

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРЕНИЯ НА ВЗАИМНУЮ ДОВОДКУ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ КОМБАЙНОВЫХ И АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Болдарь Л.Н. (ЛНАУ, г. Луганск, Украина)

General scientific and general-theoretical approaches to studying a structure and properties of components tribosystems are formulated. Approaches are applied at researches of influence of an electric current and components of the technological environment on mutual operational development of samples in the pair the friction modelling entry conditions of interaction of most quickly worn out details repaired combines and autotractor engines.

Общенаучная концепция. Как известно, наиболее удачное деление явлений и процессов, происходящих при трении деталей, сделал И.В. Крагельский [1]. Резание и пластическая деформация микро выступов шероховатых поверхностей им были отнесены к механическому взаимодействию, а упругое взаимодействие контактирующих материалов и пленок на них - названо молекулярным.

В начале XXI века в науке о материалах сформировались новые идеи, гипотезы возникли новые термины, например, такие, как квази твердое, квази жидкое и жидкокристаллическое состояние, мезоуровень, квантовая механика двух частиц и др. [2,3,4]. В частности, с помощью квантовой механики двух частиц [4] было объяснено аномальное поведение меди в окружении атомов железа, алюминия, углерода и др. элементов, которое приводит к ее избирательному переносу (ИП) на сопряженную поверхность. Новым также было и то, что ИП легкоплавких металлов был реализован под действием электрического тока. При этом в межэлектродном зазоре (МЭЗ) находился водорастворимый полимер, который был characterized, как квазитвердое вещество [5].

В некоторых случаях, известные понятия, явления и процессы были неправомерно заменены «новыми». Например, процесс «размерной электрофизической или электрохимической обработки» материалов был назван «размерной обработкой током». Разные, по названию или форме, разделы материаловедения - «инженерия поверхности» и «трибология», «синергизм» и «катализ», но обозначающие по сути одно и то же, стали рассматриваться отдельно и называться новыми научными направлениями. Однако, при их рассмотрении в рамках одной науки общество имело бы значительный выигрыш.

Часто, явления самоорганизации и самоуправления, возникающие в трибосистеме, всего лишь, как отклики ее свойств, представляются, как нечто особенное и чрезвычайное. В связи с этим, интенсивно ведутся поиски каких-то особенных веществ-организаторов работы трибосистем и технологических сред, которые, в конечном итоге, оказываются такими же сложными объектами, как и сама трибосистема (электреты, фуллерены, витализанты и т. д., и т. п.). Тогда, разделяя все на фазы, им присваиваются все новые состояния и особенные свойства. Например, жидкие кристаллы и поле или излучения, в последнее время, признаются, соответственно, пятым и шестым агрегатными состояниями вещества [4].

В этой связи, мы считаем, что эффективно управлять трибосистемой, а ее, на сегодняшний день, можно назвать – нано или пико системой, можно с помощью таких факторов, которые действуют, соответственно, на нано и пико уровнях. На основании проведенных исследований мы сделали вывод, что таким фактором может выступать

элементарный носитель заряда, который беспрепятственно проникает во все составляющие трибосистемы (рис. 1а – з [6]) и может эффективно влиять на их строение - электронное, атомное, молекулярное, кластерное и т. д. и т. п.

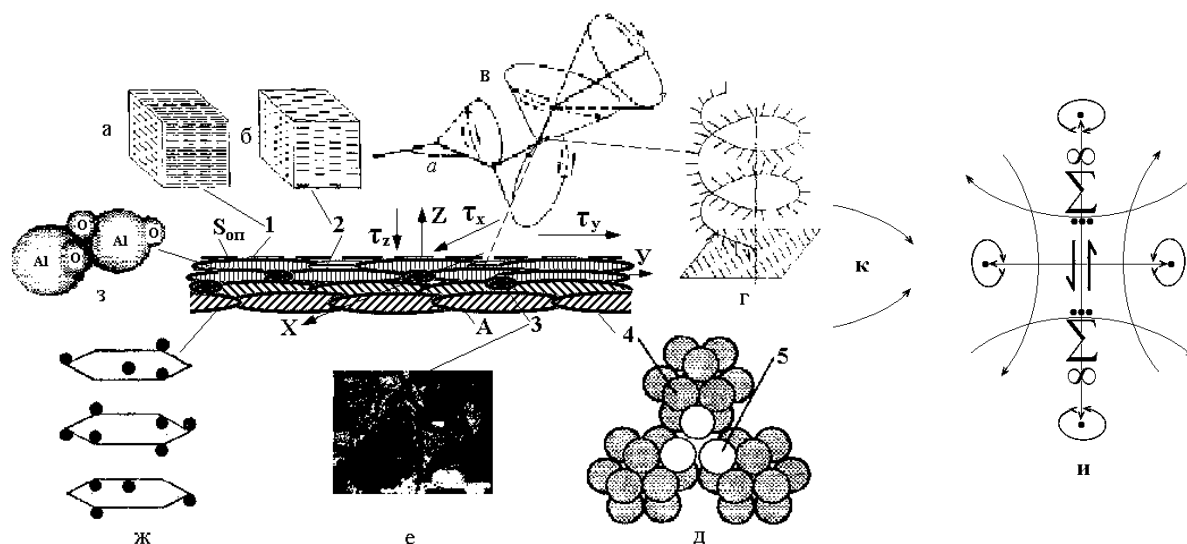


Рис.1. Составляющие трибосистемы (а – з) и символ познания действительности (и): а, б -жидкие кристаллы, соответственно, I и II класса ; в,г – макромолекулы; д – кластер из ГЦК ячеек; е – сингулярный элемент; ж, з – соответственно, кластер и молекула Al_2O_3 ; $S_{\text{оп}}$ – относительная опорная площадь контакта; 1 – граничная пленка; 2 – жидкость; 3 – межфазное новообразование; 4 – атомы (ионы) основного материала; 5 – пустоты; А – текстурированный материал

Следуя этому выводу, и, исходя из принципа взаимозависимости и единства строения и свойств составляющих в любой системе, можно заключить, что при подаче электрического тока на некоторый элемент трибосистемы, в нем будут реализовываться все, известные к настоящему времени, явления и процессы.

Вместе с тем, судить о строении и свойствах некоторого новообразования (см. рис. 1е [7]) не представляется возможным. Это можно будет сделать позже, но к тому времени появится другое новообразование, так как, процесс обнаружения и познания объектов бесконечен. На рис. 1и процесс познания представлен в виде символа: направления исследований строения и свойств объектов макро- и микромира условно показаны в центре символа стрелками - единицами (или пиками); зеркальное и обратно повернутое расположение пик символизирует многомерность или бесконечность направлений познания; каждая точка системы представляет бесконечное количество частиц или составляющих ($\bullet = \infty$); отдельные отклики свойств системы (см. троеточие под знаком суммы) - это лишь малая часть бесконечности; все объекты и субъекты системы объединены в пространстве и во времени особой субстанцией в виде поля бесконечного числа элементарных составляющих (см. в символе выгнутые и разнонаправленные линии). Стрелками **к** на поле рис. 1 показано, что приведенный элемент трибосистемы можно условно представить всего лишь точкой в процессе познания.

При таком подходе, любые объекты - человек или биологическая клетка бессмысленно размещать в центре всего, и также бессмысленно определять исходную точку или начало возникновения мироздания. Предполагается, что такой подход полнее

раскроет возможности ученого, как в плане выбора методов исследований строения и свойств любой системы, так и в плане интерпретации полученных результатов.

Такой вывод был сформулирован в результате многолетнего мониторинга причин и обстоятельств, которые привели к неконкурентоспособности отечественных комбайновых и автотракторных двигателей. При этом многоплановые лабораторные, производственные и эксплуатационные исследования этих весьма сложных трибосистем [8,9], были направлены на повышение качества их ремонта за счет использования переменного электрического тока и электролита [10].

Общетеоретические предпосылки. Ниже рассматриваются примеры использования сформулированного нами подхода, для объяснения некоторых «новых» свойств объектов и результатов наших исследований влияния электрического тока и состава электролита на ход взаимной приспособляемости образцов в парах трения, моделирующих взаимодействие деталей в сопряжениях КШМ и ЦПГ подсобранного двигателя.

Пример 1. Исходя из общности строения и свойств объектов микро и макромира, и сопоставляя данные о чрезвычайных свойствах очень малых (нанодисперстных) составляющих материалов и чрезвычайно больших образований вселенной, можно считать, что их гиперплотность, также как сверхпластичность, сверхпроводимость [11] и гигантская твердость наноматериалов [12], обусловлены чистотой и дисперсностью составляющих. Из этого следует, что все большая (бесконечная) дисперсность вещества приводит к все большему (бесконечному) количеству новых свойств. При этом важно, чтобы вмешательство человека в процессы на нижних и верхних уровнях не вредило природе [13].

Пример 2. Рассматривая границу между объектами, в частности, между двумя трущимися телами, можно обнаружить такую же, как и в примере 1, общность ее свойств и строения с устройством и свойствами (откликами) объектов во всем макро и микромире. Так, уже достаточно давно многими исследователями, приповерхностные слои контактирующих деталей, представляются многослойной конструкцией, состоящей из различного рода пленок – твердых, жидких и газообразных (см., например, источник [14]). В них происходит накопление и рассеивание энергии, наблюдаются процессы концентрационной диффузии, коалесценции составляющих и т. д. и т. п. Наименьшие составляющие пленок представляются, как заряды или диполи, которые объединяются в домены, кластеры и другие конструкции, мгновенно отзывающиеся на действие поля, силы, тепла и т.п.

Из этого следует, что, по сути, трибосистема не может быть полностью управляемой или подконтрольной извне, так как не возможно учесть свойства бесконечного множества ее составляющих, как со стороны контактирующих тел (материалов), так и со стороны тончайшей прослойки, разделяющей их технологической среды. Однако мы считаем, что в связи с полной подконтрольностью трибосистемы по времени ее образования, процессы модифицирования поверхностей и самосборки составляющих в контакте между деталями, приводящие к их структурной приспособляемости (СП) [15], или приработке, можно существенно ускорить с помощью электрического тока в среде электролита. Эти факторы могут с самого начала взаимодействия деталей в составе узлов, перевести их поверхностные слои в поэлементное (нано, пико, и т. д.) состояние.

Так, например, используя данные [16], можно полагать, что в зазоре между шейками стального коленчатого вала и вкладышами подшипников скольжения, со стороны стали, могут быть ионы: Fe, C, Al, Cr, Mg, Si, Mn, S, P и др. а со стороны сплавов АСМ или АО20-1: Al, Sb, Mg, Sn, Fe, Cu, Ti, Si, Mn. В зазорах между

поршневыми кольцами, поршнем и гильзой могут находиться ионы вышеперечисленных элементов, а также V, Mo, S, P, Zr, Be, Pb, Ca и др. Поведение этих составляющих можно спрогнозировать, используя квантово – механические представления об устройстве веществ [4]. Так, сравнительно легкое образование карбидов и нитридов на поверхности стали объясняется наибольшей энергией связи углерода и азота по отношению к железу (соответственно, 3,116 и 1,540 эВ). По отношению к алюминию, как основе сплава АСМ, наибольшую энергию связи имеют азот, никель и медь, однако в избытке они существенно снижают коррозионную стойкость алюминия. В связи с этим, предпочтительными в сплаве являются их химические соединения $AlNi$, $CuAl_2$, $FeAl_3$ и др. [16].

По данным [17], при больших локальных давлениях и температурах, химические реакции между элементами могут существенно ускоряться. Тогда в приповерхностных слоях образцов пар трения могут создаваться такие условия, когда разнородные элементы будут в большей степени склонны взаимодействовать с каким-либо бинарным кластером, нежели с основой. В результате, на поверхности могут формироваться менее прочные, но более пластичные и пористые слои второй и третьей координационных сфер [4]. На рис. 1 а-з их строение представлено в виде ячеек гцк решетки, единичных молекул и кластеров Al_2O_3 , а также в виде моно, поли и жидкокристаллических веществ. Так, во вторую координационную сферу основного кластера гамма - железа (см. рис. 1д), в первую очередь, могут внедряться атомы углерода, никеля и кремния, а в последнюю очередь - ионы хрома (табл. 1).

Таблица 1. Энергия бинарного взаимодействия нейтральных атомов в нормальных условиях, эВ

Энергия связи с железом	C - Fe	Ni - Fe	Si - Fe	Cu - Fe	Fe - Fe	Cr - Fe
	0,743	0,412	0,405	0,364	0,337	0,336
Энергия связи с хромом	C - Cr	Cr - Cr	Ni - Cr	Fe - Cr	Cu - Cr	Si - Cr
	1,363	0,459	0,377	0,336	0,289	0,101
Энергия связи с углеродом	C - C	Cr - C	Fe - C	Si - C	Cu - C	Ni - C
	1,517	1,363	0,841	0,795	0,598	0,581

Примечание: таблица составлена автором по данным [4].

Не задействованные в формировании третьей координационной сферы ионы Fe, C, Cr, Ni и Cu, и имеющие слабую связь с основой, будут располагаться в межкластерных объемах или в порах 5 (см. рис.1д), обеспечивать их срастание и приводить к повышению упругости и пластичности слоев, соответственно, в направлениях OZ и OX, OY.

Наряду с этим, наличие атомов кремния в приповерхностных слоях МЭЗ, имеющих сравнительно большую энергию связи с железом и углеродом, может приводить к образованию оксидных и окисных пленок, которые, как известно, защищают железо от окисления. По данным [4], силициды железа также могут дополнительно обеспечивать связь железа с углеродом и никелем. Тогда, наиболее вероятным строением кластера второй координационной сферы, может быть прочное и износостойкое соединение Fe-C-Si-Ni.

О действии вышеупомянутых факторов - электрического тока и электролита, на ионы и кластерные образования идет речь в специальных разделах электрохимии, химмотологии, триботехники (см., например, источники [18,19]). Однако, системный подход к проблеме управления СП материалов пока только формируется [5,20]. Ниже

приводятся исследования влияния переменного (50Гц) электрического тока и состава водного раствора неорганических солей на формирование пятна контакта между образцами пар трения, которые были изготовлены из материалов деталей комбайновых и автотракторных двигателей внутреннего сгорания.

Методика исследований.

При моделировании условий начального взаимодействия деталей двигателя использовалась пара трения с самоустанавливающейся колодочкой (рис.2).

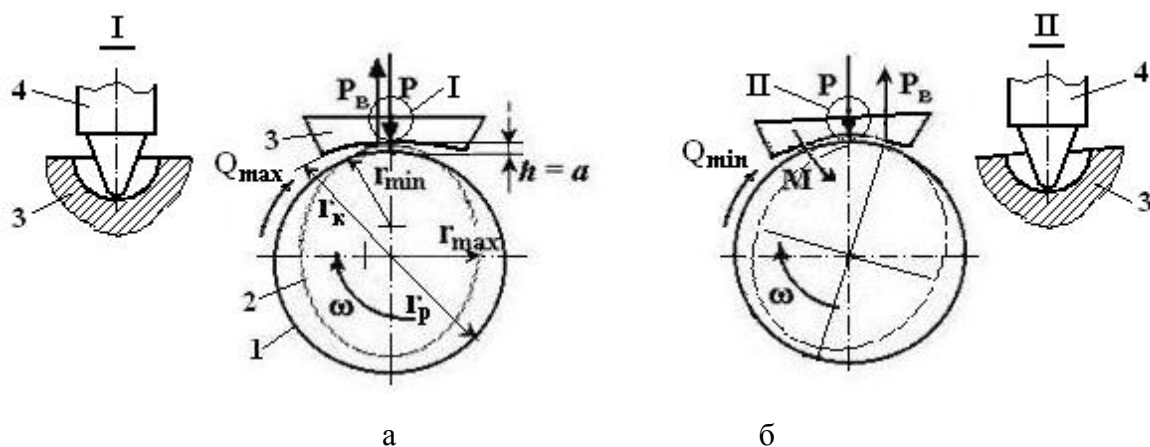


Рис. 2. Пара трения ролик-колодочка: 1, 2 – ролик, соответственно, номинальная форма и искаженная форма; 3 – колодочка; 4 – упор; P – осевая сила; P_v – вертикальная реакция; r_k , r_p – номинальные радиусы, соответственно, колодочки (к) и ролика (р); r_{min} , r_{max} – соответственно, минимальный и максимальный радиусы ролика; $h = a$ – вероятный межэлектродный зазор

Первоначально, при входе ролика 1 (см. рис.2а) в контакт с колодочкой 3, колодочка приподнималась на некоторую высоту $h = a$, соизмеримую с минимальным радиусом r_{min} овализованного ролика 2 и величиной биения (0,02 – 0,09 мм) ролика на валу установки. Из-за этого колодочка поворачивалась относительно точки приложения силы по часовой стрелке. В результате, в контакт затягивалось некоторое количество электролита (см. Q_{max} на рис.. 2а).

При выходе ролика из контакта, колодочка поворачивалась против часовой стрелки (см. момент M , на рис. 2б). Из-за этого поступление электролита в контакт уменьшалось (см.. Q_{min} на рис. 2б). В результате, в паре возникали более жесткие условия трения. Далее, в контакт вступал участок поверхности ролика с большим радиусом (см. r_{max} на рис. 2б). При этом, упор 4 кратковременно (из – за инерционности системы нагружения), не передавал нагрузку на колодочку - и она, на некоторое время, как бы «зависала», над роликом.

Таким образом, колодочка подстраивалась к искажениям формы ролика, а также к изменениям во взаиморасположении с ним, которые возникали в системе из-за биения ролика на валу установки. Задача состояла в том, чтобы, начиная с момента входа образцов в контакт, до момента выхода их из контакта, съём материалов шел за счет электрофизического изнашивания (ЭФИ), электроэрозионного разрушения (ЭЭР) или взаимного электрохимического внедрения (ВЭХВ) выступов в пределах их исходной высоты. С момента выхода пары на некоторый зазор (при «зависании» колодочки), всякий съём должен прекращаться.

В качестве электролита, который подавался в зазор между образцами, использовался раствор неорганических солей NaNO_3 и NaCl в воде [21]. Его нейтральная кислотность поддерживалась буферной смесью (БС), состоящей из 0,2М раствора двухзамещенного ортофосфата натрия и 0,1М раствора лимонной кислоты в воде, в объемном соотношении 1: 1,7 [22].

Влияние состава электролита на доводку образцов исследовалось в процессе полного факторного эксперимента 2^3 [23].

Откликами процесса доводки принимались: износ образцов по массе, который определялся с точностью $\pm 0,1$ мг и шероховатость пятна контакта R_a , которая определялась с помощью профилометра модели С175, а также профилометра – профилографа модели С201.

В эксперименте неизменными поддерживались: скорость скольжения $V = 2,5$ м/с; сила переменного (50 Гц) тока $I = 0,4$ А; осевая сила $P = 39,2$ Н; время опыта $\tau = 300$ с; объемная температура электролита $T_0 = 295 - 297$ К. Повторность опытов в каждой точке плана принималась равной пяти.

Ролики изготавливались из нормализованной стали 45, а колодочка - из биметалла АСМ и серого чугуна СЧ20. В каждом опыте использовалась свежая колодочка из сплава АСМ, а стальные ролики и колодочки из чугуна перед каждым опытом механически зачищались.

Начальный коэффициент взаимного перекрытия $K_{вз}$ в паре трения определялся по формуле [24]:

$$K_{вз} = \frac{\ell_k}{\pi D_p}, \quad (1)$$

где ℓ_k – длина пятна контакта на колодочке;

D_p – номинальный диаметр ролика, равный $32 \pm 0,02$ мм.

Чтобы получить характерное для начального контакта деталей значение $K_{вз} \leq 0,1$, диаметр сопрягаемой поверхности колодочки изготавливался равным $35 \pm 0,02$ мм. Коэффициент λ , характеризующий режим трения [25] определялся по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \omega}{p}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости электролита;

ω – частота вращения ролика;

p – удельное давление.

При определении коэффициента λ по номинальным значениям факторов, а также при изменении $K_{вз}$ во времени с 0,01 до 0,04 (эти данные были определены предварительно), режим трения в паре соответствовал граничной смазке - $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-8} - 6,2 \cdot 10^{-8}$. Далее определялась значимость осевой силы P , скорости скольжения V и силы тока I . Влияние скорости скольжения на доводку образцов изучалось при подаче на пару трения электрического тока и без него.

Повторность опытов в каждой точке принималась равной трем.

Результаты исследований. Обработка результатов эксперимента показала, что в теоретических зависимостях 3 - 6, износ образцов на 95% зависел от состава электролита (множественный коэффициент корреляции R был равным 0,95):

$$i_{cm} = 2,70 - 0,21x_2 + 0,21x_3 - 0,24x_1x_2x_3, \quad (3)$$

$$i_{ACM} = 1,46 - 0,19x_1 - 0,36x_1x_2, \quad (4)$$

$$i_{cm} = 2,21 - 0,44x_1 - 0,17x_3 + 0,20x_1x_2x_3, \quad (5)$$

$$i_{CЧ} = 0,73 - 0,16x_1 - 0,14x_3 + 0,14x_2x_3 - 0,14x_1x_2x_3, \quad (6)$$

где i_{cm} , i_{ACM} , $i_{CЧ}$ – износ образцов, соответственно, из стали, сплава АСМ и чугуна СЧ20, $\cdot 10^{-6}$ кг.

Влияние состава электролита на изменение шероховатости поверхности пятна контакта при доводке образцов приведено в табл. 2.

Таблица 2. Состав электролита и показатель шероховатости пятна контакта Ra, мкм

Точка плана	Концентрация солей, %			Состоя- ние пары	Пара трения			
	NaNO ₃	NaCl (x ₂)	Na ₂ HPO ₄		Сталь-сплав АСМ		Сталь- чугун	
	(x ₁)		(x ₃)		ролик	колодочка	ролик	колодочка
5	5	0,2	0,60	исходн	0,124	0,250	0,143	0,604
				конечн	+0,099	-0,574	+0,134	-0,720
7	5	1,0	0,60	исходн	0,117	0,250	0,206	0,955
				конечн	+0,116	-0,522	-0,241	+0,926
1	5	0,2	0,10	исходн	0,112	0,250	0,258	0,770
				конечн	-0,139	-0,654	+0,222	-0,984
3	5	1,0	0,10	исходн	0,108	0,250	0,360	0,520
				конечн	+0,096	-0,462	+0,323	+0,437
0	10	0,6	0,35	исходн	0,178	0,234	0,156	0,700
				конечн	+0,112	-0,572	-0,167	+0,395
6	15	0,2	0,60	исходн	0,118	0,250	0,197	0,520
				конечн	+0,096	-0,276	+0,130	+0,495
2	15	0,2	0,10	исходн	0,123	0,244	0,245	0,415
				конечн	+0,106	-0,474	-0,299	-0,696
8	15	1,0	0,60	исходн	0,131	0,260	0,190	0,660
				конечн	+0,106	-0,340	+0,142	+0,610
4	15	1,0	0,10	исходн	0,104	0,288	0,233	0,370
				конечн	+0,095	-0,435	+0,180	+0,335

Примечание: Знаки «+» и «-» обозначают, соответственно, улучшение и ухудшение шероховатости

Приведенная в табл.2 шероховатость, измерялась на ролике в месте непосредственного контакта с колодочкой. На участке ролика, над которым колодочка «зависала», располагались светло – коричневые продукты растворения материалов.

Анализируя зависимости 3 и 4 видно, что соли NaCl и NaNO₃ сдерживали износ образцов, а буферная смесь увеличивала его. При этом шероховатость пятна контакта

на ролике улучшалась во всех точках плана, кроме точки 1, а на колодочке, ухудшалась в 1,5 – 2,0 раза, во всех опытах (см. табл.2). Как видно из данных, в точке 1 концентрация всех солей была на нижнем уровне.

Износ образцов в паре трения сталь – чугун сдерживался солью NaNO_3 и буферной смесью (см. зависимости 5, 6). Однако, при минимальной концентрации буферной смеси большее влияние на шероховатость пятна контакта образцов имела соль NaCl – когда ее было мало, шероховатость на ролике и на колодочке ухудшалась, а когда много – шероховатость улучшалась (см. точки 2 и 4, табл. 2).

Конкурирующее действие этих солей проявилось в опытах при минимальной концентрации соли NaNO_3 (см. точки 5, 7, 1, 3). Так, шероховатость пятна контакта на стальном ролике улучшалась во всех точках плана, кроме 7-й. В опытах этой точки электролит содержал максимальное количество соли NaCl и буферной смеси. Вероятно, в этом случае, на ролике вообще не образовывалась окисная пленка, которая могла бы сдерживать износ выступов шероховатых поверхностей.

Очевидно, буферная смесь в паре из разнородных материалов (сталь – сплав АСМ), сдерживала защитные (окислительные) процессы – от чего износ стального ролика увеличивался - процесс доводки усиливался, а в паре из однородных материалов (сталь – чугун), она усиливала окислительные процессы – в результате износ образцов уменьшался, т. е. процесс доводки сдерживался.

Действие буферной смеси также можно объяснить влиянием на процесс трения сложных соединений фосфора. Например, при электроэрозионном съеме, который наблюдался в начале доводки образцов, в МЭЗ могли образовываться такие пространственно сложные вещества, как пентахлорид фосфора (рис.3а) и фосфоронитрилхлорид [26].

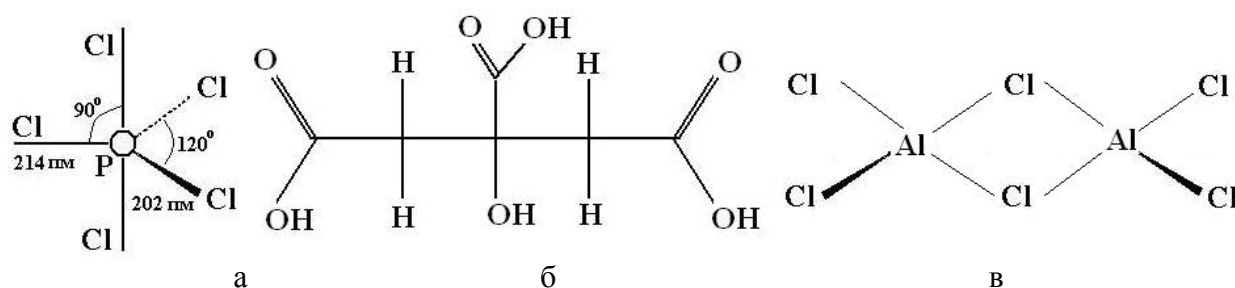


Рис. 3. Строение молекул: пентахлорида фосфора (а), лимонной кислоты (б) и димера AlCl_3 [27] (в)

Известно, что фосфоронитрилхлорид является водорастворимым полимером, поэтому он мог действовать, как ингибитор трения.

В формировании прочных поверхностных пленок также могла участвовать лимонная кислота, которая, как и пентахлорид фосфора имеет сложное пространственное строение (см. рис. 3б).

При доводке образцов в режиме окислительного изнашивания (без электроэрозии), весь объем электролита приобретал желтоватый оттенок. Известно, что такой оттенок растворам придают хлориды Al , Fe , Sb , например $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, SbCl_2 (II) или гидроокислы сурьмы $\text{Sb}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (III). При отстаивании электролита, эти амфотерные полигидраты, выделялись в виде белых хлопьев. Хлорид алюминия известен, как полимер (см. рис. 3в), поэтому он мог механически сдерживать процессы ЭФИ.

Некоторая часть продуктов съема коагулировала непосредственно в МЭЗ и располагалась рядом с пятном контакта в виде темных мелкодисперсных частичек (см. профилограмму 2 и вид а на рис.4) или образовывала на колодочке и на ролике, так называемые, полосы скольжения А.

В связи с тем, что для подшипников двигателей широко используется трудно-растворимый сплав АО20-1, а поверхность сплава АСМ защищается покрытием из свинца и олова, для усиления электрохимической составляющей процесса доводки пар трения из этих материалов, концентрация соли NaCl в электролите основного уровня была увеличена до 2 %. Как, при этом, изменилось состояние поверхности пятна контакта на колодочке, в паре стали со сплавом АСМ, покрытым оловом и свинцом, можно судить по профилограмме 3, рис. 4. При глубоком внедрении ролика, поверхность сплава характеризовалась зеркальной чистотой. Эти результаты послужили основанием тому, что водный раствор соли NaCl был применен, как для доводки подшипников скольжения коленчатого вала, так и сопряжений ЦПГ (в том случае, когда хром на поршневых кольцах был защищен слоем олова и свинца [28]).

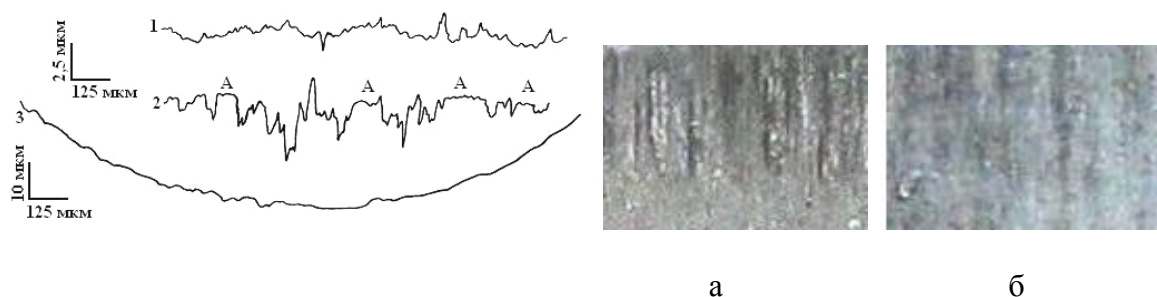


Рис. 4. Пятно контакта на колодочке из сплава АСМ: 1 – исходное состояние; 2,3 – микропрофили поверхности, полученные, соответственно, при использовании электролита основного уровня (см. вид а) и при добавлении к нему 2 % NaCl (см. вид б)

Изучение хода доводки пары сталь - чугун в электролите основного уровня (10 % NaNO_3 , 0,6 % NaCl и 0,35 % буферной смеси), с различной нагрузкой, показало, что вначале доводки шероховатость пятна контакта на образцах улучшалась только при малых нагрузках(табл. 3).

Таблица 3. Шероховатость поверхности R_a , мкм

Образец	Состояние	$\tau = 180 \text{ с}$					$\tau = 600 \text{ с}$				
		$P_0, H (\lambda, \cdot 10^{-8})$					$P_0, H (\lambda, \cdot 10^{-8})$				
		19,6 (15,90)	39,2 (6,20)	78,4 (4,34)	117,6 (2,90)	156,8 (2,69)	19,6 (23,00)	39,2 (11,90)	78,4 (6,10)	117,6 (5,00)	156,8 (3,80)
ролик	исходное	0,55	0,29	0,23	0,25	0,39	0,46	0,35	0,22	0,30	0,37
	конечное	-0,66	+0,28	-0,40	-0,42	-0,44	+0,43	+0,19	-0,27	-0,44	-0,73
колодочка	исходное	0,78	1,25	0,60	0,60	0,99	1,37	0,96	0,61	0,72	1,06
	конечное	+0,21	+0,68	-0,92	-0,85	+0,76	+0,99	+0,39	+0,47	+0,56	+0,66

Примечание: Знаки «+» и «-» обозначают, соответственно, улучшение и ухудшение шероховатости.

К концу испытаний шероховатость пятна контакта на ролике все также улучшалась только при малых нагрузках, на колодочке - на всем диапазоне нагружения.

При этом, наиболее интенсивно образцы приспосабливались друг к другу в первые 300 с (рис. 5а).

Как видно из рис. 5б, минимальный износ образцов (см. кривые 2,3) наблюдался при силе тока 0,75 - 1,00 А. Увеличение силы тока с 0,20 до 2,00 А (на порядок) приводило к росту площади пятна контакта на колодочке, всего лишь с 0,23 до 0,32 см² (см. кривую 1).

При малой силе тока площадь контакта характеризовалась большим числом полосок скольжения А (см. рис. 4), а при силе тока более 1,25 А наблюдалось интенсивное травление ролика на участках с r_{\max} (см. рис.2). В связи с этим в последующих опытах сила тока принималась равной 1,00 А.

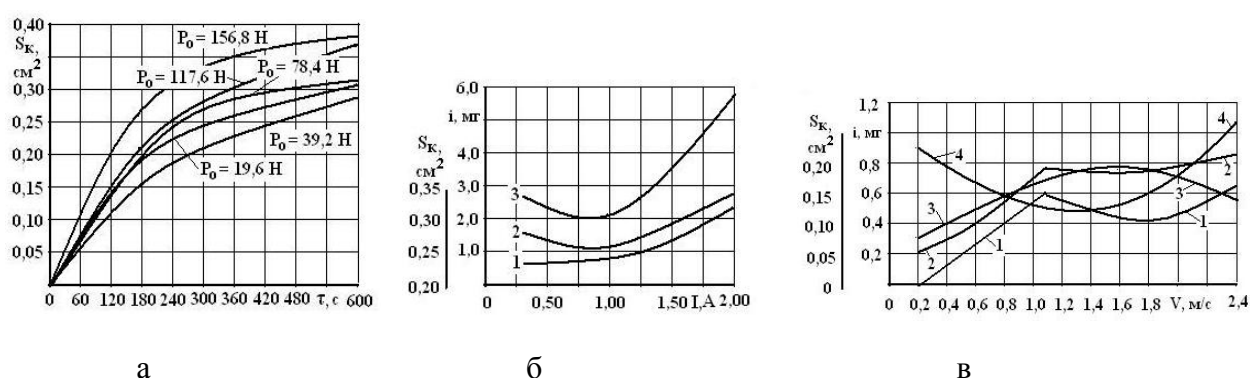


Рис. 5. Влияние осевой силы P_0 (а) на развитие пятна контакта на колодочке; силы тока(б) на рост площади пятна контакта на колодочке (1), износ колодочки (2) и ролика (3); скорости скольжения (в) на рост площади пятна контакта (1, 2) и на износ колодочки (3, 4), соответственно, без внешнего тока и с током 1,00 А

Испытания пары при различных скоростях скольжения показали, что характер развития площади пятна контакта на колодочке под действием переменного электрического тока силой 1,00 А и без него, одинаков: при скорости скольжения менее 1,1 м/с площадь контакта растет; при скорости от 1,1 до 1,8 м/с – уменьшается и далее до 2,4 м/с – увеличивается (см. кривые 1 и 2 на рис 5в). Однако, характер износа колодочки под током и без тока, существенно различался (см. кривые 3, 4). Износ колодочки под током был минимальным при скорости скольжения 1,3 м/с (см. кривую 4), а без тока – при скорости 0,2 м/с. Очевидно, минимальный износ колодочки без тока, при малой скорости скольжения (см. кривую 3), был обусловлен большей стойкостью окисных пленок, образующихся на железо – углеродистых сплавах. Уменьшение износа колодочки без тока, при скорости скольжения более 1,6 м/с, можно объяснить улучшением условий трения (табл. 4).

Таблица 4. Режим трения при доводке пары сталь-чугун, $\lambda \cdot 10^{-8}$

Условия	Скорость скольжения, м/с							
	0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,4
Сила тока, 1 А	0,17	0,60	1,80	3,79	4,34	4,97	6,54	7,85
Без тока	0,16	0,43	1,27	2,82	2,36	3,96	3,79	6,26

Максимальный износ колодочки под током наблюдался при малой и большой скорости скольжения и очевидно был обусловлен усилением, соответственно, электрофизического изнашивания и электрохимического растворения материалов.

Можно предположить, что точки излома кривых 1 и 2 при скорости 1,1 м/с (см. рис.5в) означали переход пар трения с граничного режима, при $\lambda < (1,80-1,27) \cdot 10^{-8}$, к гидродинамическому, при $\lambda > 2,36 \cdot 10^{-8}$ (см. табл.4).

Экстремальные значения износа на кривых 3 и 4 соответствовали режиму $(3,96-4,34) \cdot 10^{-8}$. При этом, по абсолютному значению износ колодочки под током и без него мало различался (0,8 и 0,5 мг, соответственно), однако площадь пятна контакта под током была в два раза большей, чем без подачи внешнего тока (0,20 и 0,10 см²).

Выводы. Таким образом, при решении задач по обеспечению процессов взаимной приспособляемости образцов из железо - углеродистых сплавов за счет электрического тока и составляющих водного раствора солей, необходимо: 1) в начале доводки или макроприработки, поддерживать переходной режим трения λ в пределах $(1,80 - 2,36) \cdot 10^{-8}$; 2) в последующем, при исходной шероховатости трущихся поверхностей образцов в пределах $R_a = 0,22 - 1,37$ мкм, поддерживать условия упругого взаимодействия, например, при $\lambda < 1,80 \cdot 10^{-8}$.

При решении задач по обеспечению процессов взаимной приспособляемости образцов из алюминиевых сплавов и стали, необходимо повысить несущую способность и локальность травления водного электролита.

Список литературы: 1. Крагельский И.В.. Трение и износ.– М.: Машиностроение, 1968. – 480с. 2. Неорганическое материаловедение. Энциклопедическое издание в 2 т. Т.1 Основы науки о материалах / Под ред. В.В. Скорохода, Г.Г. Гнесина, В. М. Ажажа и др. – Киев: Наукова думка, 2008. – 1152 с. 3. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований/Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатора // Пер. с англ. М.: Мир, 2002. – 292 с. 4. Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 399с. 5. Свирид М.М., Кравець І.А., Занько С.М. і ін. Енергетична концепція стабільного стану трибосистеми // Проблеми трибології, №4, 2008. – С. 6 –12. 6. Болдар Л.Н. Механізм електрофізико-хімічного доведення і структурної адаптації матеріалів Д.В.З. / Сб. докл. Харьковской нанотехнологической ассамблеи. Том.1. Нанотехнологии. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2008. – С.173 – 177. 7. Бутенко В.И. Физико – технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. –264с. 8. Болдарь Л.Н. Моделирование процесса макроприработки деталей ЦПГ и КШМ отремонтированных автотракторных двигателей / Зб. наук. праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2003. – № 31(43). – С. 49 – 56. 9. Болдар Л.Н. Забезпечення якості відремонтованих двигунів внутрішнього згорання: системний підхід // Зб. наук. праць Луганського НАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2008. – № 91. – С.36 – 51. 10. Патент 1811449 СССР. МКИ³ В23 Н9/12 Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь.; заявитель и патентообладатель Луганский НАУ. – № 4927110 / 08; заявл.12.04.91; опубл. 23.04.93. Бюл. №15. 11. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с. 12. В.М. Шулаев, С.А. Дуб, А.А. Андреев. Развитие методики исследований физико-механических характеристик наноструктурных покрытий / Сб. докл. 18-го Международн. симпозиума. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», НПП «Контраст», 2006. – С. 379–384. 13. У. Хартман Очарование нанотехнологии/ Пер. с нем.- М.: БИНОМ.

Лаборатория знаний. 2008. - 173с. **14.** Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 240 с. **15.** Бершадский Л.И. Борис Иванович Костецкий и общая концепция в трибологии // Трение и износ, 1993. - Т.14, №1. - С. 6-18. **16.** Конструкционные материалы. Справочник / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с. **17.** Жулин В.М., Каботянская Е. Б. Высокие давления в химической науке и практике. – М.: Знание, 1987. – 32с. **18.** Даринцева А.Б., Мурашева И.Б., Матренина Н.В. Экспериментальные исследования контактного выделения металлов из водных растворов// Электрохимия, №6, 2008. - С.812 - 817. **19.** Поляков С.А., Куксенова Л.И. Формирование противозадирных свойств материалов при динамической адаптации их поверхностных слоев к условиям эксплуатации//Трение и износ. Том29, №3, 2008. - С. 275 - 284. **20.** Гачкевич О.Р., Солодяк М.Т., Івасько Р.О., Бойчук В.Я. Моделювання дії електромагнітного поля на термомеханічну поведінку деформованих твердих тіл// Фізико - хімічна механіка матеріалів, №1, 2009. - С. 43 - 54. **21.** А.с. 637764 СССР, МКИ G01 М 15/00. Способ приработки деталей//В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев. Опубл. 15.12.1978. Бюл. №46. **22.** Перельман В.И. Краткий справочник химика. – М.: Химия, 1964. – 624с. **23.** Горский В.А., Адлер Ю.П.. Планирование промышленных экспериментов. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с. **24.** Браун Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с. **25.** Хрущов М.М. Исследование приработки подшипниковых сплавов и цапф. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1946. – 160 с. **26.** Фосфор. [Электронный ресурс] <http://www.ru.wikipedia.org/wiki>. **27.** Cis-Trans-Isomeria-69465. [Электронный ресурс] http://www.mir-slovarei.com/content_bes. **28.** Розробка технології прискореної обкатки тракторних двигунів з використанням ЕХМП основних з'єднань / Звіт по НДР. – Луганськ: ЛСГІ, 1994.– 97

Надійшла до редколегії 25.03.2009 р.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРЕНИЯ НА ВЗАИМНУЮ ДОВОДКУ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ КОМБАЙНОВЫХ И АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Болдарь Л.Н.

Сформульовані загальнонауковий і загальнотеоретичний підходи до вивчення будови і властивостей складових трібосистеми. Підходи застосовані при дослідженнях впливу електричного струму і складових технологічного середовища на взаємне доведення зразків в парі тертя, що моделює початкові умови взаємодії найбільш швидко зношуваних деталей відремонтованих комбайнових і автотракторних двигунів.

трение, доводка образцов, двигатель, износ