



УДК 621.891:669.018.44

Ивченко Л.И., Цыганов В.В.

Запорожский национальный технический университет. Украина, г. Запорожье

ОСОБЕННОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В КОНТАКТЕ СОПРЯЖЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПОЛИМЕРА И МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Рассмотрена износостойкость трибосопряжений в условиях многокомпонентного динамического нагружения с наличием полимера в зоне контакта. Обоснованы пути изменения воздействия свободных радикалов, образующихся в результате деструкции полимера, на поверхностный слой деталей при трении. Показана возможность управления износостойкостью контактирующих деталей варьированием условиями протекания механохимических реакций в зоне контакта трибосопряжения при наличии свободных макрорадикалов.

Ключевые слова: изнашивание; свободные макрорадикалы; многокомпонентное нагружение; трение; поверхностный слой.

Введение

В настоящее время область применения полимерных материалов быстро расширяется. Это объясняется, в частности, тем, что они обладают уникальными физико-химическими свойствами и рядом эксплуатационных характеристик изделия из полимеров часто являются незаменимыми, в том числе в качестве смазывающих материалов. Однако

в случае работы узла машины или механизма долговечность трибосопряжений зависит от условий их эксплуатации, наличия контакта с полимерными составляющими. В таких системах явления, развивающиеся на границе раздела фаз (полимер – металл), играют определяющую роль во всем комплексе свойств материала трибосопряжения.

Молекулярные процессы, протекающие на поверхности раздела, принадлежат к наименее

изученным и наиболее трудно изучаемым аспектам адгезии. При этом необходимо учитывать явление деструкции полимерного вещества, которое состоит в разрушении макромолекул при внешнем воздействии (под действием механических напряжений, тепла, кислорода, влаги, света и др.) и приводит к изменению свойств полимерного материала.

В частности, эксплуатация с высокими механическими напряжениями, сопровождается большими внутренними напряжениями, которые приводят к разрыву химических связей в макромолекуле. Склонность к разрыву химических связей в основной цепи макромолекулы связана с неравномерностью распределения напряжений по отдельным связям и с образованием «перенапряженных» участков цепей, где истинные нагрузки близки или больше предельной прочности химических связей на разрыв. Перенапряжения возникают вследствие различий в направлении и величине сил внутреннего трения, которые действуют на отдельные сегменты, на участки цепей, где располагаются элементы надмолекулярной структуры полимера, или вблизи физической и химической сетки и др. [1]. Механическая деструкция начинается, когда механические напряжения превышают энергии связей атомов в полимере и у большинства полимеров происходит по свободнорадикальному механизму.

Учитывая, что полимеризация характерна для соединений с кратными связями, число и характер которых в молекуле мономера могут быть различными, то деполимеризация характеризуется разрывами связей полимера с возникновением пары распадающихся радикалов. Соответственно количество макрорадикалов при деструкции полимера зависит от числа молекул, т.е. от их молекулярной массы, которые определяются как химическим составом мономера, так и условиями полимеризации. Разрыв связей приводит к образованию свободных макрорадикалов, способных инициировать различные химические реакции в контакте трибосопряжения, что характеризуется соответствующими механохимическими явлениями в зоне контакта.

Постановка задачи

Процессы, происходящие при механической деструкции, могут оказывать различное действие и приводить к разным эффектам, определяющим износостойкость трибосопряжения. Согласно литературным данным [2] деструктируемые полимеры активизируют разрушение частиц железа аналогично низкомолекулярным поверхностно активным веществам. Однако при определенных условиях насыщения поверхностного слоя активными радикалами в процессе механотермической трибодеструк-

ции смазочных материалов отмечается повышение прочности и износостойкости поверхностного слоя металла [3]. На основании результатов предварительных исследований установлен сложный характер зависимости эксплуатационных свойств нержавеющей стали от совместного действия свободных макрорадикалов полимера, структурного состояния поверхностного слоя металла, химико-физических свойств окружающей среды и условий механического нагружения в трибоконтакте [4].

При этом одним из определяющих факторов выступает характер механического нагружения в трибосопряжении. Многие трибосопряжения работают в условиях многокомпонентного динамического нагружения связанного с вибрациями, действующими в разных направлениях. Кроме того, с увеличением длительности работы трибоузла происходит постепенное изменение условий изнашивания. Меняется динамический режим нагружения (как правило, в сторону повышения динамической составляющей нагрузки за счет увеличения зазоров), характер взаимодействия деталей в узле (износ при фреттинге может переходить в режим износа при ударе с последующим проскальзыванием), контактирование в упругой области сменяется контактированием в упруго-пластической или пластической областях. Пренебрежение сложностью комплексов факторов нагружения приводит к искажению результатов исследования и созданию картины процесса изнашивания мало отвечающей реальному процессу, так как условия нагружения в большей степени определяют состояние поверхностного слоя и износостойкость контактирующих деталей [5].

Причем, согласно литературным данным [6, 7] подобное многокомпонентное нагружение инициирует механохимические явления в зоне контакта трибосопряжения. Механохимические превращения отличаются от других химических реакций, инициированных физическими методами тем, что они могут развиваться при сравнительно невысоком среднем уровне упругой энергии в единице объема вещества. В переменных механических полях эффективность механохимического процесса резко увеличиваться с ростом интенсивности воздействия и имеет наибольшую величину в условиях максимальной концентрации механической энергии на единицу объема вещества в единицу времени. Химические процессы образования радикальных продуктов в условиях варьируемого статического давления имеют пороговый характер в зависимости от интенсивности давления фронта упругой волны. В частности, показана возможность получения моно-, би- и трирадикальных комплексов металлов с пространственно-затрудненными фенолами в механохимических процессах, протекающих при действии импульсов упругих волн [6].

Результаты исследования

Для уточнения степени влияния свободных макро-радикалов на износостойкость трибосопряжений и проведения комплексных исследований износостойкости в условиях приближенных к реальным условиям эксплуатации трибосопряжений были разработаны специальные устройства и методики ускоренных испытаний, которые позволяют реализовать условия различных видов многокомпонентного нагружения при трении [8]. На одной из установок была проведена сравнительная оценка изменения интенсивности изнашивания для образцов стали 40Х в условиях трехкомпонентного нагружения – (удар и проскальзывание в двух взаимно перпендикулярных направлениях). Испытания проводились в режиме полусухого и жидкостного трения с подачей в зону контакта исследуемых образцов ацетона и раствора полиметилметакрилата (ПММА) в ацетоне (1г порошка ПММА на 200 мл ацетона). При этом предварительное растирание полимера до порошкового состояния способствовало дополнительному инициированию механодеструкции и повышенному содержанию свободных макро-радикалов в растворе. Применение ПММА связано с тем, что это единственный из распространенных полимеров, который полностью распадается до мономера. У других полимеров выход мономера варьируется от нуля до значительной доли в общем выходе летучих продуктов.

Условия проведения испытаний: амплитуда поперечных проскальзываний 0,25 мм; продольных проскальзываний 0,15 мм; частота поперечных проскальзываний 30 Гц; частота продольных проскальзываний 66 Гц; нормальная нагрузка 20 Н, время

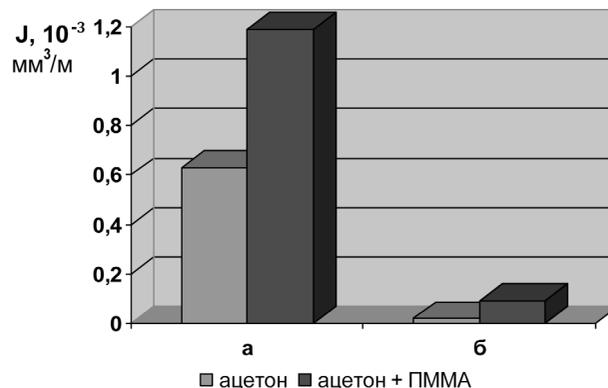


Рис.1. Интенсивность изнашивания образцов с подачей в зону контакта ацетона и раствора ацетона с ПММА: а – полусухое трение; б – жидкостное трение

испытаний 4 часа. Результаты испытаний представлены на рисунке 1.

Как следует из полученных результатов, внедрение в зону контакта ПММА приводит к существенному увеличению интенсивности изнашивания стали. Причем, чем больше подается раствора, а соответственно, и большее количество ПММА попадает в зону контакта, тем в большей степени наблюдается изменение интенсивности изнашивания.

Учитывая, что отмеченная разница в износостойкости поверхности образцов может происходить вследствие изменения величины коэффициента трения, была произведена оценка влияния содержания растворенного ПММА в зоне контакта на силу трения скольжения (движения) и силу трения покоя. При этом использовали модернизированный трибометр мод. ТММ 32А (рис. 2) с возможностью

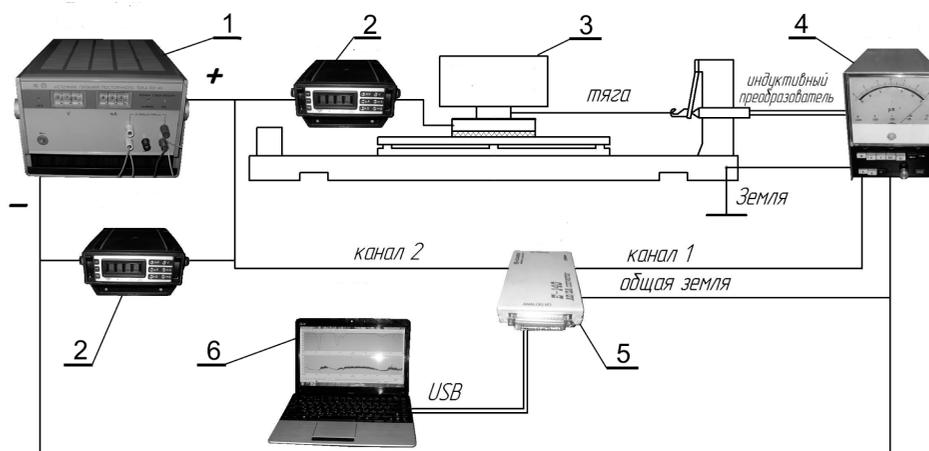


Рис. 2. Общая схема установки для оценки силы трения:
 1 – источник питания постоянного тока мод. Б5-49;
 2 – вольтметр универсальный цифровой мод. В7-35;
 3 – трибометр мод. ТММ 32А;
 4 – прибор показывающий с индуктивными преобразователями мод. 276;
 5 – аналого-цифровой преобразователь мод. Е-140;
 6 – персональный компьютер

определения электросопротивления контакта и выводом показаний на персональный компьютер. Этот прибор предназначен для определения коэффициента трения скольжения между двумя телами при равномерном движении их относительно друг друга.

Сравнительные исследования производили в условиях сталь по стали с применением стандартной методики и кольцевого образца весом 0,39 кг. Наличие ацетона и раствора ацетона с ПММА в зоне контакта образца и плиты осуществлялось путем предварительного обильного смазывания плиты и образца при определении силы трения покоя и обильного смазывания плиты перед движущимся образцом при определении силы трения скольжения. Чтобы не произошло искажения результатов, в связи с интенсивным испарением исследуемых жидкостей, регистрацию силы трения покоя и скольжения производили отдельными экспериментами. Полученное изменение силы трения представлено на рисунке 3.

Таким образом, можно заключить, что отмеченное ранее увеличение интенсивности изнашивания стали при трении в рассматриваемых условиях с наличием в зоне контакта ПММА происходит не в результате адгезионного изнашивания вследствие увеличения силы трения и коэффициента трения, а является следствием воздействия образующихся при деструкции полимера свободных макрорадикалов.

Как известно, с физической точки зрения, поверхность металлов представляет собой атомную плоскость с незавершенной кристаллической решеткой, что приводит к высокой сорбционной активности поверхностного слоя. Модель разрушения поверхности представляется в следующем виде: а) механическая деструкция полимерных цепей, образование макрорадикалов; б) адсорбция макрорадикалов на ювенильной поверхности металла; в) пластифицирование, охрупчивание и разрушение металла. При адсорбции макрорадикалов на ювенильных поверхностях деформированного активного

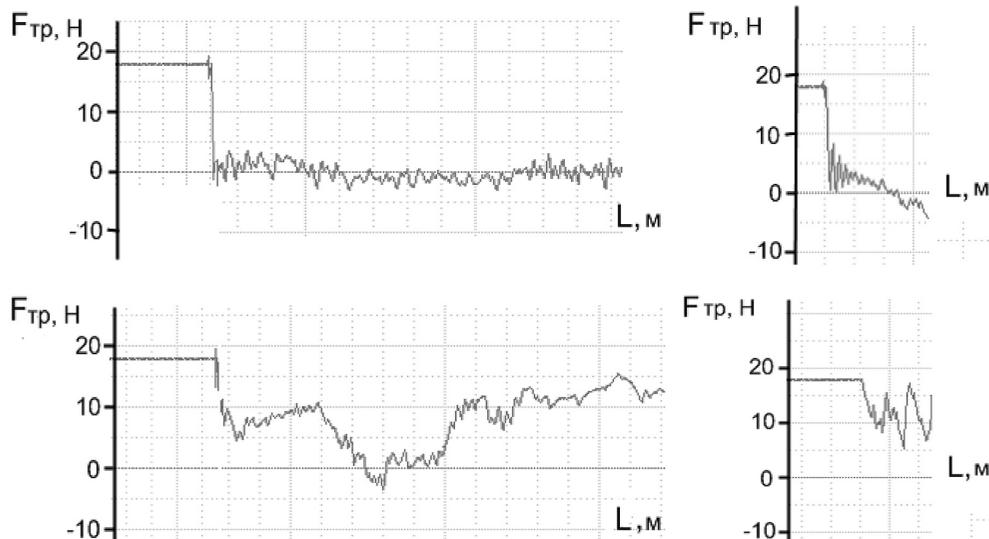


Рис. 3. Изменение силы трения скольжения и покоя:

а – сила трения скольжения с ацетоном; б – сила трения покоя с ацетоном;

в – сила трения скольжения с раствором ацетон + ПММА; г – сила трения покоя с раствором ацетон + ПММА

Анализ трибограмм позволяет констатировать, что введение ПММА в ацетон в рассматриваемых пропорциях сопровождается существенным изменением как силы трения скольжения, так и покоя. При общем снижении почти в два раза сил трения наблюдается увеличенный разброс их значений по длине трассы скольжения. Это указывает на неравномерность физико-химических явлений в зоне контакта при трении с наличием ПММА и может быть результатом неравномерной кинетики механохимических реакций на поверхности стали, источником которых является деструкция полимера.

металла поверхностная энергия металла уменьшается. В связи с этим в поверхностных слоях металла создаются благоприятные условия для пластифицирования – движения, зарождения и взаимодействия дислокаций. Резкое увеличение плотности несовершенств охрупчивает металл [2]. Можно предположить, что миграция радикалов вглубь поверхностного слоя осуществляется за счет собственной избыточной свободной энергии радикалов, ядер дислокаций, границ зерен и протекает самопроизвольно в соответствии с принципом минимума свободной энергии [3].



При этом необходимо учитывать, что трение в условиях многокомпонентного динамического нагружения сопровождается формированием определенного структурного состояния поверхностного слоя контактирующих деталей с прочностными и деформационными свойствами, определяющими его износостойкость. Сложный характер нагружения приводит к напряженному состоянию поверхностных слоев материалов трибосопряжения, что сопровождается повышенным износом. Как показали предварительно проведенные исследования, повышенный износ происходит у деталей с однородным равнопрочным поверхностным слоем. Увеличение поперечных проскальзываний при трении с трехмерным нагружением без подачи СОЖ способствует образованию более однородного поверхностного слоя, снижению его прочности, получению более равномерной микрогеометрии поверхности, которая сопровождается снижением величины и разброса работы выхода электрона по поверхности [5]. Адсорбция свободных макрорадикалов на подобной поверхности должна происходить в большей степени, что сопровождается повышением эффективности их воздействия на износостойкость трибосопряжения. Отмеченное существенное снижение износостойкости является положительным фактором для облегчения приработки поверхностей и снижения сил резания при технологической обработке.

Однако наличие свободных радикалов в зоне контакта трибосопряжения может способствовать повышению его износостойкости. Для этого необходимо создать условия по формированию износостойкого неоднородного структурного состояния поверхностного слоя контактирующей детали с наличием крупных и мелких фрагментов различной прочности. Получение подобного структурного состояния отмечено в процессе абразивной обработки без подачи СОЖ специальным гранулированным шлифовальным материалом, изготовленным на основе ПММА и абразивного зерна [4]. При этом обеспечивается контакт режущего инструмента и обрабатываемого материала с наличием полимера в условиях сложного динамического нагружения. Обработка всухую изменила кинетику механохимических реакций макрорадикалов и процесс разрушения контактирующих поверхностей, но механизм этих изменений требует дополнительно изучения.

Выводы

Таким образом, варьирование условиями протекания механохимических реакций в зоне контакта трибосопряжения при наличии свободных макрорадикалов открывает большие перспективы управления износостойкостью контактирующих деталей. Оптимизация этих условий с учетом динамики нагружения и образующегося структурного состояния поверхностного слоя позволяет расширить технологические возможности обеспечения долговечности трибосопряжений как в процессе изготовления деталей машин и механизмов, так и при их эксплуатации.

Литература

- [1] Максанова Л. А. Полимерные соединения и их применение: Учеб. пособ. /Л. А. Максанова, О. Ж. Аюрова. – Улан-Уде: ВСГТУ, 2005. – 356 с.
- [2] Гороховский Г. А. Полимеры в технологии обработки металлов. – К.: Наукова думка, 1975. – 224 с.
- [3] Ибатуллин И. Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.
- [4] Цыганов В. В. Влияние макрорадикалов на эффективность шлифования лентами из гранулированного абразивного материала // Вісник двигунобудування. – 2012. – №1 – С. 186–191.
- [5] Ивченко, Л. И. Особенности изнашивания трибосопряжений в условиях трехмерного нагружения / Л. И. Ивченко, В.В.Цыганов, И.М.Закиев // Трение и износ. – 2011. – Том 32. – № 1. – С. 500–509.
- [6] Александров, И. А. Процессы образования металлоорганических комплексов при импульсном механическом воздействии: дисс...канд. физ.-мат. наук: 01.04.17. – Москва, 2001. – 118 с.
- [7] Бутягин, П. Ю. Кинетика и природа механохимических реакций // Успехи химии.– 1971. – Т.XL, Вып. 11.– С. 1935–1959.
- [8] Ивченко, Л. И. Моделирование износостойкости трибосопряжений при сложном динамическом нагружении /Л. И. Ивченко, В. В. Цыганов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – №7 – С. 31–36.

Ivschenko L.J., Tsyganov V.V.

Zaporozhye National Technical University. Ukraine, Zaporozhye

**FEATURES OF THE TRIBOLOGICAL PHENOMENA ARE IN CONTACT
OF INTERFACES AT PRESENCE OF POLYMER AND
COMPLEX DYNAMIC LOADING**

The wearproofness of tribojoints is considered in the conditions of complex dynamic lading with a presence in the area of contact of polymer. The ways of change of influence of free radicals, appearing as a result of destruction of polymer are grounded, on the superficial layer of details at a friction. Possibility of management wearproofness of contacting details is rotined varying the terms of flowing of mechanical and chemical reactions in the area of contact of tribojoints at presence of free macroradicals.

Keywords: wear; free macroradicals; complex lading; friction; superficial layer.

References

- [1] Maksanova L. A. Polymeric compound and their application: Studies. man. / L. A. Maksanova, O. Zh. Ayurova. – Ulan-Ude: VSGTU, 2005. – 356 p.
- [2] Gorokhovskiy G. A. Polymers in technology of treatment of metals. – K.: Naukova dumka, 1975. – 224 p.
- [3] Ibatullin I. D. Kinetics of tireless influence and destruction of superficial layers: monograph. – Samara: Samar. St. Techn. Un., 2008. – 387 p.
- [4] Tsyganov V. V. Influence of macroradicals on efficiency of polishing ribbons from granular abrasive material // Announcer of construction of engines. – 2012. – №1 – P. 186–191.
- [5] Ivschenko L. J. Features of wear of tribojoints in the conditions of threedimensional lading /L.J. Ivschenko, V. V. Tsyganov, I. M. Zakiev // Friction and wear. – 2011. V. 32. – № 1. – P. 500–509.
- [6] Aleksandrov I. A. Processy formations of metallical organic complexes at impulsive mechanical influence: dissertation of cand. physics-mathem. sciences : 01.04.17. – Moscow, 2001. – 118 p.
- [7] Butyagin P.Yu. Kinetics and nature of mechanical and chemical reactions // Successes of chemistry. – 1971. – V.XL, Vip. 11.– P. 1935–1959.
- [8] Ivschenko L. J. Imagineering of wearproofness of tribojoints at the complex dynamic lading /L. J. Ivschenko, V. V. Tsyganov // Friction and greasing in machines and mechanisms. – 2011.- №7 – P. 31–36.