

Viktor Aulin, Prof., DSc., Andrey Tihy, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Kirovohrad national technical university, Kirovohrad, Ukraine

Viktor Voytov, Prof., DSc.

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

The physical aspects of the interaction in the system WBTM-soil

The paper developed a functional model of the interaction with the environment WBTM-soil. Presented friction and wear processes in the soil that are implemented against the background of the WBTM interchange indicators of soil and the environment is a complex set of physical and chemical phenomena.

When considering the patterns of interaction in TTS "WBTM-soil" takes into account both external structure and internal structure. Shows the change in the elemental composition of the surrounding WBTM-soil layers, indicating that the process of mass transfer and segregation during interaction TTS "WBTM-soil."

Presented patterns of processes of friction and wear WBTM depending on its structure and grain size. The state of the soil by the action WBTM, determined its density distribution in the depth of the treated layer of soil types found on the distribution of different density, structure, porosity, humus content and the depth obtained regression equation between the density of soil and humus content.

functional model, tribotechnical system, stress, elemental composition, exposure, soil structure, demolition, working body tillage machines

Одержано 12.11.15

УДК 621.891+631.3.02

Т.Н. Замота, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина

Повышение эффективности приработки ресурсопределяющих сопряжений транспортных средств

Применение метода электрохимико-механической приработки (ЭХМП) позволяет ускорить приработку, исправлять макрогеометрию деталей трибосопряжений, приспособлять поверхности трения. Разработка научных основ метода ЭХМП деталей с макрогеометрическими отклонениями с возможностью управления процессом является безусловно актуальной проблемой.

ЭХМП основных сопряжений деталей ТС машин является высокоэффективным процессом приработки поверхностей, в котором кроме механического действия, процесс приработки ускоряется за счет электрохимических процессов. В статье с позиций основных положений теории электрохимических процессов, теории износоконтактного взаимодействия смазанных поверхностей, гидродинамической теории трения, особенностей электрохимико-механической приработки трущихся поверхностей деталей, проанализированы закономерности приработки основных сопряжений, от которых зависит ресурс машин. Выявлены возможности управления процессом приработки и состояниями трущихся поверхностей деталей.

приработка, электрохимико-механическая приработка, сопряжения, ресурс машин, транспортные средства

Т. М. Замота, доц., канд. техн. наук

Кировоградський національний технічний університет, м.Кировоград, Україна

Підвищення ефективності припрацювання ресурсобумовлюючих сполучень транспортних засобів

Застосування методу електрохіміко - механічного припрацювання (ЕХМП) дозволяє прискорити припрацювання, виправляти макрогеометрію деталей трибосопряжень, пристосовувати поверхні тертя. Розробка наукових основ методу ЕХМП деталей з макрогеометричними відхиленнями з можливістю управління процесом є безумовно актуальною проблемою.

ЕХМП основних сполучень деталей машин є високоефективним процесом припрацювання поверхонь, в якому окрім механічної дії, процес припрацювання прискорюється за рахунок електрохімічних процесів. У статті з позицій основних положень теорії електрохімічних процесів, теорії зносоконтактної взаємодії змашених поверхонь, гідродинамічної теорії тертя, особливостей електрохіміко - механічного припрацювання поверхонь деталей, що труться, проаналізовані закономірності припрацювання основних спряжень, від яких залежить ресурс машин. З'ясовані можливості управління процесом припрацювання і станами поверхонь деталей, що труться.

припрацювання, електрохіміко-механічне припрацювання, сполучення, ресурс машин, транспортні засоби

Постановка проблеми. Повышение долговечности восстанавливаемых транспортных средств (ТС) возможно путем улучшения эффективности процесса приработки рабочих поверхностей деталей ресурсопределяющих сопряжений. Чем больше макрогеометрические отклонения, тем сложнее обеспечить высокое качество приработки сопряжений деталей. Устранить неточности взаимного расположения деталей можно в процессе обкатки, во время которой происходит приработка рабочих поверхностей деталей сопряжений и подготовка их к восприятию эксплуатационных нагрузок.

Применение метода электрохимико-механической приработки (ЭХМП) позволяет ускорить приработку, исправлять макрогеометрию деталей трибосопряжений, приспособлять поверхности трения. ЭХМП основных сопряжений деталей ТС машин является высокоэффективным процессом приработки поверхностей, в котором кроме механического действия, процесс приработки ускоряется за счет электрохимических процессов. Разработка научных основ метода ЭХМП деталей с макрогеометрическими отклонениями с возможностью управления процессом является безусловно актуальной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Во всем мире наиболее перспективным при приработке трущихся поверхностей является применение совмещённых процессов. Электрохимико-механическое полирование широко применяется для формирования поверхностей с заданными свойствами на деталях из карбида кремния [1], титана [2], на медных поверхностях [3], в электронной промышленности [4]. Основы технологии электрохимико-механического полирования описаны учёными Китая и Тайваня [5,6]. Применение электрохимико-механического полирования позволило добиться отличных результатов при изготовлении жестких дисков компьютеров [7]. Основы электрохимико-механической приработки деталей из различных материалов доказывают эффективность данного вида приработки за счёт того, что формообразование поверхности проходит и при гидродинамическом режиме трения за счет электрохимического фактора процесса [8]. Применение органических кислот значительно усиливает положительный эффект при химико-механическом полировании поверхностей при изготовлении современных деталей микроэлектронной промышленности [9]. Зарубежными учёными разрабатывались математические модели процесса с учётом внедрения абразивных частиц в обрабатываемую поверхность [10], кроме этого были разработаны модели химико-механического полирования меди с помощью плоского притира [11]. Особое место в исследованиях уделяется формированию разделительных слоев смазки между трущимися поверхностями [12].

Согласно исследованиям Кембриджского и Массачусетского институтов технологии Д. Окуму Оума и Дьюну С. Бонингу эффективным оказывается даже

применение химико-механического выравнивания поверхностей с формированием во впадинах шероховатости оксидных пленок [10]. Подобных результатов достиг и Дик де Рувер в своей статье [9].

Постановка задания. Целью статьи является повышение эффективности приработки основных сопряжений машин разработкой научных основ метода ЭХМП деталей с макрогеометрическими отклонениями с возможностью управления процессом.

Изложение основного материала. Выражение зависимости скорости выравнивания макрогеометрической погрешности V_{max} от электрохимико-механических параметров процесса плоских поверхностей определяется следующей зависимостью (1):

$$V_{max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k)) / \sqrt{h_{min}^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(h_{min} + \delta_{max} - ax - c)^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}} \quad , (1)$$

где V_m – скорость механического съема, мкм/ч;

$1/2$ – коэффициент, учитывающий анодный полупериод переменного тока, при котором происходит травление одной из деталей сопряжения;

k_1 – коэффициент, учитывающий долю граничного трения ($S_m < 10^{-5}$) в общем времени цикла;

h_{min} – минимальный разделительный слой смазочного материала между деталями, м;

a и c – постоянные, характеризующие наклон перекошенной поверхности детали плоского сопряжения; x – координата точки на прирабатываемой плоскости, м;

δ_{max} – величина максимальной макрогеометрической погрешности, м;

U – рабочее напряжение, В;

φ_a – анодный потенциал, В;

φ_k – катодный потенциал, В;

η_a – анодный выход по току, %;

η_{ad} – анодный выход по току при механической депассивации, %;

χ – удельная электропроводимость электролита, Ом⁻¹·см⁻¹;

ρ – плотность материала, г/см³;

ε – электрохимический эквивалент материала анода, г/А·ч;

t – время процесса, с.

Выражение (1) полностью справедливо для приработки плоских поверхностей, когда режимы приработки известны и становятся постоянными величинами. Как видно из этого выражения, на скорость устранения макрогеометрической погрешности, кроме остальных факторов, влияет минимальная толщина разделительного слоя между прирабатываемыми поверхностями h_{min} .

При ЭХМП величина h_{min} является межэлектродным зазором. Подставив значение h_{min} , характерное для приработки цилиндрического сопряжения, в зависимость скорости выравнивания макрогеометрической погрешности V_{max} от электрохимико-механических параметров процесса (1), получим выражение для ЭХМП цилиндрических поверхностей (2).

$$V_{\max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot S_k}{F})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{\vartheta \cdot \mu \cdot S_k}{F} + \delta_{\max} - ax - c)^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}}), \quad (2)$$

q – постоянная характеризующая тип сопряжения деталей ($q=1$ – для простых сопряженных поверхностей);

v – линейная скорость;

μ – динамическая вязкость смазочного материала, Па·с;

S_k – площадь контакта сопряженных поверхностей;

F – сила в контакте, Н.

Очевидно, что для цилиндрических сопряжений развитие площади пятен контакта будет зависеть от наличия перекоса или несоосности. Для описания процесса макроприработки цилиндрических сопряжений с перекосом необходимо учитывать площадь пятна контакта S_{um} . В этом случае получим (3)

$$V_{\max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{\vartheta \cdot \mu \cdot S_{um}}{F})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{\vartheta \cdot \mu \cdot S_{um}}{F} + \delta_{\max} - ax - c)^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}}), \quad (3)$$

Для цилиндрических с несоосностью необходимо использовать выражение (4)

$$V_{\max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{\vartheta \cdot \mu \cdot S_{um}}{F})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{\vartheta \cdot \mu \cdot S_{um}}{F} + \delta_{\max})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}}), \quad (4)$$

Различное изменение площади пятна контакта при приработке цилиндрических сопряжений с перекосом и несоосностью, показанное в [16], будет оказывать непосредственное влияние на характер протекания процесса макроприработки при использовании электрохимико-механического метода.

По аналогии с выражениями (1), (3) и (4) определим скорости выравнивания макрогеометрических погрешностей для сферических сопряжений (5) и зубчатых зацеплений (6).

$$V_{\max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot S_{c\phi}}{F \cdot f})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot S_{c\phi}}{F \cdot f} + \delta_{\max})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}}), \quad (5)$$

$$V_{\max} = V_m + 1/2 \cdot (1 - k_1) \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} (\eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot S_{z3}}{F \cdot f})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_{ad} (U - \varphi_{ad} + \varphi_k) \cdot t - \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) / \sqrt{(q \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot S_{z3}}{F \cdot f} + \delta_{\max})^2 + (1 - k_1) \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}}), \quad (6)$$

Отсюда видно, что при фиксированных значениях ε, ρ, q , скорость съема зависит от электрических параметров – напряжения U (от которого зависят η и χ (при газообразовании)), суммы анодного и катодного потенциалов φ_a и φ_k , которые являются функцией плотности тока [13] и условий трения. Сомножитель $\nu \cdot \mu \cdot S_k / F$ является величиной режима жидкостного трения. Следовательно, варьированием не только электрическими параметрами, но и величинами ν, μ, F можно управлять процессом съема материалов.

По уравнению (1) для условий приработки, указанных в [14], была рассчитана скорость съема материала стальной детали при ЭХМП в зависимости от толщины слоя электролита между трущимися поверхностями и возникающего в паре режима трения (рис.1). Полученные результаты подтвердили предпосылки, высказанные автором ранее [15].

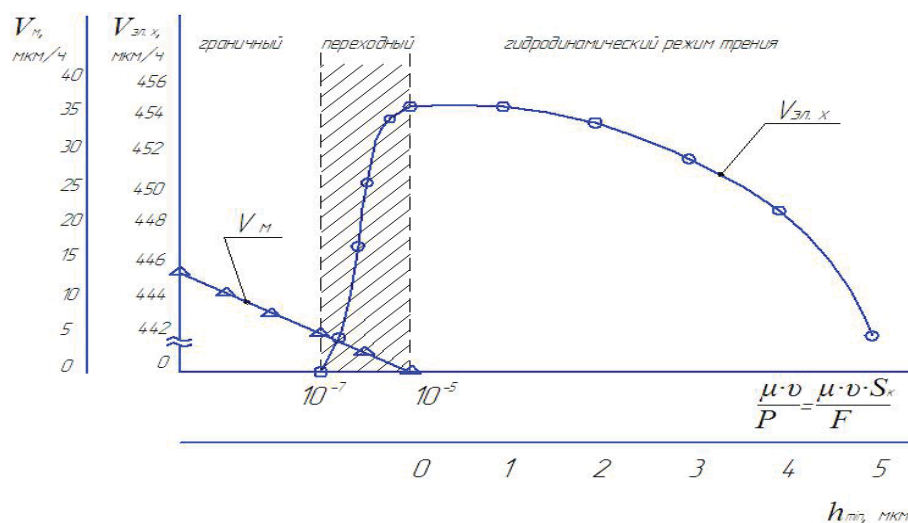


Рисунок 1 – Зависимость скорости снятия материала детали при ЭХМП от режима трения и толщины слоя электролита

Джерело: розроблено автором

Как видно из рис.1, режим трения существенно влияет на протекание процесса электрохимико-механической приработки. При граничном и переходном режимах присутствует механическое изнашивание поверхностей. Относительно малые нагрузки в паре трения являются причиной низкой скорости механического съема. С повышением значения критерия Зоммерфельда до 10^{-5} механическая составляющая снижается до нуля, а с развитием гидродинамического режима трения поверхности разделяются слоем электролита, механический контакт отсутствует и возникают хорошие условия для электрохимического травления поверхностей.

Малые зазоры при переходе к гидродинамическому режиму трения способствуют наибольшей эффективности процесса. Максимальная величина скорости электрохимического съема для данных условий ($V_{max} = V_{эл.х} = 455$ мкм/ч) значительно превысила механическую составляющую процесса ЭХМП ($V_m = 15$ мкм/ч). С ростом зазора увеличивается сопротивление слоя электролита и скорость съема постепенно снижается.

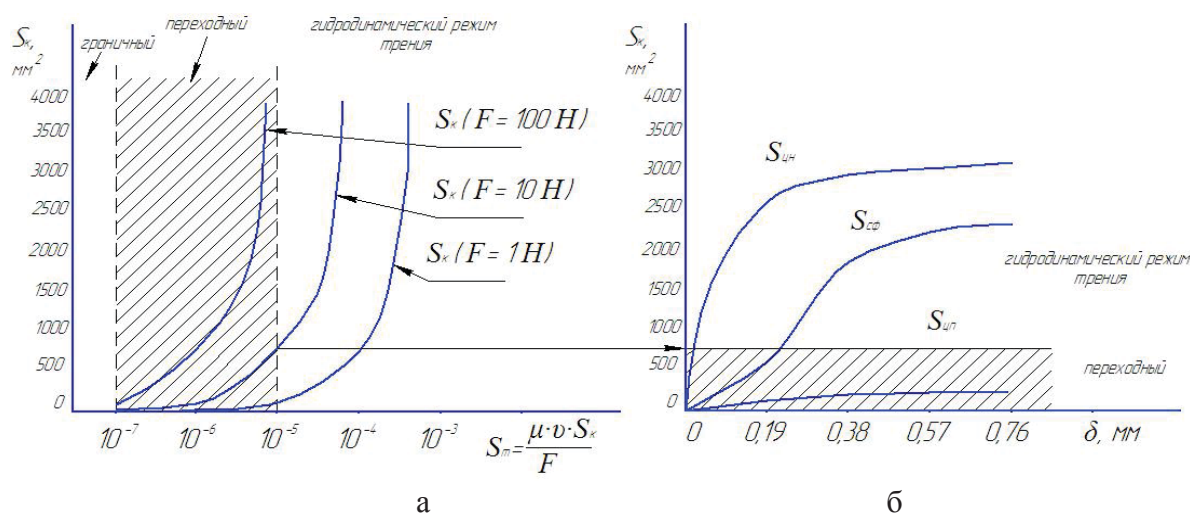
Из этого следует, что максимальная эффективность процесса может быть достигнута при минимальном разделительном слое электролита между трущимися поверхностями. При этом должен быть обеспечен гидродинамический режим трения. С наступлением переходного режима скорость электрохимического съема резко снижается. Граничный режим способствует механическому контакту поверхностей и является полезным для активации поверхностей трения, что приводит к усилению

травления на зазоре и способствует выравниванию поверхности в пассивирующем электролите.

Если проанализировать зависимость площади контакта S_k прирабатываемых поверхностей на протекание ЭХМП, то открываются интересные взаимосвязи между факторами процесса. Площадь контакта S_k может быть определена из критерия Зоммерфельда (7)

$$S_k = \frac{S_m \cdot F}{\mu \cdot v} \quad (7)$$

Для расчетов принимаем следующие значения: динамическую вязкость электролита $\mu = 0,13$ Па·с; скорость взаимного перемещения $v = 1$ м/с. Переменными сделаем критерий Зоммерфельда S_m и силу прижатия прирабатываемых поверхностей F . Полученные зависимости представлены на рис.2, а.



а – зависимости формирования площади пятна контакта от значения критерия Зоммерфельда;
б – зависимость формирования площади пятна контакта от вида сопряжения и величины макрогеометрического отклонения δ при $F=10$ Н

Рисунок 2 – Формирование различных режимов трения в зависимости от площади контакта S_k , силы взаимодействия поверхностей F и вида сопряжения

Джерело: розроблено автором

Увеличение нагрузки на прирабатываемую пару приводит к уменьшению значения критерия Зоммерфельда и переводит режим трения из гидродинамического в переходный даже при достаточно больших сформированных площадях контакта (рис.2, а). Малые нагрузки способствуют быстрому развитию гидродинамического режима трения и способствуют быстрому устранению макрогеометрической погрешности детали за счет электрохимической составляющей процесса (рис.1).

Как было показано ранее [16], формирование площади пятна контакта сильно зависит от вида сопряжения. Возникает необходимость совмещения графика формирования площади контакта S_k в зависимости от критерия Зоммерфельда S_m и силы взаимодействия прирабатываемых поверхностей F (рис.2, а) с графиком формирования площади контакта S_k от вида сопряжения и величины макрогеометрического отклонения δ (рис.2, б). Это позволяет определить режим трения в конкретном виде сопряжения в зависимости от сформированной площади контакта. Из представленного рисунка видно, что в цилиндрическом сопряжении с несоосностью быстро формируется такая площадь контакта, которая позволяет паре трения перейти на гидродинамический режим трения. Для данных условий, описанных в [134], цилиндрическая пара с перекосом вообще не достигает условий гидродинамического режима, что вызывает необходимость снижения

нагрузки F . Если провести прямую от точки пересечения кривой $S_k(F=IH)$ со значением критерия Зоммерфельда $S_m = 10^{-5}$ до кривой $S_{гид}$, то становится понятно, что гидродинамический режим трения в этой паре будет достижим уже при значении $\delta=0,19$ мм, чего не достигается при больших нагрузках.

Еще одним важным фактором процесса ЭХМП является коэффициент k_I , учитывающий долю граничного трения ($S_m < 10^{-5}$) в общем времени цикла. Если $k_I = 1$, то вся электрохимическая составляющая процесса в выражениях (1), (3), (4), (5) и (6) становится равна 0. Для большей эффективности необходимо стремиться понижать значение этого коэффициента, но чередование граничного и гидродинамического режимов трения способствует интенсификации приработки за счет механического активирования поверхности.

Условие протекания между трущимися поверхностями гидродинамического режима трения ($S_m \geq 10^{-5}$), можно записать – $10^{-5} \leq \frac{\mu \cdot v \cdot S_k}{F}$. Для выбранных ранее значений ($F=10$ Н, $\mu = 0,13$ Па·с) определим условие протекания гидродинамического режима смазки, .е. разделения поверхностей слоем электролита. Удобнее всего представить его в следующем виде (8)

$$v \cdot S_k \geq 7,69 \frac{m^3}{c}. \quad (8)$$

Исходя из этого условия, для приработки цилиндрической пары с несоосностью (зависимость развития $S_k = S_{гид}$ представлена на рис.2,б) можно легко определить режим трения. Площадь меняется в зависимости от величины устранения макрогеометрического отклонения δ и является расчетной величиной, постоянной для определенной геометрии контакта и вида макрогеометрического отклонения (наличия несоосности, перекоса и т.д). Наиболее технологично менять режим трения с помощью скорости взаимного перемещения прирабатываемых поверхностей. При изменении скорости v от 0 до 1 м/с были подсчитаны величины произведения $v \cdot S_{гид}$. Результаты представлены в виде графика на рис. 3.

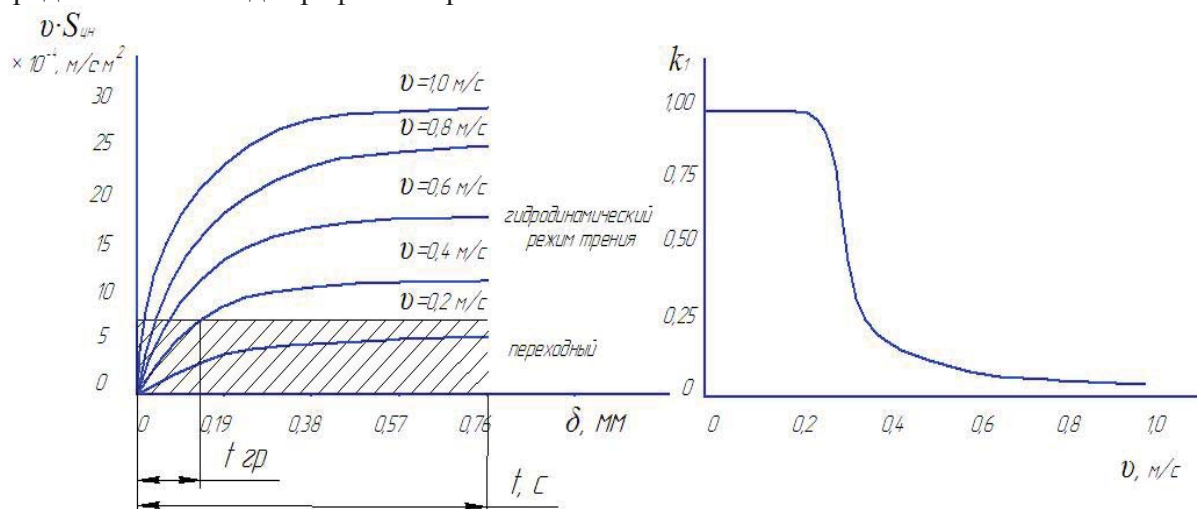


Рисунок 3 – Определение коэффициента k_I , учитывающего долю граничного трения ($S_m < 10^{-5}$) в общем времени цикла для однонаправленного движения в цилиндрической паре трения с несоосностью
Джерело: розроблено автором

При относительно низких скоростях взаимного перемещения достичь условий гидродинамического режима трения не удастся ($k_I=1$). Только увеличение скорости v до

0,4 м/с понизило значення k_I до 0,19. Процес став протекати при розділенні поверхностей пленкою електроліта і таким образом створилися умови для швидкої макрогеометричної прироботки за рахунок анодного травлення. Дальніше підвищення швидкості приводить до більш раннього настання гідродинамічного режиму тертя і значно знижує значення коефіцієнта k_I (менше 0,1).

Подобні залежності можуть бути визначені для різних сопряжень і характеристик взаємних переміщень. По ним легко визначати мінімально допустимі значення факторів процесу. Технологічно легко змінювати режими тертя в парі за рахунок в'язкості електроліта μ і швидкості взаємного переміщення v . Розуміння того, як буде розвиватися площа контакту S_k , приводить до можливості диференціації режимів з метою отримання максимальної ефективності усунення макрогеометричної погрешності форми прироботуваної деталі.

Висновки.

1. Для ЭХМП характерна взаємозв'язок між задаваними і залежними факторами процесу. Позитивним качеством даного методу прироботки поверхностей тертя є можливість по отримуваним відкликам в режимі реального часу коректувати процес за рахунок зміни факторів. Завдяки цьому можна автоматизувати прироботку сопряжених поверхностей і виробляти виправлення макрогеометричних відхилень з подальшим формуванням мікрорельєфу. Таким підходом дозволить значно скоротити час повної прироботки поверхностей і в перспективі одразу після закінчення макроприроботки можна буде проводити мікроприроботку з формуванням износоустойчивих рельєфів.

2. На основі виявленого механізму ЭХМП побудовані математичні моделі процесу для розглянутих плоского, циліндричних (з перекосом і несоосностью), сферического і зубчатого зацеплень. В отриманих вираженнях узяті всі механічні і електрохімічні фактори.

Список літератури

1. Canhua Li, Ishwara B. Bhat, Rongjun Wang, Joseph Seiler. Electro - Chemical Mechanical Polishing of Silicon Carbide. *Journal of Electronic Materials*, Vol.33, №5, 2004. [Text] – pp. 481– 486.
2. Yair Ein– Eli, David Starosvetsky. Review on copper chemical– mechanical polishing (CMP) and post–CMP cleaning in ultra large system integrated (ULSI) - An electrochemical perspective. *Electrochimica Acta* 52 (2007). [Text] – pp. 1825– 1838.
3. Shuo– Jen Lee, Yu– Ming Lee, Ming– Feng Du. The polishing mechanism of electrochemical mechanical polishing technology. *Journal of Materials Processing Technology* 140 (2003). [Text] – pp. 280 – 286.
4. Milind Kulkarni, Dedy Ng, Melloy Baker and other. Electropotential – stimulated wear of copper during chemical mechanical planarization. *Wear* 263 (2007). [Text] – pp. 1470 – 1476.
5. Jui– Chin Chen, Wen– Ta Tsai. Chemical – mechanical polishing behavior of tantalum in slurries containing citric acid and alumina. *Surface & Coatings Technology* 185 (2004). [Text] – pp. 50 – 57.
6. Samuel B. Emery, Jennifer L. Hubble, Maria A. Darling and other. Chemical factors for chemical–mechanical and electrochemical– mechanical planarization of silver examined using potentiodynamic and impedance measurements. *Materials Chemistry and Physics* 89 (2005). [Text] – pp. 345 – 353.
7. Alan S. Brown. Flat, Cheap, and Under Control. *IEEE Spectrum*. – January 2005. [Text] – pp. 40 – 45.
8. Taras Zamota, Alexander Kravchenko, Viktor Aulin. Improvement of roughness at running insurfaces of details [Текст] // *Матеріалишеснадесятатанаучно-техніческаконференція «Транспорт, екологія – устійчиворазвитие»*, збірникдоклади, изд.-воТУ-Варна. – 2010. – С.607 – 614.
9. Dick de Roover, Abbas Emami– Naeini, Jon L. Ebert. Model– Based Control for Chemical– Mechanical Planarization (CMP). *AACC* 2004. [Text] – pp. 3922 – 3929.
10. D. Okumu Ouma, Duane S. Boning, James E. Chung and other. Characterization and Modeling of Oxide Chemical – Mechanical Polishing Using Planarization Length and Pattern Density Concepts. *IEEE* 2002. [Text] – pp. 232 – 244.
11. Guanghui Fu, Abhijit Chandra, Sumit Guha, Ghatu Subhash. A Plasticity – Based Model of Material Removal in Chemical– Mechanical Polishing (CMP). *IEEE* 2001. [Text] – pp. 406 – 417.
12. Furuchama S., Sumi T. A dynamic theory of piston-ring lubrication (3-rd report, Measurement of oilfilm

- thickness). Bulletin of ISME – Vol.№4. – №16. [Text] – 1961, p. 744 – 751.
13. Справочное руководство по гальванотехнике [Текст]. Под ред. В.И. Лайнера. Пер. с нем. М., «Металургиздат», 1969. – 415с.
 14. Замота Т.Н. Электрохимические основы процесса макроприработки плоских поверхностей трения при ЭХМП(Д) [Текст] // Проблемы трибології. Міжнародний науковий журнал. – Хмельницький національний університет. – 2011., №4, С. 56...61
 15. Замота Т.Н., Кравченко А.П., Аулин В.В. Улучшение макрогеометрии цилиндрических поверхностей трения при электрохимико-механической доводке [Текст] // Политранспортные системы: материалы VII Всерос. науч.- техн. конф., Красноярск, 25-27 ноября 2010 г. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. – С. 235-240.
 16. Замота Т.Н., Аулин В.В. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения [Текст] // Проблемы трибології. Міжнародний науковий журнал. – Хмельницький національний університет. – 2012., №1. – С. 6-11.

Taras Zamota, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Kirovohrad national technical university, Kirovohrad, Ukraine

Increase of efficiency of running-in of conjugations which are determinating the sevice life of transport vehicles

Application of method of electrochemical - mechanical running-in (ECMR) allows to accelerate of running-in, to correct macrogeometry of details of triboconjugations, to adjust the surfaces of friction. Development of scientific bases of method of ECMR of details with macrogeometrical rejections with possibility of process control is surely the issue of the day.

ECMR of basic connections of details of machines is the high-efficiency process of running-in surfaces, in which except a mechanical action, the process of running-in is accelerated due to electrochemical processes. In the article from positions of substantive provisions of theory of electrochemical processes, theory of wear contactinteraction of the smeared surfaces, hydrodynamic theory of friction, features of electrochemical - mechanical running-in surfaces of details which are ground, analysed conformities to law of running-in of basic conjugations which the resource of machines depends on. Found out possibilities of control process of running-in and conditions of surfaces of details which are ground.

running-in, electrochemical - mechanical running-in, conjugations, resource of machines, transport vehicles

Получено 27.10.15

УДК 621.891

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, О.В. Кузик, доц., канд. техн. наук, В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна, Aulin52@mail.ru

Вплив властивостей компонентів КМ (КП) на напружено-деформований стан і триботехнічні характеристики деталей СГТ

Розглянуто різновиди контактування трибоелементів (ТЕ), зміцнених КМ (КП), які дозволяють істотно змінювати якість фізичного контакту, величину фактичної площі, здатність поверхневого шару (ПШ) ТЕ до еволюції складу і структури в процесі тертя та зношування. Виявлено ефективне гальмування руху дислокацій гетерогенними структурами КМ (КП), як при низьких, так і при високих температурах, а також рекристалізаційні процеси.

Розглянуто напружений стан матеріалу ТЕ з КМ (КП) при терті. Отримано умову пластичної рівноваги компонентів у вигляді системи рівнянь та формула величини напруження при переході від матеріалу наповнювача до матеріалу матриці та визначено характер деформації, яким вони підлягають.

© В.В. Аулін, О.В. Кузик, В.І. Носуленко, 2015