

Гарзанов. – Режим доступа к ст.: <http://www.almaz-spb.com/news/21/>, свободный.

7. Зубкова, Т.М. Повышение эффективности работы одношнекового экструдера для производства кормов на основе параметрического синтеза : дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / Т. М. Зубкова. – Оренбург, 2006. – 320 с.

8. Пат. №139850 Российская Федерация, МПК⁷ А23К1/00. Устройство для измельчения и отжима влаги / В.В. Новиков, И.Л. Орсик, А.Л. Мишанин, А.С. Грецов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2013152052/13; заявл. 21.11.13; опубл. 27.04.14, Бюл. № 12.

УДК 621.787:669.018.25

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДВИЖНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИМЕНЕНИЕМ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Федотов Геннадий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика»

Морозов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения»

Каняева Ольга Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 89063948437;

e-mail: gdf.ugsha@mail.ru

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, условия эксплуатации, подвижные герметичные сопряжения, долговечность, равновесная шероховатость, твердость поверхности, отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка, накатка роликами, шлифование.

В работе приведены данные по механизму разрушения и долговечности деталей подвижных герметичных сопряжений сельскохозяйственной техники в условиях абразивного изнашивания. Износы деталей герметичных сопряжений задних ведущих мостов превосходят износ аналогичных деталей в других подвижных герметичных сопряжениях до семи раз, что свидетельствует о преимущественном абразивном износе.

Применение отделочно-упрочняющей электромеханической обработки позволяет повысить долговечность деталей подвижных герметичных сопряжений за счет увеличения твердости и улучшения показателей микрогеометрии.

Введение

Повышение качества выпускаемой продукции является одним из решающих факторов увеличения надежности и долговечности деталей, узлов и агрегатов в процессе их эксплуатации. Все подвижные герметичные сопряжения (ПГС) сельскохозяйственной техники работают в условиях повышенной запыленности и влажности, что резко снижает их долговечность. Запылен-

ность воздуха при выполнении различных видов сельскохозяйственных работ достигает 4...5 г/м³. Неорганические вещества от общего объема составляют от $\frac{2}{3}$ до $\frac{3}{4}$. Частицы пыли с размером до 5 мкм – 5...7 %, выше 5 мкм – 93...95 %. Твердость частиц пыли – 50...2000 НВ. Наибольшая запыленность воздуха наблюдается на высоте 0,8...1,0 м от поверхности поля. В состав пыли входят продукты износа металла, смазки и кварце-

вые частицы. Поэтому повышение долговечности деталей ПГС в сложных условиях эксплуатации путем разработки и применения новых конструкторских и технологических решений является актуальной и важной задачей.

Объекты и методы исследований

Надежность ПГС оценивается долговечностью манжетного уплотнения и износостойкостью поверхностного слоя металлической детали сопряжения. Материал манжеты сильно деформируется при контакте с неровностями металлической детали пары, приводя к значительным сближениям и росту фактической площади контакта даже при грубой обработке [1, 2, 3]. При низкой шероховатости металлической детали сопряжения (R_a до 0,16 мкм) неровности детали не способны удерживать смазку в зоне трения, приводя к перегреву контактируемых тел, повышенному износу сопряжения и разгерметизации узла. Известно [1, 2], что максимальную долговечность манжетное уплотнение имеет при шероховатости металлической поверхности $R_a = 0,16...0,63$ мкм. Известно также [2, 3, 4, 5, 6, 7], что долговечность герметичного сопряжения оценивают не начальной микрогеометрией поверхностного слоя металлической детали, влияющей на процесс приработки, а равновесной шероховатостью (процесс установившегося износа), которая устанавливается после приработки для данных условий трения и не изменяется в дальнейшем, а воспроизводится в процессе трения. Вместе с тем износостойкость металлической детали сопряжения зависит от сопротивления материала детали абразивному изнашиванию, которое в первую очередь зависит от микроструктуры и твердости поверхностного слоя. Таким образом, повышение долговечности подвижных герметичных сопряжений следует связывать и с уменьшением интенсивности изнашивания материала манжетного уплотнения, и с повышением абразивной износостойкости металлической детали сопряжения, т.е. металлическая поверхность должна иметь шероховатость по $R_a = 0,16...0,63$ мкм и высокую твердость (сопоставимую с твердостью абразивных ча-

стиц) на глубину допускаемых износов 0,63 мкм. При этом шейка фланца должна иметь высокую твердость поверхностного слоя на глубину допускаемых износов. Одним из способов безабразивной финишной обработки металлической детали подвижного сопряжения является отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка (ОУЭМО), позволяющая не только достигать шероховатости поверхностного слоя R_a не более 0,63 мкм с большими (по сравнению со шлифованием и накаткой роликами) радиусами вершин микронеровностей, влияющими на работоспособность манжетного уплотнения, но и добиваться высокой твердости поверхностного слоя, повышающей его износостойкость в условиях абразивного изнашивания.

Для оценки влияния финишных операций на долговечность герметичных сопряжений исследован механизм взаимодействия и разрушения трущихся поверхностей – резины и металла, причем металл имел различную твердость и микрогеометрию. Для проведения сравнительных лабораторных и эксплуатационных исследований были выбраны ПГС автомобилей семейства УАЗ. В настоящее время влияние финишных операций обработки фланцев на надежность и долговечность уплотнительных узлов недостаточно изучено. Для двухкромочных манжет II типа, работоспособность которых определяется наличием пыльниковой кромки и консистентной смазки, имеются отдельные результаты исследований некоторых видов финишных операций и упрочняющих технологий, сравнение которых затруднительно вследствие различия в режимах исследований. Для проведения сравнительных исследований выбраны следующие виды отделочных операций подманжетных поверхностей (табл. 1): № 1 – накатка роликами фланцев из стали 40 (1...4), № 2 – ОУЭМО фланцев из стали 40 (5...8), № 3 – шлифование наплавленных Св.08Г2С фланцев (9...12), № 4 – ОУЭМО наплавленных Св.08Г2С фланцев (13...16). Во внутреннюю полость манжет закладывали смазку Литол-24 с добавлением абразива (кварцевая пыль с удельной поверхностью

5800...10500 ± 150 см²/г и массовой концентрацией абразива 2,5 %).

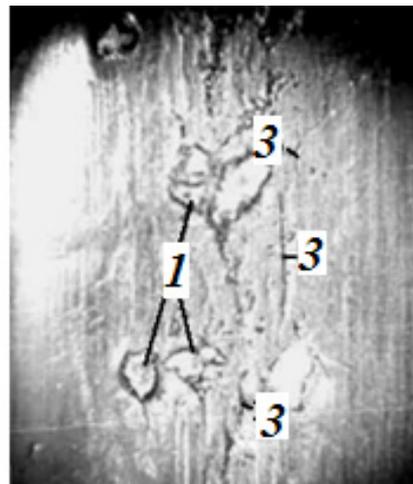
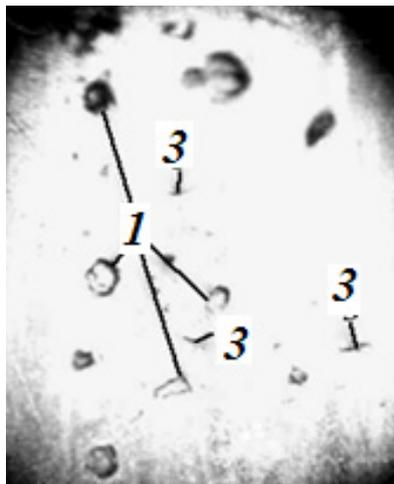
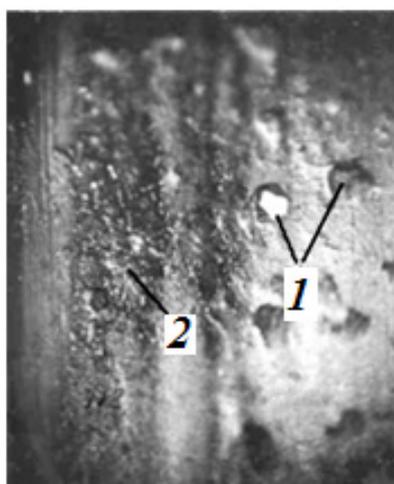
Наружный диаметр вала практически одинаков при всех видах отделочных операций. Различие в биении шейки вала относительно оси объясняется тем, что при ОУЭМО окончательную обработку фланцев проводят с одного установка на одном и том же станке, а при накатке роликами и шлифовании меняют и оснастку, и тип станка. Радиальное усилие прижатия рабочей кромки манжеты к поверхности фланца является важным фактором, влияющим на герметичность узла и долговечность герметичных сопряжений, а различие этих усилий может служить причиной выхода из строя некоторых сопряжений с близкими значениями других параметров, поэтому при сборке необходим 100%-й контроль качества манжет и пружин.

Результаты исследований представлены на рисунках. В процессе приработки сопряжения (рис. 1) наблюдали внедрение абразивных частиц в поверхность рабочей кромки манжеты при всех вариантах обработки фланца без видимых отслоений и разрезов резины. При увеличении времени исследований на рабочей кромке манжет наблюдали кольцевые риски, слабо выраженные при контакте с накатанными поверхностями и ярко выраженные при контакте со шлифованными фланцами (поверхности после ОУЭМО занимают промежуточное положение). Наряду с кольцевыми рисками на рабочих кромках появлялись трещины в перпендикулярном направлении движению, что свидетельствует о повышении температуры в зоне трения и работе сопряжения в условиях пленочного голодания, что характерно для сопряжений с накатанными фланцами (рис. 2). При возрастании времени исследований по перпендикулярным трещинам наблюдается отслоение резины, вызывающее разгерметизацию узла. Рабочие кромки манжет, контактирующие со шлифованными поверхностями, почти не имеют перпендикулярных трещин, и они разрушаются преимущественно в параллельном направлении под действием острых вершин микронеровностей, разрезающих рабочую кромку манжет (рис. 2).

Таблица 1
Характеристика фланцев ведущей шестерни автомобиля УАЗ и манжет при постановке на исследования

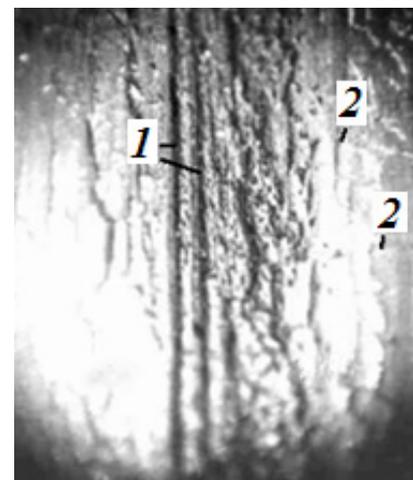
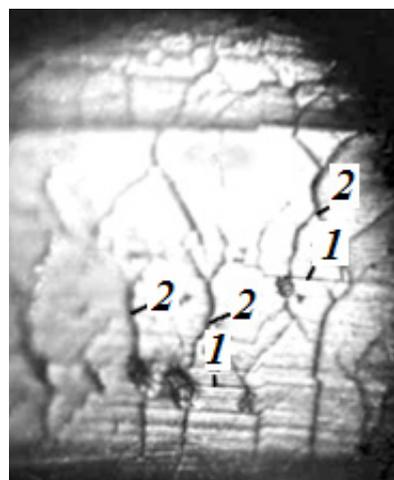
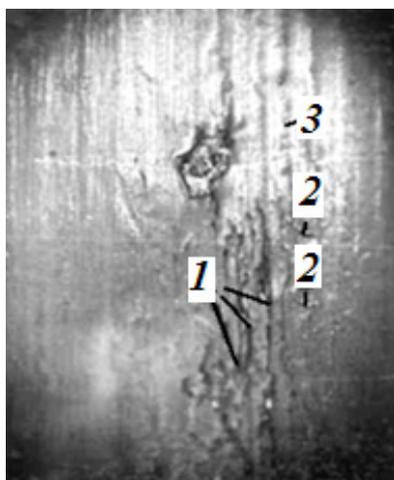
№ п/п	Состояние деталей до исследования				
	Фланца		Манжеты		
	Диаметр, мм	Биение шейки относительно оси, мм	Диаметр под рабочей кромкой, мм	Величина натяга, мм	Радиальное усилие на единицу длины окружности фланца, Н/мм
1	41,95	0,070	39,845	2,105	0,03
2	41,92	0,055	37,625	4,295	0,25
3	41,92	0,090	38,260	3,660	0,19
4	41,94	0,095	39,085	2,855	0,11
5	41,99	0,010	38,975	3,015	0,13
6	41,97	0,040	39,265	2,705	0,10
7	41,98	0,025	39,105	2,875	0,12
8	41,98	0,060	38,735	3,245	0,15
9	41,96	0,070	38,670	3,290	0,16
10	41,94	0,075	39,120	2,820	0,11
11	41,95	0,125	37,950	4,0	0,23
12	41,98	0,150	38,355	3,625	0,19
13	41,98	0,070	38,310	3,670	0,20
14	41,96	0,055	38,500	3,460	0,17
15	41,96	0,040	38,735	3,225	0,15
16	41,97	0,065	38,185	3,785	0,20

Манжеты при контакте с поверхностями после ОУЭМО имели и кольцевые риски и трещины в перпендикулярном направлении. Вместе с этим на рабочей кромке манжет (как и при контакте с накатанными поверхностями) имелись следы наволакивания резины, что отсутствовало при контакте со шлифованными фланцами. Однако интенсивность изнашивания рабочих кромок манжет максимальна именно при контакте со шлифованными поверхностями (рис. 3), что объясняется циклически повторяющимся воздействием острых вершин микронеровностей на резину, разрезающих её и облегчающих процесс удаления контактирующих участков. После приработки интенсивность изнашивания манжет, работающих в паре с поверхностями после накатки роликами и ОУЭМО, несколько возросла, что объясняется уменьшением радиусов вершин микронеровностей из-за наличия абразива



№ 1 № 2 № 3

Рис. 1 – Внешний вид рабочих кромок манжет при контакте с различными поверхностями после 10 часов исследований: 1 – внедрённый абразив; 2 – наволакивание резины; 3 – трещины, надрывы; № 1 – накатка роликами стали 40; № 2 – ОУЭМО стали 40; № 3 – шлифование наплавленного Св.08Г2С слоя



№ 1 № 2 № 3

Рис. 2 – Разрушение поверхности рабочих кромок манжет при контакте с различными поверхностями в конце исследования (варианты отделочных операций см. под рисунком 1): 1 – продольные трещины; 2 – поперечные трещины; 3 – кольцевые риски

в зоне контакта для накатанных поверхностей и неравномерностью пояaska износа на закаленной поверхности фланца после ОУЭМО (рис. 4, 5), увеличивающих «пропахивающее» воздействие на материал манжет, приводящих к разрушению и последующему отделению резины.

Теория трения и износа полимеров позволяет расчетным путем прогнозировать величину износа, если известны физико-механические характеристики резины, значение коэффициента трения и шероховатости металлического контртела [3, 4]. В области

насыщенного контакта интенсивность изнашивания резиновых уплотнений, мм/ч, рекомендуется определять по упрощенной формуле [3, 4]:

$$I = 0,03 \left(\frac{3 \cdot f \cdot P_a}{\sigma_0 \cdot 0,9} \right)^t \quad (1)$$

где f – коэффициент трения; P_a – номинальное давление в контакте, МПа; σ_0 – фрикционная усталость, МПа; t – коэффициент кривой Вёлера ($t = 3 \dots 12$).

Данные расчета интенсивностей из-

нашивания манжет при трении со смазкой Литол-24 при контакте с фланцами, подвергнутыми различным вариантам отделочной обработки, приведены в таблице 2.

Примечания к таблице:

1. Коэффициенты трения для различных сопряжений определяли экспериментальным путем на машине трения СМЦ-2-Э.

2. Значения $\sigma_0 = 22$ МПа и $t = 3$ взяты из [1] для резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков.

3. Номинальное давление находили по ширине контакта под рабочей кромкой манжеты в момент определения коэффициента трения (для исключения влияния P_a на интенсивность изнашивания уплотнения; манжеты и фланцы при разных вариантах финишной обработки фланцев выбирали с одинаковыми геометрическими характеристиками).

4. Температуру в зоне трения определяли по рис. 4.

5. Разница в интенсивности изнашивания резины расчётной и экспериментальной не превышает 10 %, что свидетельствует о применимости для инженерных расчетов упрощенной формулы износа в условиях установившегося изнашивания.

При взаимодействии резины с металлической поверхностью на фланце появляется кольцевая выработка, форма и размеры которой зависят от вида финишной операции, упрочняющей обработки, присутствия абразива. Выше уже отмечено, что разрушение поверхности фланца подвижных герметичных сопряжений носит абразивный характер. Износ незакаленных фланцев начинается сразу по всей ширине рабочей кромки манжеты, а у закаленных фланцев и фланцев с неравномерной поверхностной твердостью разрушение происходит на более узком участке (рис. 5, 6). Глубокое разрушение у закаленных поверхностей, по-видимому, происходит из-за царапания поверхности фланца более твердыми частицами абразива, внедренного в материал манжеты. Спектральный анализ кольцевых канавок износа (до 0,1 мм) указывает на присутствие в этой

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные данные износа резиновых уплотнений

Вид обработки поверхности фланца	Условия трения				Интенсивность изнашивания	
	v , м/с	P_a , МПа	t_k , °C	f	Экспериментальная	Расчётная
Накатка роликами стали 40	2,75	0,1	100	0,274	$2 \cdot 10^{-9}$	$2,08 \cdot 10^{-9}$
ОУЭМО стали 40	2,75	0,1	105	0,285	$2,20 \cdot 10^{-9}$	$2,34 \cdot 10^{-9}$
Шлифование наплавленного Св.08Г2С слоя	2,75	0,1	120	0,321	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$
ОУЭМО наплавленного Св.08Г2С слоя	2,75	0,1	111	0,298	$2,44 \cdot 10^{-9}$	$2,67 \cdot 10^{-9}$

Примечание: v – скорость скольжения, м/с; t_k – температура в зоне контакта, °C

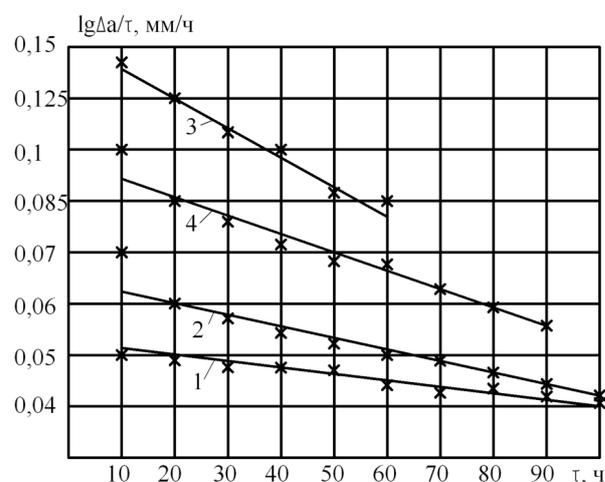


Рис. 3 – Влияние отделочных обработок фланца на износ рабочей кромки манжеты при контакте с поверхностями после: 1 – накатки роликами стали 40; 2 – ОУЭМО стали 40; 3 – шлифования наплавленного Св.08Г2С слоя; 4 – ОУЭМО наплавленного Св.08Г2С слоя

зоне компонентов твердого сплава (соединений титана). По-видимому, разрушение происходит в первую очередь там (рис. 5, 6), где твердость слоя меньше и нет твердых компонентов (результат разруше-

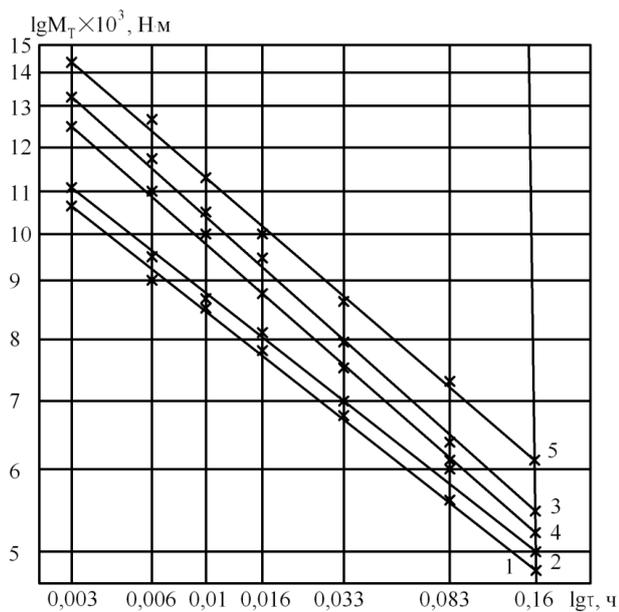


Рис. 4 – Влияние отделочных операций фланца на изменение момента трения герметичных сопряжений: 1, 5 – накатка роликами фланцев из стали 40; 2 – ЭМО фланцев из стали 40; 3 – шлифование наплавленных Св.08Г2С фланцев; 4 – ЭМО наплавленных Св.08Г2С фланцев; 1, 2, 3, 4 – при наличии смазки Литол-24; 5 – смазка ТАп-15В

ния и диффузии материала инструмента при ОУЭМО в поверхностные слои деталей).

На рис. 7 представлена износостойкость поверхностей фланцев с различными вариантами финишных операций в условиях абразивного изнашивания. В пределах приработки интенсивности изнашивания металлических поверхностей мало отличаются и кривая износа имеет степенную зависимость, а после приработки – пропорциональную зависимость с разными углами наклона для всех исследуемых вариантов отделочной обработки подманжетной поверхности.

Следовательно, ресурс любого фланца, ч, до наступления допустимых износов [3]:

$$T = \Delta / I, \quad (2)$$

где Δ – допустимый износ, мм; I – интенсивность изнашивания, мм/ч.

Из графиков (рис. 7) интенсивности изнашивания поверхностей с разными вариантами обработки следует, что: $I_1 = 0,24 \cdot 10^{-3}$ мм/ч; $I_2 = 0,175 \cdot 10^{-3}$ мм/ч; $I_3 = 0,7 \cdot 10^{-3}$ мм/ч; $I_4 = 0,225 \cdot 10^{-3}$ мм/ч. Ресурс металлических поверхностей после различных отделочных операций в контакте с резиновыми манже-

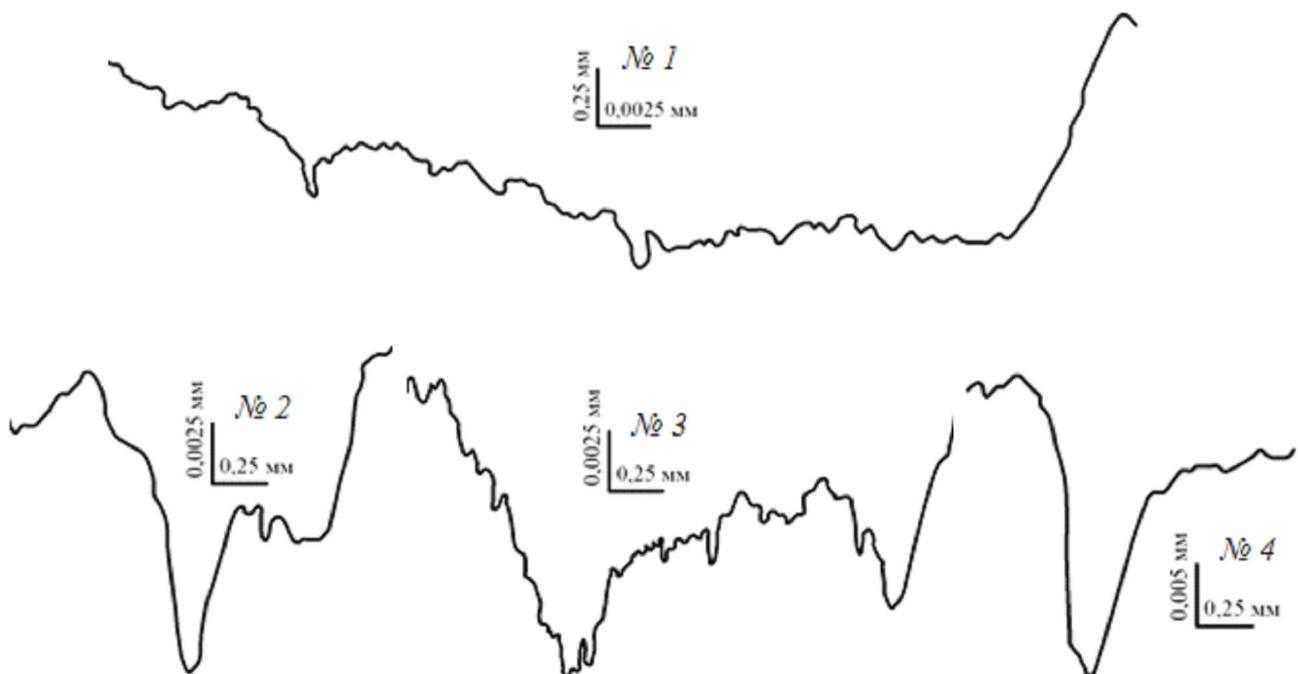


Рис. 5 – Канавка износа поверхности фланцев в герметичных сопряжениях после 10 ч исследований для операций: № 1 – накатки роликами стали 40; № 2 – ОУЭМО стали 40; № 3 – шлифования наплавленных Св.08Г2С фланцев; № 4 – ОУЭМО Св.08Г2С

тами при условиях трения, выбранных по таблице 2, и при допустимых износах фланца ведущей шестерни автомобиля УАЗ 0,5 мм на диаметр будет максимален после ОУЭМО фланцев из стали 40 и составит (в скобках указано уменьшение срока службы при соответствующей отделочной операции): $T_2 = 5714$ ч; $T_1 = 4166$ ч (1,37 раза); $T_3 = 1428$ ч (4 раза); $T_4 = 4444$ ч (1,28 раза). После анализа полученных результатов установлено, что они коррелируют со значениями твёрдости поверхностных слоев испытуемых фланцев: $HV_2 = 7500$ МПа; $HV_1 = 2800$ (2,67 раза); $HV_3 = 2200$ (3,41 раза); $HV_4 = 5200$ (1,44 раза).

Таким образом, из результатов лабораторных исследований износостойкости подвижных герметичных сопряжений следует, что высота микронеровностей и класс шероховатости поверхности фланца не определяют долговечность резиновых манжет в условиях абразивного изнашивания. Износостойкость манжет зависит от радиусов вершин микронеровностей, высоты микронеровностей в перпендикулярном направлении движению и твёрдости поверхностного слоя, причем увеличение твёрдости несколько увеличивает интенсивность изнашивания манжет. Долговечность металлической поверхности в герметичных сопряжениях в условиях абразивного изнашивания определяется её твёрдостью и при достижении твёрдости, сравни-

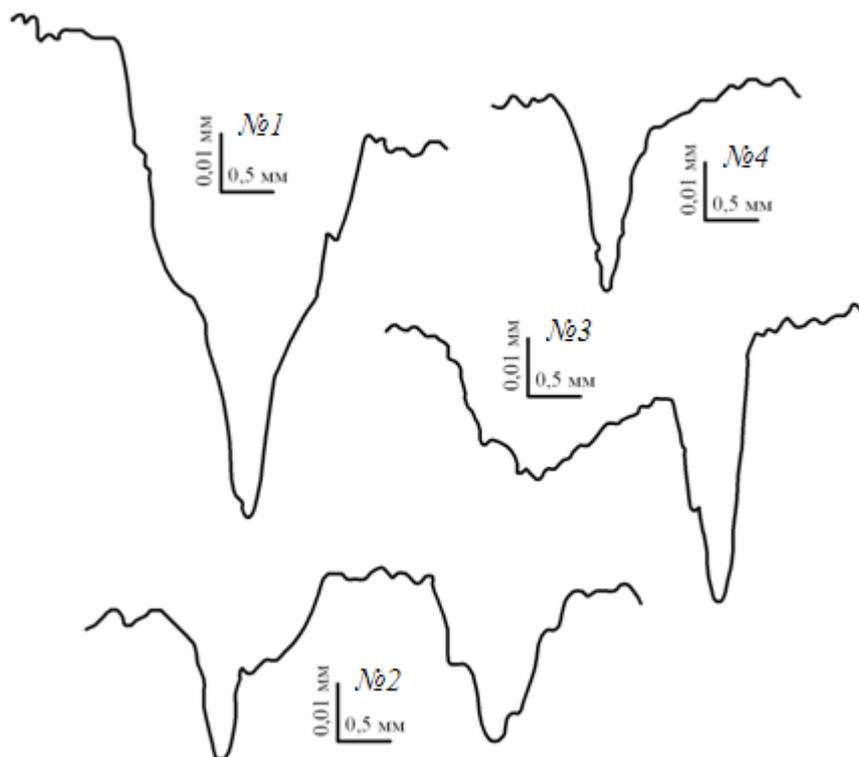


Рис. 6 – Канавки износа поверхности фланцев в герметичных сопряжениях после 40 ч исследований для различных отделочных операций (номера образцов аналогичны рис. 6)

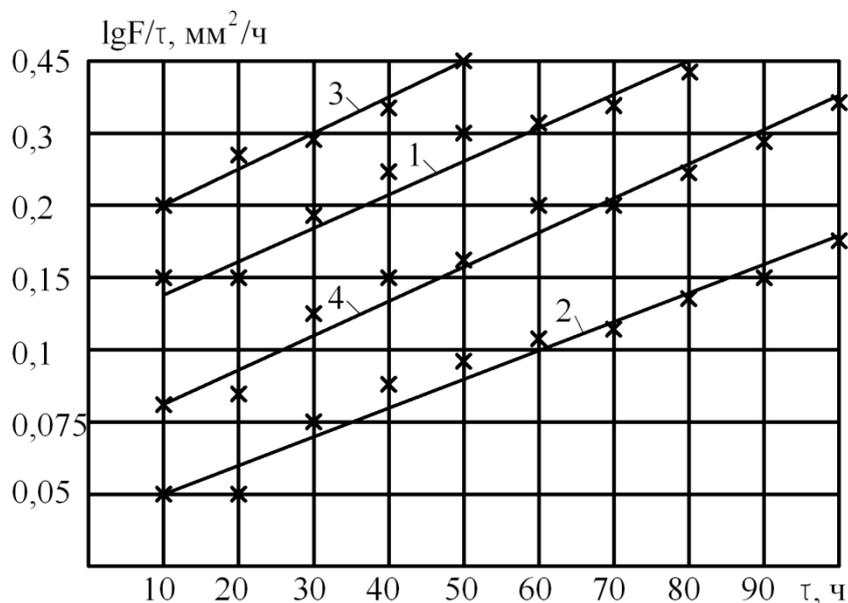


Рис. 7 – Износостойкость поверхности фланцев в подвижных герметичных сопряжениях при наличии абразива в зоне трения для отделочных операций: 1 – накатка роликами стали 40; 2 – ОУЭМО стали 40; 3 – шлифование наплавленных Св.08Г2С фланцев; 4 – ОУЭМО наплавленных Св.08Г2С фланцев

мой с твёрдостью абразива, долговечность будет определяться только физико-химическими процессами, происходящими в зоне трения [8, 9, 10].

Выводы

1. Применение ОУЭМО позволяет получать на поверхностях, контактирующих с резиновыми манжетами, микронеровности с большими радиусами вершин как в продольном, так и в поперечном направлениях значительно большую, чем при шлифовании и накатке роликами (при сравнимых значениях R_a), опорную поверхность профиля, уменьшающую теплонапряжённость и момент трения герметичных сопряжений и увеличивающую их ресурс и надёжность.

2. Увеличения долговечности подвижных герметичных сопряжений в условиях абразивного изнашивания можно достичь повышением износостойкости (твёрдости) металлической поверхности фланца под пыльниковой кромкой манжеты.

3. Интенсивность изнашивания манжет минимальна при контакте с накатанными поверхностями. Интенсивности изнашивания манжет при контакте с другими поверхностями выше: при контакте с фланцем после ОУЭМО стали 40 – на 4...12 %, после шлифования Св.08Г2С – на 59...73 %, после ОУЭМО Св.08Г2С – на 22...28 %.

Библиографический список

1. Крагельский, И.В. Основы расчётов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. - М.: Машиностроение, 1977. – 528 с.

2. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Книга 2. / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. - М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

3. Аскинази, Б.М. Повышение работоспособности герметичных сопряжений электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази, Г.Д. Федотов, Л.А. Старцев / В сб.: Технологическое управление триботехническими характеристиками узлов машин. - Севастополь, 1983. - С. 202-203.

4. Морозов, А.В. Формирование равновесной шероховатости поверхности брон-

зовых подшипников скольжения объемным электромеханическим дорнованием / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов, А.В. Байгулов / Аграрная наука и образование на современном этапе развития: проблемы и пути их решения. - Материалы III Международной научно-практической конференции. – Ульяновск, УГСХА, 2011. - С. 268-271.

5. Федотов, Г.Д. Формирование свойств поверхности при отделочно-упрочняющей электромеханической обработке среднеуглеродистых сталей / Г.Д. Федотов, А.В. Морозов // Известия ТулГУ. - Выпуск 7, 2013. – С. 395-405.

6. Федотов, Г.Д. Оптимизация качества металлических поверхностей герметичных подвижных сопряжений в зависимости от условий эксплуатации / Г.Д. Федотов, Н.П. Каняев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии в аграрном образовании, науке и АПК России». - Ульяновск, УГСХА, 2003. - С. 198-200.

7. Морозов, А.В. Повышение износостойкости тонкостенных втулок при объемном электромеханическом дорновании / А.В. Морозов // Вестник Алтайского государственного университета. 2012. - № 2. - С. 87-90.

8. Федотов, Г.Д. Повышение эффективности отделочно-упрочняющей электромеханической обработки применением инструментальных материалов из безвольфрамовых твердых сплавов / Г.Д. Федотов, А.В. Морозов, В.П. Табаков, А.И. Анисеев // Упрочняющие технологии и покрытия. – № 3. – 2014. - С. 24-30.

9. Федотов, Г.Д. Выбор материала инструмента и его формы для электромеханической обработки (ЭМО) деталей типа «вал» / Г.Д. Федотов // Исследования и разработки в области упрочнения и восстановления деталей машин электромеханической обработкой. - Сборник научных трудов. - Ульяновск, 1999. - С 20-25.

10. Федотов, Г.Д. Электромеханическая обработка подвижных герметизирующих устройств / Г.Д. Федотов, Б.М. Аскинази // Автомобильная промышленность. – № 8. – 1985. – С 27-28.