

. Останнє сприяє підвищенню продуктивності обробки, зменшенню питомої витрати електроенергії та суттєво розширює технологічні можливості процесу в плані підвищення габаритних розмірів торцевих поверхонь складного рельєфу, що обробляються.

Слід відмітити, що, для запобігання утворення технологічного виступу, ширину m щілини 21 на електроді-інструменті 19 виконують із наступної умови:

$$m \leq 2\delta_6,$$

де δ_6 – бічний міжелектродний зазор (на рис. 3 не показано). Звичайно $\delta_6 = 0,10 \dots 0,20$ мм.

Пропонуємий спосіб розмірної обробки електричною дугою торцевих поверхонь складного рельєфу, який базується на використанні двошарових електродів-інструментів, порівняно з відомим, розширює його технологічні можливості та дозволяє: суттєво підвищити складність рельєфу, якість обробки та габаритні розміри торцевих поверхонь, що обробляються; підвищити продуктивність обробки великогабаритних торцевих поверхонь на 40...50 % при зменшенні питомої витрати електроенергії на 20...30 %.

Список літератури: 1. Электроэрозионная и электрохимическая обработка. Расчет, проектирование, изготовление и применение электродов-инструментов. Часть 1 / Под ред. А. Л. Лившица, А. Роша. – М.: НИИМАШ, 1980. – 224 с. **2.** Материалы и методы для изготовления фасонных электродов-инструментов электроэрозионных копировально-прошивочных станков // М. Л. Левит, О. В. Падалко. – М.: ЭНИМС, 1975. – 143 с. **3.** Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах). Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с., ил. **4.** Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.07 / НТУУ «КПІ». – Київ, 1999. – 36 с. **5.** Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002 – 300 с.

Сдано в редакцию 26.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

О ТЕКСТУРИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МАКРОПРИБАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКА И ЭЛЕКТРОЛИТОВ

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

The Explored influence of the electric current and electrolyte on shaping the initial contact between detail. The Undertaken attempt of the explanation of the construction of the surface layers material from fluid phase after their electrophysical and electrochemical of the interaction.

Состояние вопроса. Известно, что на поддержание работоспособности д.в.с., выработавших свой ресурс, расходуется много труда и средств [1]. В последнее время, в странах СНГ предпринимаются попытки дать таким двигателям вторую «жизнь» за

счет наращивания изношенных деталей специальными присадками, которые добавляются к маслам [2]. При этом двигатели не разбираются для дефектации деталей и последующего ремонта. Однако, восстановить исходное качество деталей такими мерами невозможно потому, что в процессе износа они теряют не только форму, но и многие функциональные свойства, например, оптимальное напряженно-деформированное состояние (НДС) [3].

Из-за беспочвенных надежд, рынок стран СНГ наполнился таким большим количеством всевозможных присадок к маслам, что в вопросе их применения образовались трибологические «дебри» [4].

Будущее в этом вопросе видится в применении специальных смазочных композиций и высокоэффективных присадок, которые по мере износа деталей, будут восстанавливать их, как это происходит при избирательном переносе. Первым шагом в этом направлении должно быть создание единой системы ввода двигателей в эксплуатацию и поддержания их состояния в эксплуатации.

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния электрического тока и электролитов на формирование начальной площади пятна контакта или макроприработку (МП) сопряженных поверхностей образцов, изготовленных из вкладышей подшипников скольжения коленчатого вала и железоуглеродистых сплавов [5,6].

Теоретические предпосылки. Как известно, при изготовлении поршневым кольцам, гильзам цилиндров и вкладышам подшипников скольжения задается сложная эпюра радиальных давлений и определенная упругость [7,8]. Износ или упрочнение даже очень тонких поверхностных слоев колец, гильз цилиндров и вкладышей приводит к существенному перераспределению внутренних напряжений и снижению их функциональных свойств. У поршневых колец ухудшается уплотняющая способность и передача тепла от поршня к гильзе, а между вкладышами и постелями уменьшается натяг, что в дальнейшем часто приводит к схватыванию их с шейками вала и выходу двигателя из строя [9]. В связи с этим, при разработке* способа МП мы придерживались таких основных требований: 1) съём материалов (или приращение скорости износа dv/dt) в процессе изнашивания деталей должен локализоваться в тонких поверхностных слоях (на уровне R_{max}); 2) правилу положительного градиента свойств по глубине ($dt_{x,y,z}/dH$) должны соответствовать все материалы, включая приповерхностные слои смазки.

Для подробного описания процессов МП, в известные модели механохимического формирования площади контакта [10] (рис.1 а,б) были включены подмодели, поясняющие образование на относительной опорной площади $S_{оп}$ (см. рис. 1 б,в) истинного пятна контакта $S_{и}$ (см. рис. 1 г,д), прежде всего за счет электрофизического взаимодействия (ЭФВ) и роста электрохимического пятна контакта $S_{эхк}$ [11].

Как известно [12], электрофизическое взаимодействие поверхностей А и Б (см. рис. 1в,г), происходит, в основном, на микроуровне за счет смятия и срезания микровыступов (см. напряжения σ_t , σ_b) и заканчивается упругим взаимодействием ($\sigma_{пц}$) тонких слоев окислов и гидроокислов на упрочненных площадках $S_{и}$. При действии электрохимического пятна контакта анодные участки материалов растворяются в электролите или расходуются на образование поверхностных пленок на ионном уровне [13]. Эти процессы идут по истинной поверхности $S_{и}$ расширяющегося контакта, включая впадины, и сопровождаются выделением газов, образованием растворимых и нерастворимых гидроокисей или шлама (см. рис. 1д). Гидроокиси могут объединяться с другими продуктами съема, образовывать комплексные соединения и располагаться на по-

* Исследования проводились под руководством акад. Ю.Н. Петрова и к.т.н. В.П. Алексеева.

верхностях в виде геля, суспензии, коллоида или выносятся из зазора. При задержке этих веществ во впадинах и на микровыступах относительная опорная площадь $S_{оп}$ может увеличиваться. В результате, на поверхностях формируются слои, состоящие из пластинок и мелкодисперсных частичек 1 (см. рис.1б) основного материала, открытых резервуаров 2 с электролитом и закрытых новообразований 3.

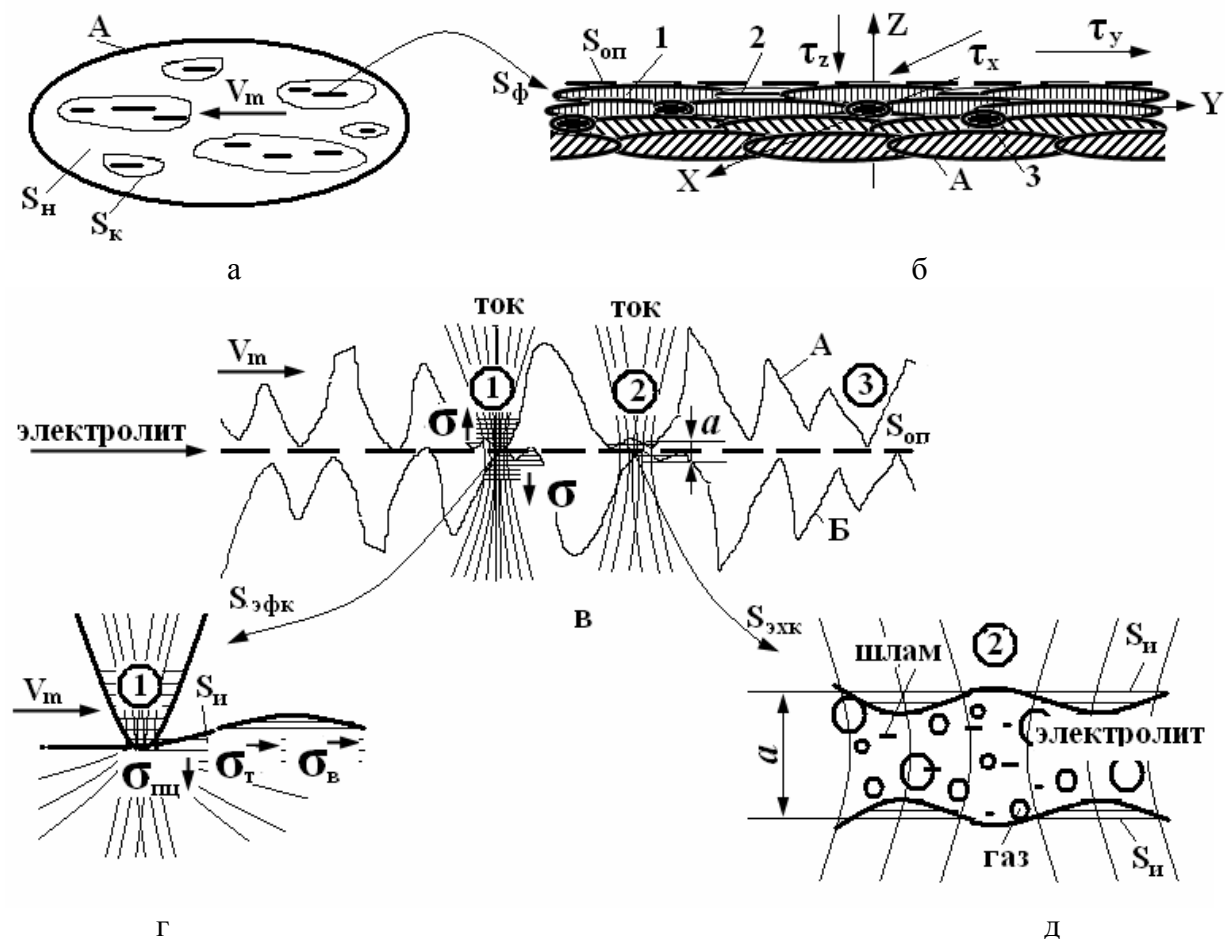


Рис. 1. Схемы формирования площадей контакта: $S_{н}$ – номинальной, $S_{к}$ – контурной, $S_{ф}$ или $S_{д}$ – фактической или действительной, $S_{оп}$ – относительной опорной, $S_{и}$ – истинной, $S_{эфк}$ – от электрофизического взаимодействия, $S_{эхк}$ – в результате действия электрохимического пятна

Особенности методики исследований. Для оценки влияния на МП деталей режима трения (p , $V_{ин}$, τ), токовых параметров (I , U), состава и свойств электролитов (ρ , C , η , pH) использовалась пара трения ролик – колодочка, моделирующая на каждом обороте ролика все начальные условия формирования пятна контакта и переходы от непосредственного касания поверхностей до зазора и обратно [14].

Оптимизация факторов МП проводилась на машине трения СМЦ-2. Электролит подавался в зону трения путем самозахватывания роликом.

Ролики изготавливались из стали 40Х и стали 45, а колодочки вырезались из вкладышей подшипников скольжения, покрытых алюминиевыми сплавами АСМ или АО20-1. Приработочный слой с поверхности сплава АСМ снимался шабрением.

Ход МП образцов оценивался по изменению рабочего напряжения и силы тока. В первые секунды вращения ролика ($n = 300 \text{ мин}^{-1}$) при нагрузке около 4 Н, на пару трения

подавался ток, напряжением 1 В. Далее к колодочке прикладывалась сила 78,5 или 196,2 Н, а токовые параметры устанавливались самопроизвольно, в зависимости от режима трения.

Антифрикционные свойства электролитов и влияние на них электрического тока оценивались на машине трения МАСТ-1. Как известно, в этой машине, при контакте четырех шариков из стали ШХ15 за счет малой скорости скольжения и сравнительно большой нагрузки ($n = 1 \text{ мин}^{-1}$, $P = 50 \text{ Н}$) обеспечиваются условия граничной смазки [15].

Для исключения растекания подведенного к образцам электрического тока, колодочка пары трения в машине СМЦ-2, и узел крепления трех шариков в машине МАСТ-1, изолировались от массы машин трения.

При выборе состава электролитов учитывалось не только их действие, но и последствие, например, их составляющие не должны отрицательно влиять на материалы, используемые в двигателе, и сочетаться, в последующем, с моторными маслами. В этой связи, в состав электролитов вводились известные ингибиторы коррозии и трения [16,17]: триэтаноламин (ТЭА), полиэтиленгликоль (ПЭГ), глицерин, нитрит натрия, сульфиды (Na_2S , KCNS), соли ортофосфорной кислоты, поверхностно-активные вещества (эмульсол, сульфозфрезол, смачиватель), а также добавки, буферирующие кислотность электролитов в нейтральной области. В качестве основных веществ, активирующих процессы образования и растворения окислов и гидроокислов, использовались водные растворы солей NaNO_2 , NaNO_3 и NaCl от средней до насыщенной (при 20 °С) концентрации. Для стабилизации свойств электролитов проводилась их очистка – периодическим отстаиванием или фильтрацией (в т.ч. и под давлением). Для ускорения процессов к электролитам добавлялись полиакриламид (ПАА) и желатин [18].

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 2 приведены результаты МП образцов на трех типах электролитов, основой которых был водный раствор солей и ПАВ (а), ТЭА (б) и глицерин (в).

По характеру пятна контакта на колодочке видно (см. рис. 2а), что МП образцов на маловязком электролите, в основном происходила за счет электрофизического взаимодействия поверхностей (см. разрывы А и трещины Б). Несмотря на малую нагрузку – 78,5 Н, средний съем сплава АСМ был большим - 22 мг/см².

На электролите ТЭА + NaCl МП шла при сравнительно больших значениях силы тока и напряжения (см. рис. 2б). Открытые лунки В и относительно чистые контактные площадки Г на поверхности сплава, вероятно, возникали из-за активирования процесса хлоридом натрия. При этом съем сплава АСМ достигал 100 мг/см².

МП образцов в электролите 80 % глицерина и 20 % NaCl (см. рис. 2в) характеризовалась малой электрической напряженностью и сравнительно малым износом – до 10 мг/см². Окончание процесса формирования площади пятна контакта на 3-й минуте сопровождалось самопроизвольным снижением силы тока до 0,15 А и ростом напряжения до 3 В. В конце опыта вся площадь контакта на ролике и колодочке (см. отдельные участки Д) была закрыта непрочно связанными с основой продуктами электрохимического растворения сплавов (см. темные и светлые участки Е).

При увеличении нагрузки с 78,5 Н до 196,2 Н доля участков пятна контакта, закрытых гидроокисями и шламом, существенно уменьшилась. При этом съем сплава АСМ уменьшился до 3-5 мг/см². В связи с этим, вероятно, можно предположить, что при уменьшении зазора *a* (см рис. 2в) продукты электрохимического съема теряли подвижность и более активно участвовали в текстурировании поверхностных слоев.

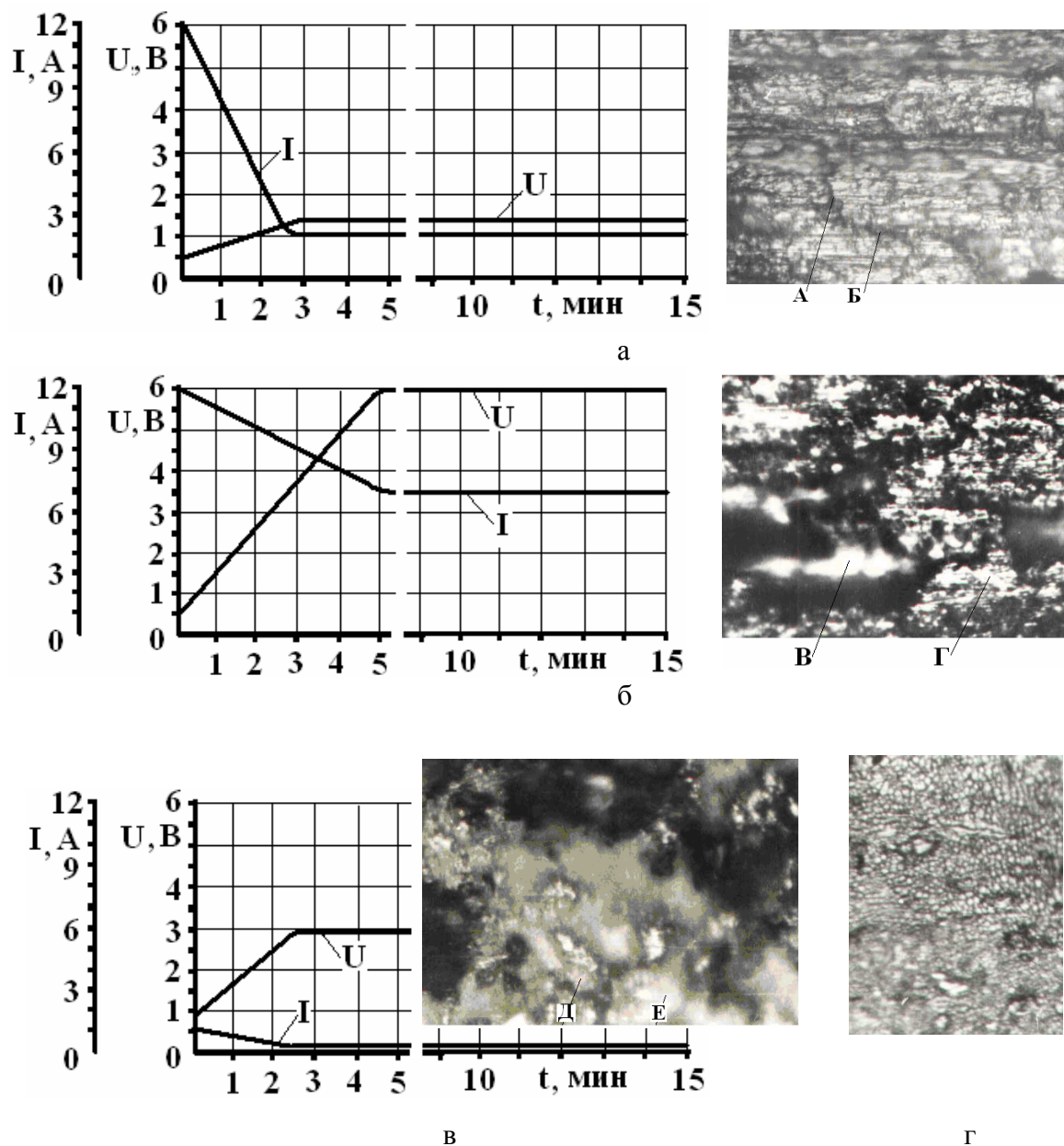


Рис. 2. Вид поверхности сплава АСМ после МП на электролитах: а) 30% ТЭА и 70% водного раствора солей NaNO_3 , NaNO_2 , NaCl с добавкой буферизирующей смеси ($\text{pH} = 7$), кислоты H_3PO_4 и смачивателя Св-102; б) 60% ТЭА и 40% водного раствора NaCl ; в) 80% глицерина и 20% водного раствора NaCl , $\times 487$

При подаче электролита I под давлением 0,1-0,3 МПа в зазоры коренных подшипников скольжения отремонтированных двигателей их макроприработка заканчивалась через 30-60 с, при силе тока 0,15-0,20 А и напряжении 4,5-5,0 В. Съем во всех подшипниках не превышал $0,2 \text{ мг/см}^2$ [19]. Пятно электрохимического контакта $S_{\text{ЭК}}$ (см. рис. 1б) распространялось на всю номинальную площадь вкладышей и шеек коленчатого вала (см. рис. 1а). Тогда межфазный переход от жидкости к твердому телу (рис. 3а) и соответствующие ему динамические модели (см. рис. 3б) на любом участке номинальной площади $S_{\text{н}}$, вероятно, можно представить следующим образом.

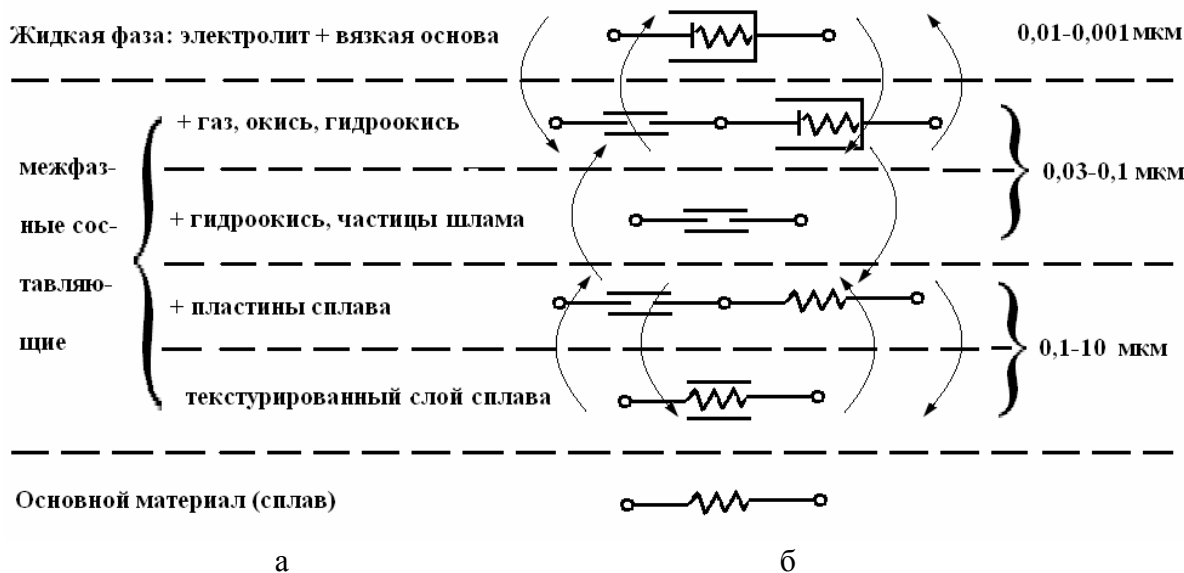


Рис.3. Условное представление составляющих поверхностных слоев после МП деталей на электролите под действием тока (а) и соответствующие им динамические модели (б).

Усиление адгезионных и когезионных свойств жидкой фазы на субмикроруровне условно показано с помощью упругого элемента, включенного в модель Ньютона, а ослабление связей частиц в слоях, прилегающих к основному материалу – с помощью параллельных линий в модели Гука.

При моделировании условий механохимического и электрофизического взаимодействия поверхностей в электролите I и в электролите II (80 % глицерина и 20 % водного раствора NaNO_2) были получены такие результаты (рис. 4).

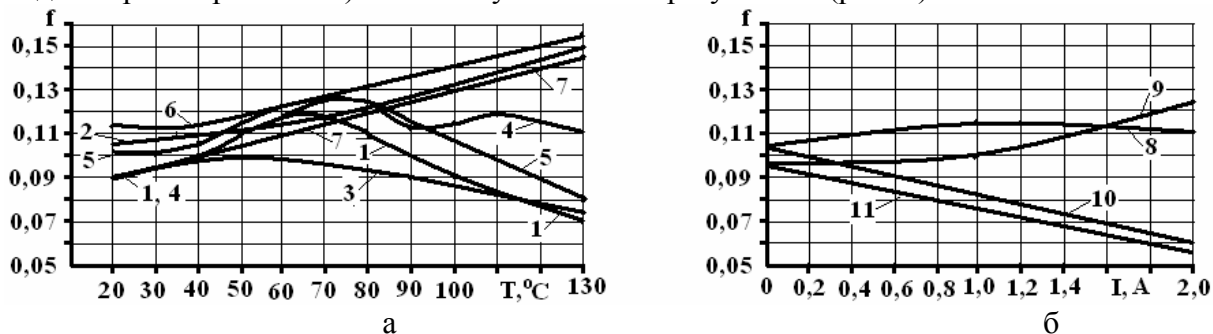


Рис. 4. Влияние температуры (а) и электрического тока (б) на смазочную способность электролитов: 1 – свежеприготовленный электролит I; 2 – то же, электролит II; 3,4,5 – электролит I после МП, соответственно, 1-го двигателя, 5-ти двигателей, более 30 двигателей; 6 – электролит II с ПЭГ; 7 – электролит II с ПЭГ и ПАА; 8, 9 – электролит II, соответственно, с подачей тока и без подачи тока; 10,11 – то же, электролит I.

Как видно на рис. 4а, при повышении температуры до $70 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент трения образцов в электролитах I и II возрастает (см. кривые 1, 2). При дальнейшем повышении температуры, коэффициент трения образцов, в чистом и отработанном электролите I, уменьшается (см. кривые 3,4,5), а в электролите II – монотонно возрастает (см. кривые 2,6,7).

Пропускание электрического тока через контактирующие шарики из стали ШХ15 приводит к некоторой стабилизации смазочных свойств электролита II (см. кривые 8,9, рис. 4б), а в электролите I – к увеличению коэффициента трения (см. кривые 10,11).

Разные коэффициенты трения образцов в электролитах I и II, вероятно, можно объяснить различной глубиной их действия в поверхностных слоях (см. рис. 3): окислительный электролит II образует окислы и гидрокислы на уровне 0,03-1,00 мкм, а электролит I проникает через все слои, вплоть до основного материала [20-21].

В связи с тем, что после МП деталей в составе двигателей, электролиты не удаляются из зазоров и смешиваются в процессе обкатки двигателей с моторным маслом, происходит утонение, полученных приповерхностных слоев и их дальнейшее текстурирование, но уже с участием составляющих смазки [22].

Выводы.

1. Обоснована необходимость разработки системы ввода отремонтированных д.в.с. в эксплуатацию и поддержания их функциональных свойств не допуская предельного износа деталей.

2. Показано, что с помощью электрического тока и электролитов можно управлять макроприработкой деталей КШМ и ЦПГ отремонтированных двигателей и подготавливать поверхностные слои материалов к восприятию рабочей нагрузки.

3. Исходя из условий минимизации износа деталей при макроприработке, правила положительного градиента свойств поверхностных слоев материалов и результатов исследований влияния электрического тока и электролитов на процесс макроприработки, составлена динамическая модель текстурирования межфазных составляющих.

Список литературы: 1. Кравец И.А., Щепетов В.В., Максимов С.Л., Гладкий Я.Н. Энергетика безсервисных систем//Проблемы трибологии, №2, 2002. – С.12-14. 2. Джус Р.Н., Спадавиченко В.Н., Волков Ю.П. Технологии триботехнического восстановления – вчера, сегодня, завтра / Сб. докл. 6-й международной конф.ОТТОМ-6, ч.2, 2005. – с.289-297. 3. Молдаванов В.П. Поршневые кольца ДВС. – М.: «Россельхозиздат», 1985. – 158 с. 4. В дебрях трибологии//5-е колесо (Электр. ресурс). – www. Finics.Ru. - №1-2, 2002. 5. А.с. № 1045049 МКИ G 01M 15/00. Способ приработки деталей / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев (СССР). № 3449488 / 25-06. Заявл. 9.06. 82. Опубл. 30.09.83. Бюл. № 36. – 2с. 6. Патент 1811449, СССР; МКИ G 01M 15/00. Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь.- №4927110/08. Заявл. 12.04.91. Опубл. 23.04.93. Бюл. № 15.- 8 с.7. Михайлов А.А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с. 8. Соломин О.В., Данчин А.П. Влияние макроотклонений опорных поверхностей на распределение давлений в радиальных подшипниках жидкостного трения / Изв. вузов. Сер. «Машиностроение», №5, 2005. – С.24-31. 9. Семенов А.П. Анализ причин нестабильности биметаллических вкладышей подшипников двигателей внутреннего сгорания // Вестник машиностроения, №6, 2003. – С.34-38. 10. Браун Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с. 11. Болдарь Л.Н. Основопологающие принципы электрохимико-механической приработки (доводки) деталей / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: «Технічні науки» - Луганськ: ЛНАУ. – 2006. 12. Коробов Ю.М., Прейс Г.А. Электромеханический износ при трении и резании металлов. – К.:Техника, 1976. – 200 с. 13. Седыкин В.Ф. О точностных возможностях метода размерной электрохимической обработки // Электронная обработка материалов, №1, 1973. – С.11-13. 14. Болдарь Л.Н. Моделирование процесса макроприработки деталей ЦПГ и КШМ отремонтированных автотракторных двигателей / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: «Технічні науки», № 31 (43), - Луганськ: ЛНАУ, 2003. – С.49-57. 15. Матвиевский Р.М., Буяновский И.А., Лозовская О.В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. – М.: Наука, 1978. 16. Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости.

Справочное руководство / Под ред. А.М. Сухотина. – Л.: «Химия», 1979. – 360 с. **17.** Тарасов Ю.М., Натансон М.Э., Литвиненко Г.П. Особенности синергизма при трении металлов в многокомпонентных водных средах / В кн. «Проблемы трения и изнашивания». – К.: Техника, № 14, 1978. – С. 46-47. **18.** П.-Ж. де Жен, Ж.Бадос. Хрупкие объекты: Пер. с франц. – М.: Мир, 2000. – 189 с. **19.** Розробка технології прискореної обкатки тракторних двигунів з використанням ЄХМП основних з'єднань / Звіт по НДР. – Луганськ: ЛСГІ, 1994. – 97 с. **20.** Алексеев В.П., Болдарь Л.Н., Михалев В.Д. Выбор состава электролита для ЭХМП трущихся пар / Сб. научн. тр. Харьк. СХ ин-та им. В.В. Докучаева. – Харьков: 1978. – С.65-68. **21.** Болдарь Л.Н. Приработка деталей КШМ и ЦПГ отремонтированных дизелей. Микроприработка / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: «Технічні науки», № 49/72, - Луганськ: ЛНАУ, 2005. – С.59-69. **22.** Болдарь Л.Н., Тащилина А.В. О структурной приспособляемости материалов и среды при приработке подшипников скольжения колленчатого вала. Постановка задачи / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: «Технічні науки» - Луганськ: ЛНАУ. – 2006.

Сдано в редакцию 16.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГИБКОГО КОЛЕСА КРУПНОЙ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Болдарь Ю. Г. , Лесняк Г. А., Носко П. Л., Стрельников В. Н., Титаренко А. И.
(ЗАО «НКМЗ», ВНУ им. В. Даля, г. Краматорск, г. Луганск, Украина)

Movings a flexible wheel of large wave transfer by a method of final elements are determined. Results of research are used, in particular, for elimination of an interference зубьев in gearing.

Одним из наиболее эффективных способов повышения нагрузочной способности машин и агрегатов является применение многопоточных конструктивных схем, в т. ч. с гибкими звеньями, упругие деформации которых упрощают технику дифференцирования силовых потоков. Многократно снижаются нагрузки на зубья, минимизируются габариты и металлоёмкость механического привода. Существующие передачи с гибкими звеньями обладают сравнительно низкой нагрузочной способностью – преимущественно до 5 КНм. В процессе исследования и освоения крупных волновых передач на «НКМЗ», наличие масштабного фактора вызвало существенные изменения соотношений геометрических и силовых параметров волновой передачи с деформациями гибкого звена. Проявились новые свойства не характерные для небольших волновых передач: осевые силы, повышенные энергетические потери, заклинивание и проскок зубьев в зацеплении. В известных работах Цейтлина [1], Шувалова [2], Гинзбурга [3], Ковалёва [4], Волкова [5], др. авторов, эти вопросы не нашли должного решения.

Одним из негативных проявлений масштабного фактора служит интерференция зубьев, представляющая наиболее значимые аспекты теории зубчатых зацеплений, определяющая геометрические условия существования зубчатой пары. При модуле зубьев 1,5÷2 мм, крутящих моментах в десятки тм, упругие деформации гибкого колеса превышают зазоры в зацеплении, вызывая интерференцию зубьев 2^{го} рода. В своё время спроектированные по известным методикам и изготовленные на НКМЗ крупные волновые редукторы, по этой причине оказались не работоспособны.