

УДК 621.891.22:621.892.28

Смазочное действие олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов в транспортных системах

Г. И. Шульга, Е. В. Скринников

(Южно-Российский государственный технический университет),

Т. Г. Шульга

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Проанализированы существующие представления о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, при граничном режиме трения, который реализуется в трибосопряжениях транспортных систем. Выявлены факторы, влияющие на механизм смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Проведены испытания олигоорганосилоксановых жидкостей, содержащих молекулы различного строения и состава.

Ключевые слова: олигоорганосилоксаны, смазочные свойства, граничный слой, критические нагрузки, противоизносные и антифрикционные свойства, окислительная деструкция.

Введение. Актуальной проблемой для современных транспортных систем является разработка моторных, трансмиссионных, гидравлических масел, пластичных смазочных материалов, охлаждающих, тормозных, амортизаторных жидкостей, обеспечивающих без их замены длительную работу двигателей, механизмов и агрегатов трансмиссий, узлов трения, систем охлаждения, тормозов, амортизаторов в широком интервале низких и высоких температур.

Значительный интерес для решения данных задач представляют олигоорганосилоксановые жидкости [1—4]. Они обладают низкими температурами потери текучести — при $-60 \dots -130 \text{ }^\circ\text{C}$, высокой термостойкостью ($200\text{—}350 \text{ }^\circ\text{C}$), низким давлением насыщенных паров $133\text{...}0,133 \text{ мкПа}$, малой летучестью. Имеют пологую вязкостно-температурную характеристику, обладают значительной сжимаемостью и высоким давлением затвердевания, малым поверхностным натяжением ($18\text{...}26 \text{ мН/м}$), высокой подвижностью, малой зависимостью от скорости сдвига, химической инертностью, слабой горючестью. Олигоорганосилоксановые жидкости используют в качестве смазочных масел, дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, вазелинов и паст, жидких рабочих сред, теплоносителей, разделительных жидкостей, антивспенивателей в различных приборах и механизмах в космической технике, самолётостроении, автомобилестроении, машиностроении, приборостроении.

Широкое применение олигоорганосилоксанов ограничивается их высокой стоимостью, удовлетворительными смазочными свойствами при трении пар цветной металл — сталь, полимер-сталь и низкими смазочными свойствами при трении пары сталь — сталь, чугун — сталь. Несмотря на успехи в области синтеза олигоорганосилоксановых жидкостей различного состава и структуры, подбора присадок механизм смазочного действия данных соединений изучен недостаточно.

Целью настоящей работы является анализ существующих представлений о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, при граничном режиме трения, который реализуется в трибосопряжениях транспортных систем. Выявить факторы, влияющие на механизм смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Провести испытания олигоорганосилоксановых жидкостей, содержащих молекулы различного строения и состава.

Представления о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Эффективность смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей определяется

зависимостью их вязкости от давления, скоростью сдвига в контакте трущихся пар, механическими свойствами металлов [5]. Исследование смазочных свойств олиготрифторпропилметилсилоксана и олигодиметилсилоксана на машине трения показали, что эффективность их смазочного действия определяется реологическими характеристиками, соотношением между этими характеристиками и механическими свойствами металлов трущихся пар. Методом электронографических исследований не было установлено присутствие ориентированных слоёв молекул олигоорганосилоксанов на поверхностях металлов в трибосопряжениях.

Плохие смазочные свойства олигоорганосилоксанов связывают с их неспособностью образовывать на трущихся поверхностях эластогидродинамическую плёнку достаточной толщины и объясняют тем, что последние не образуют ориентированных плотноупакованных слоёв типа «частокола», а склонны располагаться в силу специфических особенностей природы и строения — спиралевидной конфигурации их молекул на поверхности металлов «плашмя». Благодаря высокой поляризуемости связи Si — O — Si теоретически каждая из этих групп может быть центром аттракционного взаимодействия с поверхностью твёрдой фазы, что обуславливает горизонтальную ориентацию этих молекул при адсорбции [7].

При движении от поверхности подложки вглубь жидкости ослабевает влияние силового поля твёрдой фазы и происходит разрушение полимолекулярного граничного слоя. Ориентация молекул меняется, что приводит к увеличению вязкости, которое наблюдалось при толщине слоя свыше 2...3 нм. Выше 15...20 нм вязкость падает вследствие свёртывания молекул в клубки и далее остаётся постоянной в исследуемых пределах толщин, соответствуя таковой в объёме жидкости. Влияние силового поля твёрдой фазы не ограничивается мономолекулярным слоем, а распространяется вглубь жидкости, меняя её структуру и свойства.

На поверхностях трения при смазывании олигодиметилсилоксановыми жидкостями были обнаружены [8] поперечно-сшитые плёнки, образование которых объяснено окислительным отщеплением боковой алкильной цепи, а смазочная способность — частично наличием эластогидродинамики, частично образованием полимерной лаковой плёнки.

По мнению других авторов, между металлом трущейся пары могут существовать плёнки двух типов: одни образуются благодаря отщеплению боковых радикалов олигодиметилорганосилоксанов и поперечному сшиванию, другие — взаимодействием силоксановой связи с металлической поверхностью.

В олигоорганосилоксанах введение хлора в фенильную группу (XC-2-1, XC-189, XC-191, XC-193, XC-196) [10]: улучшает их смазочные свойства и уменьшает горючесть; при введении атомов фтора в γ -положении к атому кремния повышаются термостойкость и полярность молекул; при введении тиенильной ($-C_4H_3S$)-группы повышается смазочная способность при сохранении термо- и морозостойкости.

Полагают [3, 4, 9, 10], что атомы хлора в фенильной группе олигохлорсилоксана активируются в горячих точках трибосопряжения при трении пары металл — металл. Атомы хлора с металлом образуют тонкую плёнку хлорида металла на поверхности, что способствует снижению сил трения и предотвращает заедания. Лучшими смазочными свойствами олигоорганосилоксаны обладают при общем содержании хлора 8—16 % (масс.), что соответствует четырём монохлорфенильным или двум дихлорфенильным радикалам.

Улучшенными смазочными свойствами обладают олигометил- γ -трифторпропилсилоксаны (ФС-Т-5, ФС-61, ФС-107, ФС-169, ФС-328) [3, 4, 11]. Линейные олигометил- γ -трифторпропилсилоксаны имеют худшие смазочные свойства по сравнению с разветвлёнными олигодиметил (метил- γ -трифторпропил) силоксанами. При одинаковой молекулярной массе и содержании фтора плотность упаковки молекул с объёмными радикалами на концах цепи существенно меньше, чем в

олигомерах с γ -трифторпропильными радикалами в средних звеньях цепи, и проявляются лучшие смазочные свойства.

Введение атомов фтора в обрамляющие радикалы улучшает смазочные свойства олигоорганосилоксанов вследствие увеличения полярности их молекул и адсорбционного пластифицирования трущихся поверхностей. Возможно также дегалогенирование боковых радикалов олигоорганосилоксанов и образование фторидов металлов.

У олигометил- γ -трифторпропилдихлорфенилсилоксанов, содержащих одновременно атомы хлора и фтора в молекулах при трении пары сталь-сталь, был обнаружен синергизм их смазочного действия [4]. Смешанные олигомеры, содержащие в составе молекул одновременно хлорфенильные и метил- γ -трифторпропильные радикалы, обладают улучшенными смазочными свойствами.

Повышенную смазочную способность имеют олигоорганосилоксаны [3, 4], содержащие алкокси-группы ($-\text{OC}_n\text{H}_m$) с числом углеродных атомов выше 5–6. Реакционная способность связи $>\text{Si}-\text{O}-\text{C}<$ олигомера в значительной степени зависит от природы заместителей у атома кремния. Термическая стабильность олигоорганосилоксанов зависит от природы заместителей у атомов кремния и алкокси-группы, а смазочные свойства зависят от наличия алкокси-группы.

Олигометил- и олигофенилфторалкоксисилоксаны обладают малой зависимостью плотности от температуры, низкими значениями коэффициента объёмного расширения. Наличие атомов фтора в алкокси-группах ещё более повышает полярность связи $>\text{Si}-\text{O}-\text{C}<$, стабильность к гидролитическому расщеплению, улучшает их смазочные свойства. Улучшенными смазочными свойствами обладают олигофенилфторалкоксисилоксаны, что объясняется синергетическим влиянием присутствия в молекулах олигомера атомов серы и фтора.

На долговечность трибосопряжений, смазанных олигоорганосилоксановыми жидкостями, существенную роль играет формирование граничных смазочных слоёв на металлической поверхности. В реальных условиях поверхность металла представляет собой сложную систему оксидов, адсорбированных слоёв газов и воды, на которых, в свою очередь, адсорбируются слои полярных и неполярных молекул смазочных материалов [12].

В плоскости действия твёрдой фазы, по-видимому, происходит резкое нарушение конформационного равновесия в сторону разворачивания молекулярных клубков и последующая ориентация развёрнутых цепей в плоскости подложки. Благодаря высокой поляризуемости связи $\text{Si}-\text{O}$ каждая из этих групп может быть центром актракционного взаимодействия с поверхностью твёрдой фазы, что обуславливает горизонтальную ориентацию этих молекул при адсорбции.

На смазочные свойства олигоорганосилоксанов оказывает влияние плотность упаковки молекул в граничных смазочных слоях. Молекулы олигоорганосилоксанов благодаря вращению боковых радикалов вокруг связи $\text{Si}-\text{O}$, по-видимому, не смогут сближаться на близкое расстояние, что приводит к образованию рыхлой упаковки молекул. Величина радикала также будет влиять на образование плотноупакованных граничных слоёв. При большой величине объёмного радикала разворачивание в поле твёрдой поверхности будет затруднено, что также ухудшит образование плотноупакованных смазочных слоёв и приведёт к потере гибкости молекул.

Горизонтальная ориентация молекул олигоорганосилоксанов, свобода вращения вокруг связи $\text{Si}-\text{O}$ и $\text{Si}-\text{C}$, лабильность углов между атомами кремния и кислородом и, как следствие, невозможность образования плотноупакованных граничных смазочных слое являются причиной того, что олигоорганосилоксаны не могут образовывать граничные смазочные слои высокой несущей способности. При действии осевых нагрузок и скоростей при трении происходит пенетрация микронеровностями контактирующих поверхностей граничных смазочных слоёв и образование

металлического контакта. Контактное взаимодействие поверхностей, по-видимому, определяет физико-химические процессы, происходящие в сопряжениях при смазывании олигоорганосилоксанами.

Выдвинуто предположение о механоокислительной деструкции, объясняющее механизм смазочного действия олигоорганосилоксанов [13, 15]. Согласно данному предположению, низкие смазочные свойства объясняются невозможностью образовывать плотноупакованные слои высокой нагрузочной способности. При трении контактирующих поверхностей, в результате развивающихся процессов схватывания, в олигоорганосилоксанах накапливаются мелкодисперсные продукты износа, вызывающие нарушение сплошности граничного слоя и способствующие ещё более интенсивному контактированию трущихся поверхностей. Непрерывно накапливающиеся продукты при действии на них нагрузок вызывают механическую деструкцию молекул олигоорганосилоксанов. Окислительная деструкция происходит под действием температур, возникающих при трении и действующих извне. Продукты схватывания контактирующих поверхностей и механоокислительной деструкции могут действовать как абразив, вызывая износ трущихся поверхностей.

Материалы и методики исследований. Проводили сравнительные испытания олигоорганосилоксановых жидкостей: олигоэтилсилоксановой — 132-25, олигодиметилсилоксановой — ПМС-200, олигометилфенилсилоксановой — ПФМС-4, содержащих в своём составе соответственно этильные, метильные, метилфенильные радикалы, а также гетероатомы фтора в алифатическом радикале — ФС-328/300, гетероатомы хлора в ароматическом радикале — ХС-2-1ВВ; гетероатомы серы в тиенильном радикале — ПМТС-2/250ВВ.

Испытания олигоорганосилоксанов проводили по методике комплексной сравнительной оценки смазочной способности масел на четырёхшариковой машине трения при одинаковых нагрузках [14]. Опыты проводили с использованием шаров диаметром 12,7 мм из стали ШХ15 НРС 60-62, при скорости вращения шпинделя 1000 мин^{-1} ($V = 0,41 \text{ м/с}$). Оценку смазочных свойств олигоорганосилоксанов: несущей способности — критической нагрузки заедания P_k , противозадирных свойств при $P \geq P_k$, нагрузки начала сваривания шаров P_c проводили, испытывая их в течение 1 мин. при нанесении плёнки смазочного материала на поверхности испытываемых шаров, устанавливаемых в зажимном устройстве четырёхшариковой машины трения. Испытания проводили при температуре 15—24 °С и последовательном увеличении осевой нагрузки на 200 Н, начиная с 200 Н. В области критических нагрузок осевую нагрузку увеличивали или уменьшали на 200—100 Н. Противозадирные, антифрикционные свойства олигоорганосилоксанов, а также температуру оценивали в объёме данных жидкостей при испытании в течение 1 часа при одинаковых осевых нагрузках.

Исследование продуктов износа проводили на электронном микроскопе УЭМВ-100К. Готовили бесструктурные плёнки 1—5 %-го коллодия в амилацетате. Необходимую толщину плёнок получали путём нанесения капли раствора на водную поверхность. Приготовленные плёнки наносили на объектные сетки и просушивали на воздухе. Для исследования продуктов износа их наносили из раствора толуола на приготовленные плёнки. Продукты износа изучали на просвет и в режиме микродифракции.

Для исследования изменений, происходящих с олигоорганосилоксанами в процессе испытаний, сравнивали ИК-спектры эталона (неиспытанных) и испытанных олигоорганосилоксановых жидкостей при осевых нагрузках меньше равных и более P_k . Исследования изменений в структуре олигоорганосилоксанов проводили на двухлучевом ИК-спектрометре UR-20. Съёмку ИК-спектров проводили с жидкостей, приготовленных в виде 5 %-го раствора в четырёххлористом углероде с компенсирующей кюветой, содержащий чистый растворитель.

Результаты испытаний и их обсуждение. Несущая способность и противозадирные свойства олигометил — 132-25; олигодиметил — ПМС-200; олигометилфенил — ПФМС-4 силоксанов; олигометилфтор — ФС-328/300; олигохлорфенил — ХС-2-1ВВ; олигометилтиенил — ПМТС-2/250 ВВ

силоксанов при ступенчатом увеличении осевой нагрузки приведены на рис. 1, а, б. Критические нагрузки заедания P_K для жидкостей соответственно равны 132-25 — 320 Н, ПМС-200 — 290 Н, ПФМС-4 — 80 Н, ФС-328/300 — 490 Н, ХС-2-1ВВ — 330 Н ПМТС-2/250 ВВ — 280 Н. Различие в критических нагрузках при испытании олигоорганосилоксанов объясняются различной структурой радикалов, обрамляющих силоксановую цепь. По степени ухудшения смазочных свойств олигоорганосилоксановые жидкости располагаются в следующей последовательности: содержащие этильные (132-25), метильные (ПМС-200), фенильные (ПФМС-4) радикалы (рис. 1, а, кривые 1, 2, 3). Введение гетероатомов фтора в алифатический радикал на концах силоксановой цепи — ФС-328/300 (рис. 1, б, кривая 1) увеличивало несущую способность по сравнению с олигоэтил- (320 Н), олигометил- (290 Н) силоксановыми жидкостями до 490 Н. Введение гетероатомов хлора в фенильный радикал — ХС-2-1ВВ (рис. 1, б, кривая 2) улучшало несущую способность и противозадирные свойства олигоорганосилоксана по сравнению с ПФМС-4, не содержащего гетероатомов хлора, с 80 Н до 330 Н. Олигоорганосилоксан ПМТС-2/250 ВВ с гетероатомами серы в тиенильном радикале (рис. 1, б, кривая 3) имеет наибольшую несущую способность — 900 Н.

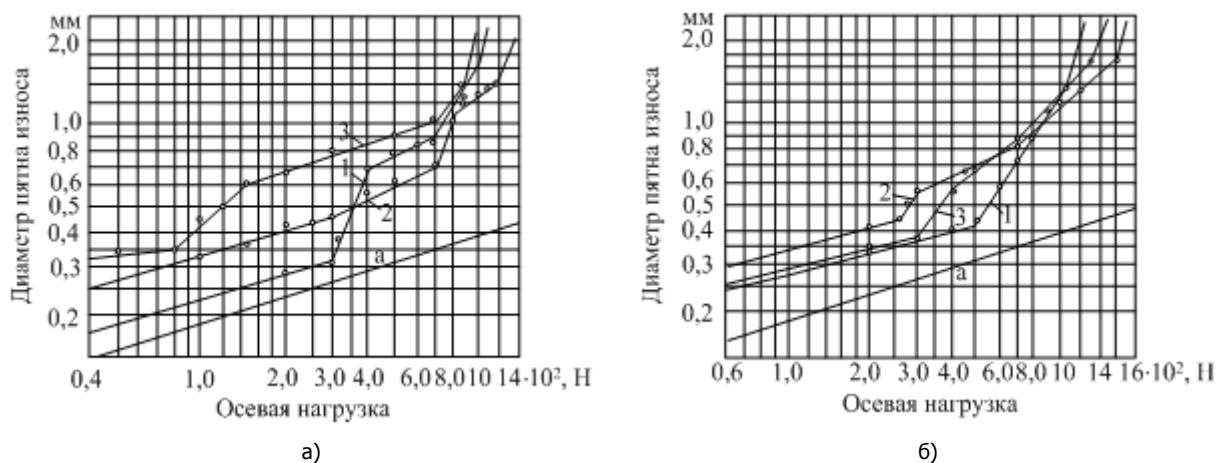


Рис. 1. Несущая способность и противозадирные свойства: а: 1 — олигометил — 132-25; 2 — олигодиметил — ПМС-200; 3 — олигометилфенил — ПФМС-4 силоксанов; б: 1 — олигометилфтор — ФС-328/300; 2 — олигохлорфенил-ХС-2-1ВВ; 3 — олигометилтиенил — ПМТС-2/250 ВВ силоксанов; а — линия упругой деформации по Герцу

Содержащие этильные (132-25), метильные (ПМС-200), фенильные (ПФМС-4) радикалы — рис. 1, а, кривые 1, 2, 3. Введение гетероатомов фтора в алифатический радикал на концах силоксановой цепи — ФС-328/300 (рис. 1, б, кривая 1) увеличивало несущую способность по сравнению с олигоэтил- (320 Н), олигометил- (290 Н) силоксановыми жидкостями до 490 Н. Введение гетероатомов хлора в фенильный радикал — ХС-2-1ВВ (рис. 1, б, кривая 2) улучшало несущую способность и противозадирные свойства олигоорганосилоксана по сравнению с ПФМС-4, не содержащего гетероатомов хлора, с 80 Н до 330 Н. Олигоорганосилоксан ПМТС-2/250 ВВ с гетероатомами серы в тиенильном радикале (рис. 1, б, кривая 3) имеет наибольшую несущую способность — 900 Н.

Нагрузки начала сваривания шаров у ФС-328/300, ХС-2-1ВВ и ПМТС-2/250 ВВ составляли соответственно 1100 Н, 1300 Н, 1500 Н. В то время как у 132-25, ПМС-200, ПФМС-4 эти нагрузки составляли — 1000 Н, 1200 Н, 850 Н. Из табл.1 следует, что при сравнительных испытаниях в течение 1 часа при осевых нагрузках 150 Н и 300Н наилучшими противозадирными свойствами обладали олигоорганосилоксановые жидкости ПМС-200, ФС-328/300, ХС-2-1ВВ, ПМТС-2/250 ВВ.

Улучшение несущей способности, противозадирных, противозадирных и антифрикционных свойств ПМС-200 объясняется возможностью образования поперечно-сшитой плёнки, при окислительным отщеплением боковой алкильной цепи; ФС-328/300, ХС-2-1ВВ, ПМТС-2/250 — образова-

нием электронно-донорно-акцепторных комплексов (ЭДА) и, соответственно, фторидов, хлоридов железа, бистиенил железа.

Таблица 1

Противоизносные свойства олигоорганосилоксанов при одинаковых нагрузках

Смазочный материал	Условия смазывания	Осевая нагрузка					
		150 Н			300 Н		
		Диаметр пятна износа, мм	Коэффициент трения	Температура жидкости в ванне при установленном режиме, °С	Диаметр пятна износа, мм	Коэффициент трения	Температура жидкости в ванне при установленном режиме, °С
132-35	В жидкости	0,72	0,07-0,25	36	1,37	0,04-0,31	62
ПМС-200	-«-	0,61	0,18-0,11	38	0,76	0,12-0,16	65
ПФМС-4 ¹	-«-	0,94	0,05-0,21	34	3,06	0,12-0,45	47
ХС-2-1ВВ	-«-	0,57	0,21-0,11	39	1,05	0,20-0,10	63
ФС-328/300	-«-	0,91	0,06-0,10	43	1,28	0,09-0,20	70
ПМТС-2/250ВВ	-«-	0,62	0,11-0,06	36	0,72	0,16-0,05	46

Общим недостатком всех испытуемых жидкостей является образование при осевых нагрузках меньших и больших критической P_k при длительных испытаниях продуктов старения. Для исследования изменений, происходящих с молекулами олигоорганосилоксанов, сравнивали ИК-спектры эталона (неиспытанных) и испытанных при осевых нагрузках меньших, равных и больших критической нагрузки. Результаты исследований приведены на рис. 2.

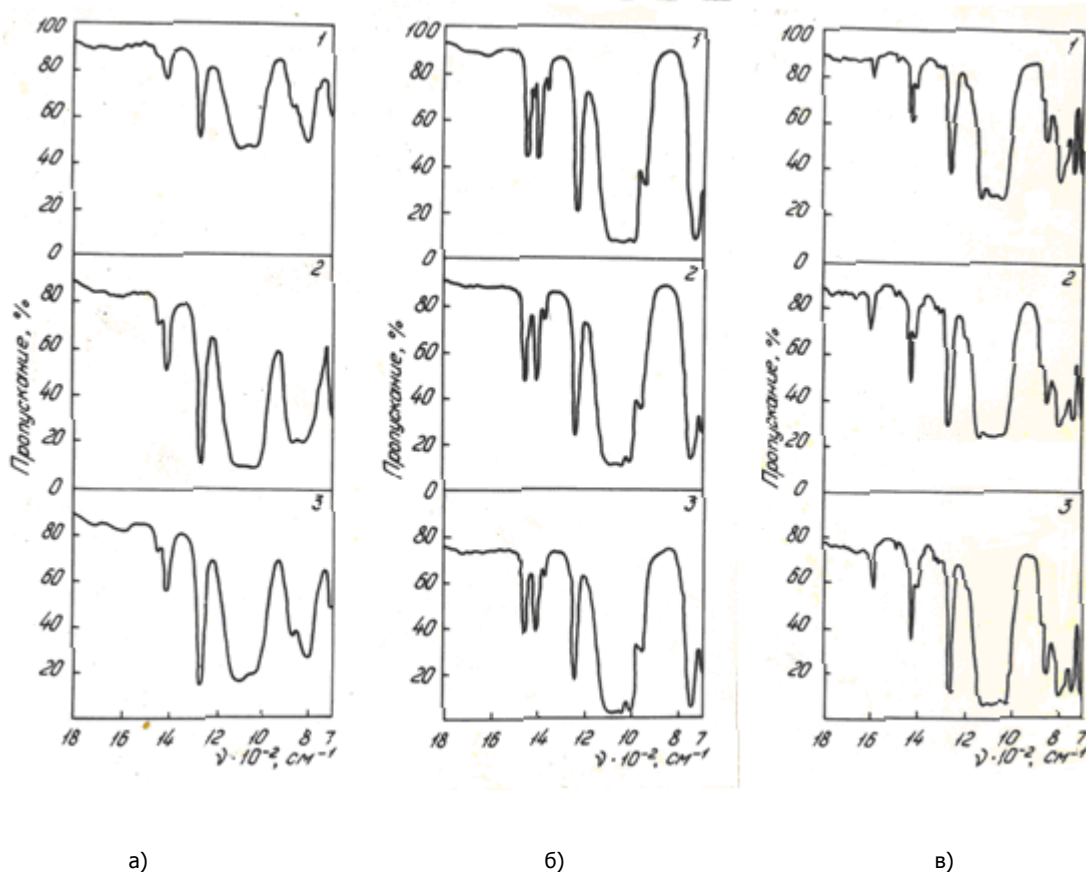


Рис. 2. ИК-спектры после испытания при различных осевых нагрузках: а — олигоэтилсилоксановой жидкости 132-35: 1 — эталон; 2 — $P = 150$ Н; 3 — $P = 300$ Н; б — олигодиметилсилоксановой жидкости ПМС-200: 1 — эталон; 2 — $P = 300$ Н; 3 — $P = 500$ Н; в — олигометилфенилсилоксановой жидкости ПФМС-4: 1 — эталон; 2 — $P = 80$ Н; 3 — $P = 200$ Н

¹ Противоизносные свойства ПФМС-4 определяли при осевых нагрузках 100 Н и 200 Н.

Расшифровка ИК-спектров олигоэтилсилоксановой жидкости 135-25 эталона (неиспытанной) и отработанной, испытанной при осевых нагрузках 150 Н, 300 Н, показала, что ИК-спектры после испытаний имели ту же качественную картину, что указывает на отсутствие изменений в молекулах жидкости. При исследовании олигодиметилсилоксановой жидкости ПМС-200 при осевых нагрузках 300 Н и 500 Н происходило некоторое увеличение интенсивности поглощения полосы 1265 см^{-1} по отношению к полосе $1010\text{—}1130\text{ см}^{-1}$. Аналогичное увеличение интенсивности поглощения наблюдалось при испытании жидкости ПФМС-4 при осевых нагрузках $P = 80\text{ Н}$; $P = 200\text{ Н}$, где обнаружено увеличение интенсивности поглощения полос в области 1265 см^{-1} , 1430 см^{-1} по отношению к области $1030\text{—}1130\text{ см}^{-1}$.

Увеличение интенсивности поглощения полос, соответствующих связи Si–C, по отношению к связи Si–O, можно объяснить разрывом связи Si–O. Однако прирост интенсивности поглощения полос соответствующей связи Si–C относительно Si–O невелик. Это указывает на то, что количество молекул с разорванными связями невелико и в механизме смазочного действия олигоорганосилоксанов продукты их деструкции, по-видимому, играют второстепенную роль.

Методом ИК-спектроскопии не был установлен разрыв связи Si–C. Разрыв последней был установлен наличием в испытанных жидкостях альдегидов, образующихся при атаке кислорода окружающей среды на боковые радикалы. В отработанную жидкость 132-25, растворённую в этиловом спирте и подкислённую соляной кислотой, вводился 2,4-динитрофенилгидрозон уксусного альдегида. При температуре плавления кристаллического вещества, отделённого от жидкой фазы, равной $144\text{—}145\text{ °C}$, образовался 2,4-динитрофенилгидрозон уксусного альдегида. Проведённые исследования показали, что олигоорганосилоксаны в процессе граничного трения претерпевают механоокислительную деструкцию, которая протекает с разрывом связи Si–O и Si–C [13].

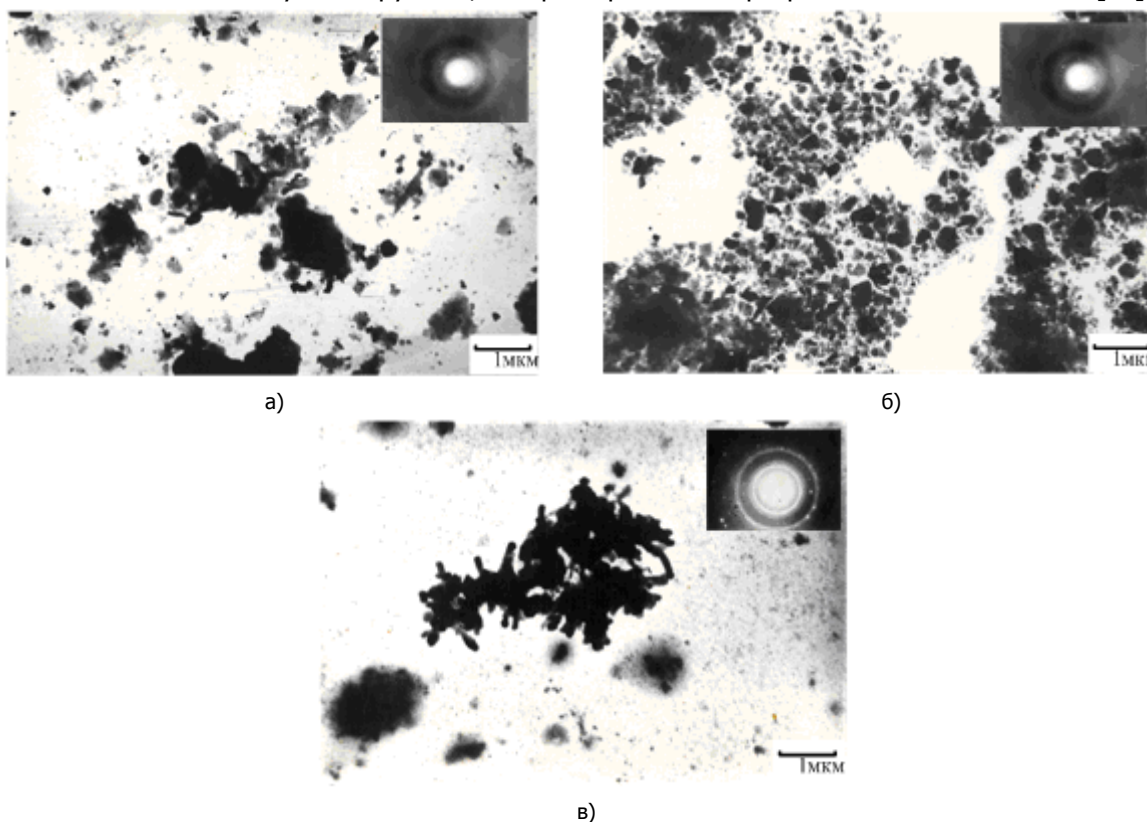


Рис. 3. Электронные микрофотографии и электронограммы продуктов износа после испытаний: а — олигоорганозтилсилоксановой жидкости 132-25 при осевой нагрузке $P = 300\text{ Н}$; б — олигодиметилсилоксановой жидкости ПМС-200 при осевой нагрузке $P = 500\text{ Н}$; в — олигодиметилфенилсилоксановой жидкости при осевой нагрузке $P = 200\text{ Н}$

На электронном микроскопе УЭМВ-100К исследовали продукты износа олигоорганосилоксановых жидкостей 132-25, ПМС-200, ПФМС-4.

На рис. 3, а, б в приведены микрофотографии и электронограммы продуктов износа, образующихся в жидкостях, которые представляли собой мелкодисперсные частицы. Об этом свидетельствуют размытые кольца электронограмм продуктов износа, образующихся в жидкостях 132-25, ПМС-200, ПФМС-4 (рис. 3, а, б), что вызвано ультрадисперсной нерегулярной структурой, сходной с аморфным состоянием с размерами кристаллов менее 10 нм.

При испытании ПФМС-4 при осевой нагрузке 200 Н продукты износа представляли собой агрегатированные частицы, отдельные из которых имели вид лепестков (рис. 3, в). При расшифровке электронограмм продуктов износа установлено, что они содержат α -Fe, γ -Fe. Наличие α -Fe в продуктах изнашивания указывает на возможность при трении пары сталь-сталь выделения тепла, достаточного для нагрева локальных объёмов металла выше критической точки $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения, а также на возможность протекания окислительных процессов в олигоорганосилоксановых жидкостях.

Заключение. На основании анализа механизма смазочного действия, выявленного в результате изучения литературных данных и проведённых исследований, можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на смазочные свойства олигоорганосилоксановых жидкостей, являются: их реологические свойства; способность образовывать граничные смазочные слои и плёнки на трущихся поверхностях; материалы трибосопряжений и оксидные плёнки на контактирующих поверхностях; дисперсность продуктов изнашивания; механическая деструкция радикалов и молекулярных цепей; термоокислительная стабильность, способность адсорбционного пластифицирования поверхностей трибосопряжений; состав газовой среды; длина и структура радикалов в середине и на концах силоксановых молекул; гибкость силоксановых цепей; плотность упаковки и полярность силоксановых цепей с обрамляющими радикалами; прививка силоксановых цепей на трущихся поверхностях; сшивка силоксановых цепей.

Для повышения смазочных свойств олигоорганосилоксановых жидкостей необходимо вводить добавки, повышающие нагрузочные и смазочные свойства их граничных слоёв и предотвращающие непосредственное контактирование трущихся поверхностей трибосопряжений.

Библиографический список

1. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение / М. В. Соболевский и др.; под ред. М. В. Соболевского. — Москва: Химия, 1985. — 264 с.
2. Моцарев, Г. В. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны / Г. В. Моцарев, М. В. Соболевский, В. Г. Розенберг. — Москва: Химия, 1990. — 240 с.
3. Шульга, Г. И. Пластичные смазочные материалы на основе компаундированных дисперсионных сред / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников, Н. С. Арсеньева // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2 нояб. 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. — С. 29—31.
4. Шульга, Г. И. Триботехнические свойства компаундированной полиэтилоорганосилоксановой жидкости с минеральными маслами / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников, Н. С. Арсеньева // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2 нояб. 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. — С. 31—33.
5. Tabor, D. Silicone fluids: their action as boundary lubricants / D. Tabor, W. O. Winer // ASLE Trans., 1965. — V. 8. — № 1. — P. 69—77.
6. Archard, J. F. Film Thicknesses for a Range of Lubricants under Severe Stress / J. F. Archard, M. T. Kirk // J. Mech. Eng. Sci. (London), 1964. — № 6. — P. 101.

7. Граничная вязкость некоторых полидиметилсилоксанов / Б. В. Дерягин [и др.] // Доклады Академии наук СССР. — 1969. — Т. 187, № 4. — С. 846—849.
8. Tabor, D. The formation of silicone polymer films on metal surfaces at high temperatures and their boundary lubricating properties / D. Tabor, R. F. Willis // Wear. — 1969. — V. 13, № 3. — P. 413—442.
9. Дукаревич, М. В. Исследование смазочной способности полиорганосилоксановых жидкостей в зависимости от их состава и структуры / М. В. Дукаревич, И. И. Усс, Г. И. Фукс // Часы и часовые механизмы. Труды НИИЧАСПРОМА. — Москва, 1971. — Вып. 4. — С. 169—172.
10. Смазывающие свойства полиметилхлорфенилсилоксанов / Т. В. Королёва [и др.] // Пластические массы. — 1967. — С. 22—25.
11. Усс, И. И. Влияние состава фторированных полисилоксановых жидкостей на их смазочное действие при граничном режиме трения / И. И. Усс, М. В. Юсупова // Особенности конструирования и производства приборов времени. Труды НИИЧАСПРОМА. — Москва, 1973. — Вып. 12. — С. 152—155.
12. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. — Москва: Физматгиз, 1963. — 472 с.
13. Шульга, Г. И. Смазочное действие олигоорганосилоксановых жидкостей / Г. И. Шульга // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 1997. — № 4. — С. 38—45.
14. Шульга, Г. И. Методика комплексной сравнительной оценки смазочной способности масел на четырёхшариковой машине трения при одинаковых нагрузках / Г. И. Шульга // Трение, износ и смазка. Т. 295. — Новочеркасск: НПИ, 1974. — С. 82—86.
15. Кутьков, А. А. Исследование механизма смазочного действия полиорганосилоксанов при трении пары сталь — сталь / А. А. Кутьков, Г. И. Шульга, Н. М. Мамаев // Теория трения, износа и смазки: мат-лы Всесоюз. науч. конф. — Ташкент, 1976. — С. 49—50.

Материал поступил в редакцию 27.01.2012.

References

1. Oligoorganosiloksany`. Svojstva, poluchenie, primenenie / M. V. Sobolevskij i dr.; pod red. M. V. Sobolevskogo. — Moskva: Ximiya, 1985. — 264 s. — In Russian.
2. Moczarev, G. V. Karbofunkcional`ny`e organosilany` i organosiloksany` / G. V. Moczarev, M. V. Sobolevskij, V. G. Rozenberg. — Moskva: Ximiya, 1990. — 240 s. — In Russian.
3. Shul`ga, G. I. Plastichny`e smazochny`e materialy` na osnove kompaundirovanny`x dispersionny`x sred / G. I. Shul`ga, E. V. Skrinnikov, N. S. Arsen`eva // Problemy` sinergetiki v tribologii, triboe`lektroximii, materialovedenii i mexatronike: mat-ly` VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novoчерkassk, 2 noyab. 2007 g. / Yuzh.-Ros. gos. texn. un-t. — Novoчерkassk: YuRGU (NPI), 2007. — S. 29—31. — In Russian.
4. Shul`ga, G. I. Tribotexnicheskie svojstva kompaundirovannoj polie`tilorganosiloksanovoj zhidkosti s mineral`ny`mi maslami / G. I. Shul`ga, E. V. Skrinnikov, N. S. Arsen`eva // Problemy` sinergetiki v tribologii, triboe`lektroximii, materialovedenii i mexatronike: mat-ly` VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novoчерkassk, 2 noyab. 2007 g. / Yuzh.-Ros. gos. texn. un-t. — Novoчерkassk: YuRGU (NPI), 2007. — S. 31—33. — In Russian.
5. Tabor, D. Silicone fluids: their action as boundary lubricants / D. Tabor, W. O. Winer // ASLE Trans., 1965. — V. 8. — № 1. — P. 69—77.
6. Archard, J. F. Film Thicknesses for a Range of Lubricants under Severe Stress / J. F. Archard, M. T. Kirk // J. Mech. Eng. Sci. (London), 1964. — № 6. — P. 101.

7. Granichnaya vyazkost` nekotory`x polidimetilsiloksanov / B. V. Deryagin [i dr.] // Doklady` Akademii nauk SSSR. — 1969. — T. 187, № 4. — S. 846—849. — In Russian.

8. Tabor, D. The formation of silicone polymer films on metal surfaces at high temperatures and their boundary lubricating properties / D. Tabor, R. F. Willis // Wear. — 1969. — V. 13, № 3. — P. 413—442.

9. Dukarevich, M. V. Issledovanie smazochnoj sposobnosti poliorganosiloksanovy`x zhidkostej v zavisimosti ot ix sostava i struktury` / M. V. Dukarevich, I. I. Uss, G. I. Fuks // Chasy` i chasovy`e mexanizmy`. Trudy` NIICHASPROMA. — Moskva, 1971. — Vy`p. 4. — S. 169—172. — In Russian.

10. Smazy` vayushhie svoystva polimetilxlorfenilsiloksanov / T. V. Korolyova [i dr.] // Plasticheskie massy`. — 1967. — S. 22—25. — In Russian.

11. Uss, I. I. Vliyanie sostava ftorirovanny`x polisiloksanovy`x zhidkostej na ix smazochnoe dejstvie pri granichnom rezhime treniya / I. I. Uss, M. V. Yusupova // Osobennosti konstruirovaniya i proizvodstva priborov vremeni. Trudy` NIICHASPROMA. — Moskva, 1973. — Vy`p. 12. — S. 152—155. — In Russian.

12. Axmatov, A. S. Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya / A. S. Axmatov. — Moskva: Fizmatgiz, 1963. — 472 s. — In Russian.

13. Shul`ga, G. I. Smazochnoe dejstvie oligoorganosiloksanovy`x zhidkostej / G. I. Shul`ga // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 1997. — № 4. — S. 38—45. — In Russian.

14. Shul`ga, G. I. Metodika kompleksnoj sravnitel`noj ocenki smazochnoj sposobnosti masel na chety`ryoxsharikovoj mashine treniya pri odinakovy`x nagruzkax / G. I. Shul`ga // Trenie, iznos i smazka. T. 295. — Novocherkassk: NPI, 1974. — S. 82—86. — In Russian.

15. Kut`kov, A. A. Issledovanie mexanizma smazochnogo dejstviya poliorganosiloksanov pri trenii pary` stal` — stal` / A. A. Kut`kov, G. I. Shul`ga, N. M. Mamaev // Teoriya treniya, iznosa i smazki: mat-ly` Vsesoyuz. nauch. konf. — Tashkent, 1976. — S. 49—50. — In Russian.

OLIGOORGANOSILOXANE FLUID LUBRICITY USED AS GREASE DISPERSION MEDIA IN TRANSPORT SYSTEMS

G. I. Shulga, E. V. Skrinnikov

(South-Russian State Technical University),

T. G. Shulga

(Rostov State Transport University)

The actual understanding of the oligoorganosiloxane fluids lubricity mechanism used as dispersion media of the lubricating grease under the boundary regime implemented in the transport system tribocouplings is analyzed. The oligoorganosiloxane fluids lubricity mechanism factors are revealed. The oligoorganosiloxane fluids containing molecules of different structures and composition are tested.

Keywords: *oligoorganosiloxane, lubricity, boundary layer, critical loads, antiwear and antifricition properties, oxidative destruction.*