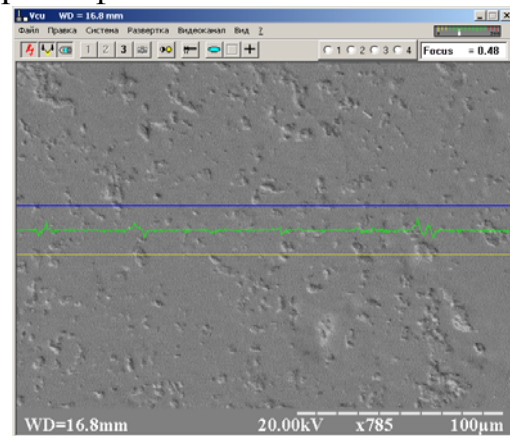
Таблица 6 – Шероховатость поверхности образцов из стали 20 после поэтапной цементации с энергиями разряда  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж

Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм							Среднее значение параметра шероховатости, мкм	
$R_a$							Среднее значение параметра шероховатости, мкм	
1,10	1,14	0,98	1,21	0,90	1,29	1,11		
$R_z$							$R_a$	$R_z$
3,05	3,23	2,77	3,42	2,56	3,76	3,18	1,10	3,14

На рис. 7 изображены участки поверхности образцов № 1 и № 2 при одинаковом увеличении. Поверхности изображены в режиме, который подчеркивает рельеф поверхности (режим «Торо»). Желтая линия соответствует 0, синяя 1 яркости. Зеленая линия показывает распределение контрастности вдоль желтой (базовой) линии. Поскольку изображение получено в режиме, когда контрастность формируется преимущественно микрорельефом поверхности, то можно по высоте зубьев на зеленой линии оценивать микронеровности данного микрорельефа.



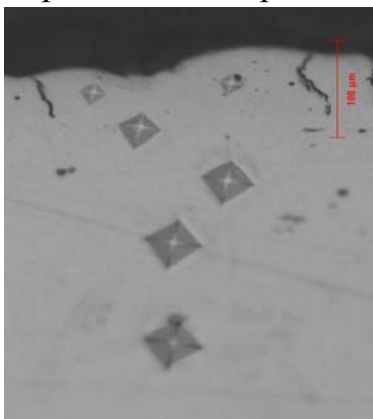
а



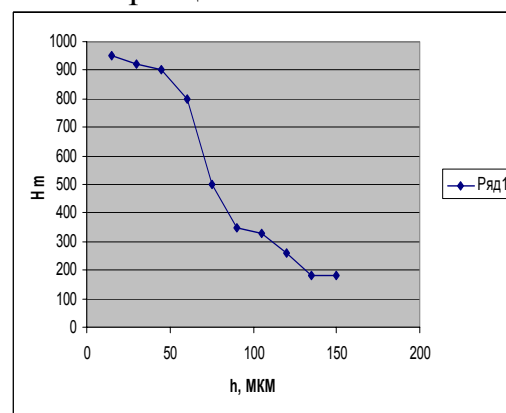
б

Рисунок 7 – Участки поверхности образца № 1 (а) и № 2 (б)

Ниже на рисунках 8 и 9 представлены микрошлифы и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образцов № 1 и № 2



а



б

Рисунок 8 – Микрошлиф (а) и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образца № 1 (б)

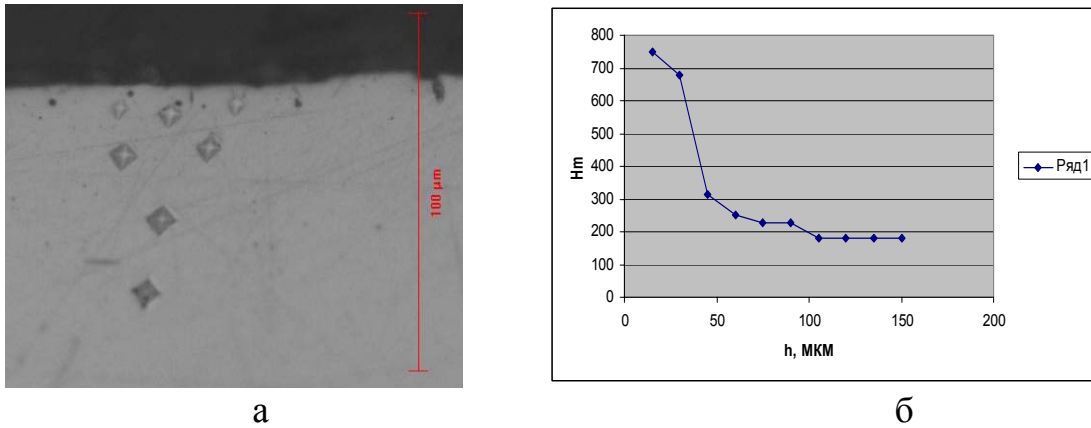


Рисунок 9 – Микрошлиф (а) и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 20 образца № 2 (б)

Анализируя распределение микротвердости в образцах №1 (цементация методом ЭЭЛ при  $W_p = 2,83$  Дж) и № 2 (поэтапная цементация методом ЭЭЛ при  $W_p = 2,83; 0,9$  и  $0,1$  Дж) можно сказать, что в обоих случаях наибольшая микротвердость отмечается в приповерхностных слоях. Для образца № 1 она составляет 920 – 950 HV и глубиной распространения до 60 мкм, а для образца № 2, соответственно - 690 – 720 HV и 30 мкм. По мере углубления, для обоих образцов величина микротвердости плавно снижается, и на глубине 130 и 100 мкм соответствует микротвердости основы – 180HV.

Снижение глубины и микротвердости упрочненного слоя для образца № 2 можно объяснить тем, что при поэтапной ЦЭЛ поэтапно снижается энергия разряда с  $W_p = 2,83$  до  $0,9$  и  $0,1$  Дж, постепенно уменьшается зона термического влияния и в уже упрочненном слое происходит отпуск – нагрев закаленного сплава ниже температуры фазового превращения.

Таким образом, в результате поэтапной цементации:

- снижается шероховатость поверхностного слоя с  $Ra = 4,79$  до  $Ra = 1,10$  мкм и с  $Rz = 13,62$  до  $Rz = 3,14$  мкм;
- снижается микротвердость в «белом слое» (приповерхностном слое повышенной твердости) с 920 – 950 HV до 690 – 720 HV;
- снижается с 130 до 100 мкм общая глубина зоны повышенной твердости поверхностного слоя .

Повышение качества цементированного слоя путем нанесения мягких антифрикционных материалов

ЦЭЭЛ выполнялась на переносной установке ЭЭЛ с ручным вибратором, обеспечивающей энергию разряда в диапазоне  $0,1 \dots 0,53$  Дж «Элитрон - 22А» и установке электроэрозионного легирования большей мощности - «Элитрон - 52А» с энергией разряда до 6,8 Дж.

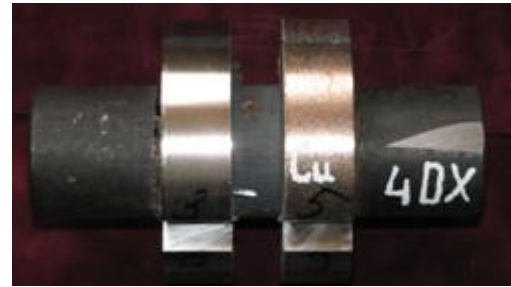
Процесс ЦЭЭЛ проводился в автоматическом режиме с помощью специального приспособления на различных режимах в диапазоне энергий разряда ( $W_p$ ) от  $0,1$  до  $6,8$  Дж.

Для исследований использовали специальные образцы, изготовленные из стали 40Х в виде катушки, состоящей из двух дисков, диаметром 50 мм и

шириной 10 мм, соединенных между собой проставкой диаметром 15 мм и имеющей два технологических участка такого же диаметра (рис. 10). Поверхности дисков перед ЦЭЭЛ шлифовались до  $R_a = 0,5$  мкм. Образцы закреплялись в патроне токарного станка, после чего производилась ЦЭЭЛ, легирование серебром и медью и обработка БУФО. На всех этапах обработки измерялась шероховатость поверхности на приборе профилографе - профилометре мод. 201 завода «Калибр».



а



б

Рисунок 10 – Стальные образцы для исследования результатов ЦЭЭЛ и ЭЭЛ: а – серебром и б – медью

Ниже представлены результаты исследования двух серий образцов из стали 40X: 1- цементация, легирование серебром, обработка БУФО; 2 - цементация, легирование медью обработка БУФО.

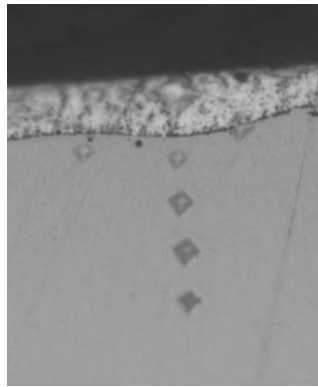
Результаты измерения шероховатости поверхности представлены в табл. 7, а дюрOMETрических исследований на рисунках 11 и 12.

Таблица 7 – Шероховатость поверхности двух серий образцов

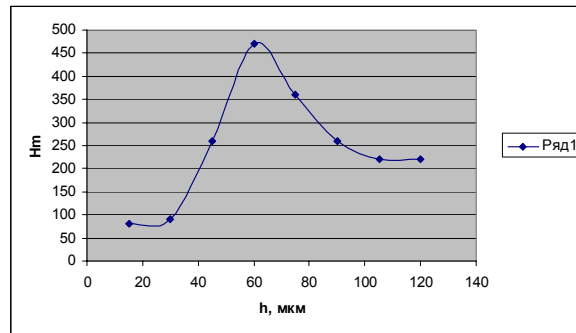
ЭЭЛ серебром									
Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм							Среднее значение параметра шероховатости, мкм		
$R_a$									
0,59	0,86	1,27	0,47	1,33	0,76	0,59			
$R_z$							$R_a$	$R_z$	
1,68	2,44	3,59	1,33	3,76	2,14	1,68	0,88	2,49	
ЭЭЛ медью									
Значение шероховатости поверхности в отдельных точках, мкм							Среднее значение параметра шероховатости, мкм		
$R_a$									
0,55	0,65	0,91	0,62	0,87	0,71	0,51			
$R_z$							$R_a$	$R_z$	
3,05	2,40	2,35	2,64	2,48	3,01	3,25	0,80	3,19	

На рис. 11 изображен микрошлиф, и распределение микротвердости в образце серии 1. Как видно из рисунка на поверхности образца располагается слой с твердостью порядка 80 – 90 НВ, который ниже микротвердости основы (220 НВ) и глубиной до 35 мкм. Далее, по мере углубления микротвердость плавно повышается и на глубине ~ 60 мкм достигает максимального значения 470 НВ, после чего снова плавно понижается до глубины 100 мкм, на которой

соответствует микротвердости основы.



а

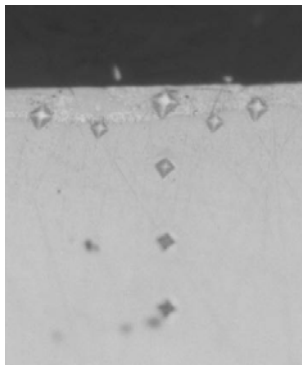


б

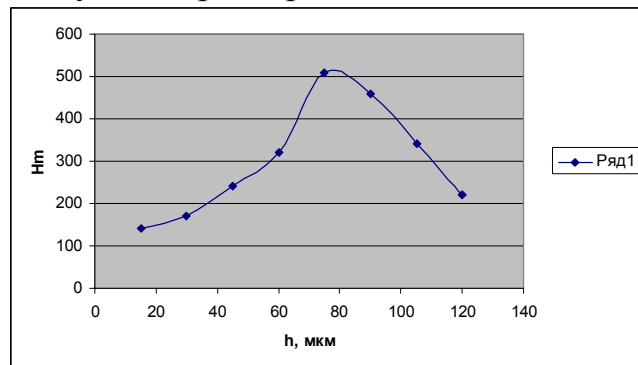
Рисунок 11 - Микрошлиф (а) и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 40Х после ЦЭЭЛ, ЭЭЛ серебром и обработки БУФО (б).

Следует отметить, что при ЭЭЛ серебром диаметр образца увеличился на 0,04 мм, а после обработки БУФО снизился на 0,02 мм.

На рис. 12 изображен микрошлиф, и распределение микротвердости в образце серии 2. Как видно из рисунка на поверхности образца располагается слой с твердостью порядка 140 – 170 HV, который ниже микротвердости основы (220 HV) и глубиной до 40 мкм. Далее, по мере углубления микротвердость плавно повышается и на глубине ~ 75 мкм достигает максимального значения 510 HV, после чего снова плавно понижается до глубины 120 мкм и на которой соответствует микротвердости основы.



а



б

Рисунок 12 – Микрошлиф (а) и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 40Х после ЦЭЭЛ, ЭЭЛ медью и обработки БУФО (б).

При сборке ступицы и вала, мягкий антифрикционный материал, находясь между твердой поверхностью ступицы и твердым, сформированным в результате ЦЭЭЛ подслоем вала, деформируется, заполняя все поры, микронеровности и несовершенства поверхностей сопрягаемых деталей. В результате этого значительно (до 100%) увеличится площадь сопрягаемых поверхностей ступицы и вала, в следствие чего возрастает герметичность

соединения, а также сила трения при сдвигающих и скручивающих нагрузках, что в конечном итоге повышает надежность и долговечность соединения.

### Выводы

1. Эффективным методом защиты от фреттинг-коррозии и повышением усталостной прочности может быть цементация деталей прессовых соединений методом ЭЭЛ с последующей обработкой БУФО, позволяющая формировать поверхностный слой с микротвердостью поверхности 900-1350HV плавно снижающейся до твердости основного металла и глубиной, в зависимости от энергии разряда и производительности процесса от 10 до 380 мкм с шероховатостью поверхности Ra от 0,2 до 3,2 мкм.

2. Шероховатость цементированного методом ЭЭЛ поверхностного слоя можно снизить поэтапной цементацией, однако при этом снижается микротвердость поверхности и глубина упрочненного слоя.

3. Нанесение на поверхность ЦЭЭЛ слоя мягких антифрикционных материалов, с последующим воздействием методом БУФО, позволяет повысить качество прессового соединения за счет снижения сопротивления деформированию поверхностного слоя при запрессовке и таким образом увеличению площади контактирующих поверхностей.

### Список литературы

1. *Лебедь В.Т.* Технология тепловой сборки составных крупногабаритных деталей / В.Т., Лебедь А.А. Кулаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2004.- Вып. 28. – С. 84-94.

2. *Скигоев П.В.* Опорные валки станов холодной прокатки / П.В. Скигоев, А.Д. Петров, А.И. Карманов // Обзоры НИИинформтяжмаш.- М., 1967.- № 1.- С.67.

3. Исследование, усовершенствование конструкции, отработка и внедрение технологии изготовления и восстановления крупных опорных валков. Тема № 143-0655-03, номер гос. Регистрации 0185.0046681 / Рук. Темы М.В. Геденон.- Краматорск, 1988.- 144 с.

4. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника М.: Машиностроение, 1989. – 327с.

5. *Уотерхауз Р.Б.* Фреттинг – коррозия / Уотерхауз Р.Б. Пер. с англ. – Л.: Машиностроение, 1976. – 270 с.

6. *Тарельник В.Б.* Проблеми захисту деталей гнучких муфт турбокомпресорів від фретінг-корозії /В.Б.Тарельник, В.С.Марцинковський, М.П.Братущак // Вісник СНАУ. – Випуск 12, 2004.– с. 89-95.

7. Пат. 66105 Україна, МПК (2006) В23Н 5/00. Спосіб обробки сполучних поверхонь деталей (варіанти) / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б.; заявл. 25.07.2003; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.

8. Пат. № 2410212 Российская Федерация, МПК В23Н 9/00. Способ обработки сопрягаемых поверхностей стальных или чугунных деталей /

Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Олейник И.А.; заявл. 24.02.09; опубл. 27.01.11, Бюл. № 3.

9. Waterhouse R. V., Brook P. A., Lee G. M. C — «Wear», Vol. 5, 1962, р. 235.

10. Балацкий Л.Т. Прочность прессовых соединений / К.: Техніка, 1982. – 152с.

11. Пат. 2337796. Российская Федерация. МПК В 23Н 9/00. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В.; заявл. 05.10.2006; опубл. 10.04. 2008, Бюл. № 31.- 3с.

12. Тарельник В.Б. Повышение качества подшипников скольжения: монография / В.Б.Тарельник, В.С.Марцинковский, Б.Антошевский. – Сумы: Издательство «МакДен», 2006. – 160 с.

## Анотація

### ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРЕСОВИХ З'ЄДНАНЬ

**Тарельник В.Б., Лебідь В.Т., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В.**

*Запропоновано нові методи підвищення зносостійкості сталевих деталей, що піддаються фреттинг-корозії. Подані результати досліджень якісних параметрів поверхневих шарів, цементованих методом електроерозійного легування (ЦЕЕЛ) сталевих деталей, а також деталей, ЦЕЕЛ і покритих м'якими антифрикційними металами, після безабразивної ультразвукової фінішної обробки.*

## Abstract

### INCREASE THE QUALITY OF PRESS-FIT CONNECTIONS

**V. Tarelnyk, V. Lebed, E. Konoplyanchenko, N. Tarelnyk**

*The present paper suggests the new methods for improving wear resistance of steel parts that are exposed to fretting corrosion. The results of the investigations carried out to study qualitative parameters of surface layers of steel parts cemented using electroerosive alloying (EEAC), as well as the result of the investigations of the parts processed with EEAC and further coated with soft antifrictional metals after nonabrasive ultrasonic finishing are represented below.*

## ЗМІСТ

<b>Козаченко О.В., Блезнюк О.В.</b> АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РУХУ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ ТА НАПРЯМКИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ....	3
<b>Ріпецький Є.Й., Ріпецький Р.Й.</b> МЕТОДИ ОПРАЦЮВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЧАСТОТНОЇ СТРУКТУРИ ПРИ ОЦІНЦІ ДОВГОВІЧНОСТІ.....	12
<b>Артьомов М.П.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ І КЕРОВАНOSTI МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТИВ.....	19
<b>Антощенков Р.В., Антощенков В.М., Гуртов А.П., Станіславенко Д.В Товстокорий В.Д.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАКТОРА ХТЗ-200 З ЧИЗЕЛЬНИМ ПЛУГОМ.....	28
<b>Подригало М.А., Артьомов М.П., Шуляк М.Л., Берладін Д.В.</b> СИНХР ОНІЗАЦІЯ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ ТА КОМБАЙНА ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СПІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ РОСЛИННИЦТВА.....	34
<b>Калінін Є.І.</b> ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ ГРОХОТІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ШЛЯХОМ ЇХ ДИНАМІЧНОЇ ТА АМПЛІТУДНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ.....	41
<b>Харченко С.А.</b> К РАЗРАБОТКЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ РЕШЕТУ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ СЕПАРАТОРОВ.....	49
<b>Коломієць С.М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ ОПОРУ ПЕРЕКОЧУВАННЮ ОПОРНИХ КОЛІС ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН .....	55
<b>Лузан С.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ОТ МОЩНОСТИ РАЗРЯДА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ.....	60
<b>Назаренко О.О.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТИВ ОБҐРУНТУВАННЯМ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ.....	66
<b>Рублёв В.И.</b> ПРОБЛЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ.....	71
<b>Саньков С.М., Карташов С.Г., Тихонов А.В.</b> ПОДБОР ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА И УПРАВЛЕНИЕ ВЫДВИЖНЫМИ СЕКЦИЯМИ ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПРИСТВОЛЬНЫХ ЗОНАХ ДЕРЕВЬЕВ И ВИНОГРАДА.....	75
<b>Кашин Д.В.</b> РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОРНОГО МТА У СКЛАДІ ТРАКТОРА ХТЗ-17224 І ПЛУГА ПЛН-5-35....	84
<b>Тарельник В.Б., Антошевский Б., Марцинковский В.С., Карп П., Дзюба А.В.</b> ПРИРАБОТОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ.....	90
<b>Тарельник В.Б., Лебедь В.Т., Коноплянченко Е.В., Тарельник Н.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	105
<b>Сорокін С.П., Блінов О., Курасов Р.Л., Грушецький С.М.</b> ВПЛИВ	



ВИЗНАЧАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК НА ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДИЗЕЛЯ.....	119
<b>Попович П.В., Миць В.І., Бортник І.М.</b> ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ....	127
<b>Попович П.В., Грицай Ю.В., Довбуш Т.А.</b> ПОШУКОВЕ КОНСТРУЮВАННЯ ТРИМКИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТРАКТОРНИХ ПРИЧЕПІВ.....	131
<b>Попович П.В., Миць В.І., Бортник І.М.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ РЕСУРСУ НЕСУЧИХ СИСТЕМ ПРИЧІПНИХ МАШИН..	136
<b>Смолінський С.В.</b> ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КАРТОПЛЕСОРТУВАЛОК.....	139
<b>Борак К.В.</b> ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРІБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН – ҐРУНТ» .....	143
<b>Кунденко Н.П., Ковальчук І.М., Шинкаренко І.М.</b> ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА ТЕПЛИЦ.....	148
<b>Калюжний О.Б., Калюжний Б.Г., Платков В.Я.</b> ПІДГОТОВКА БІОПАЛИВА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ СІЛЬГОСПТЕХНІКИ.....	151
<b>Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Каденко В.С.</b> ДИНАМІКА ЗНОШУВАННЯ КРИВОЛІНІЙНОГО ЛЕЗА ОСНАЩЕНОГО ЛОКАЛЬНИМ ЗМІЦНЕННЯМ.....	159
<b>Нанка А.В.</b> АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ВТОРОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ ЗЕРНА.....	164
<b>Сокол С.П.</b> ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ.....	176
<b>Артьомов М.П.</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МОБІЛЬНИХ МАШИН ПРИ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ	180
<b>Деркач О.Д., Науменко М.М., Макаренко Д.О., Муранов Є.С.</b> ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ШИРОКОЗАХВАТНИХ ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ З ПІДВИЩЕНИМ РЕСУРСОМ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ...	185
<b>Пономаренко Н.О.</b> РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНУ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ.....	192
<b>Довбуш Т.А., Рубінець Н.А., Довбуш А.Д., Хомик Н.І.</b> АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ З ДОВІЛЬНИМ ЗОВНІШНІМ НАВАНТАЖЕННЯМ.....	204
<b>Кузнецова О.Ю.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОСНОЇ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	211
<b>Опалко В.Г.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИЗАЙНУ ЯК СКЛАДОВОЇ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ТИПУ СЗ.....	213
<b>Роговський І.Л.</b> ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МАШИНИ.....	224