

Киевский международный университет гражданской авиации

На правах рукописи

ГУЗЕНКО КРИЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.891

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ НА СМАЗОЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ
САМОГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЛЕНОК, ОБРАЗОВАННЫХ
ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ УГЛЕВОДОДАМИ В УСЛОВИЯХ
ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ СО СКОЛЬЖЕНИЕМ

Специальность: 05.02.04 - Трение и износ в машинах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

К и е в 1994



116 30.499

Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Киевском международном университете гражданской авиации и Киевском политехническом институте

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Райко Мстислав ВладимировичНаучный консультант - кандидат технических наук, доцент
Лабунец Василий ФедоровичОфициальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Носовский Игорь Георгиевичкандидат технических наук, доцент
Анпилогов Владимир НиколаевичВедущая организация - Научно-производственное объединение
"БОЛЬШЕВИК", г. КиевЗащита диссертации состоится " 1 " июля 1994 г.
в 15 часов на заседании специализированного ученого совета
К 072.04.03 по присуждению ученой степени кандидата технических наук при Киевском международном университете гражданской авиации по адресу: 252058, г. Киев, проспект Космонавта Комарова, 1, КМУГА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского международного университета гражданской авиации.

Автореферат разослан " 1 " июня 1994 г.Ученый секретарь
специализированного ученого совета
кандидат технических наук, доцент

Лабунец В. Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ. Надежность и долговечность работы зубчатых передач зависит от правильного выбора для них смазочных масел и обеспечиваемого этими маслами смазочного действия. Смазочное действие масел может проявляться за счет гидродинамического эффекта и поверхностных явлений. При проявлении гидродинамического эффекта имеет место жидкостное трение, а поверхностные явления обеспечивают граничное трение. При работе зубчатых передач различные виды смазочного действия масел могут проявляться отдельно или комбинированно в зависимости от условий в контакте и толщины образуемых смазочных слоев. Особое влияние на толщину смазочных слоев оказывает температура масла и скорость скольжения в контакте, с увеличением которых толщина гидродинамической составляющей смазочного слоя уменьшается и смазочное действие масел ухудшается. В результате возникает опасность заедания рабочих поверхностей, особенно в парах трения с локальным контактом, которых более 95% всех используемых пар. Для исключения заедания рабочих поверхностей в масла вводят противозадирные присадки, которые в большинстве случаев приводят к повышенному механическому изнашиванию.

Более эффективным методом борьбы с заеданием зубчатых передач является применение для их смазки минеральных масел, которые кроме гидродинамической составляющей смазочного слоя обеспечивают при тяжелых условиях граничного трения образование на рабочих поверхностях твердообразных самогенерирующихся органических пленок (СОП) определенной толщины. Поскольку СОП образуется при трении качения со скольжением, то скорость скольжения является наиболее важным параметром, влияющим на их толщину и коэффициент трения, а следовательно на смазочное действие и реологические свойства минеральных масел в локальном контакте трения. Кроме того, на образование СОП минеральными маслами влияют входящие в их состав индивидуальные углеводороды (УГВ) парафинового, нафтенового и ароматического классов. Наиболее полно изучено влияние температуры индивидуальных УГВ на смазочное действие СОП. Менее изученным является вопрос о влиянии скорости скольжения на смазочное действие и реологические свойства СОП, образованных индивидуальными УГВ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью работы является исследование смазочного действия и реологических свойств СОП, образованных индивидуальными УГВ в широком диапазоне скоростей скольжения поверхностей с локальным контактом.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Исследование влияния скорости скольжения на образование СОП индивидуальными УГВ различных классов.
2. Исследование влияния температуры индивидуальных УГВ, нагрузки в контакте, марки стали, исходной шероховатости и твердости рабочих поверхностей на образование СОП при различных скоростях скольжения.
3. Исследование влияния скорости скольжения на противозадирное действие СОП, образованных индивидуальными УГВ.
4. Исследование влияния скорости скольжения на реологические свойства смазочных слоев.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Изучены закономерности образования СОП индивидуальными УГВ парафинового, нафтенowego и ароматического классов в условиях работы различных видов зубчатых передач.

Установлены режимы трения качения со скольжением, при которых осуществляется переход смазочного слоя от упруго-пластической деформации к разрушению структуры и псевдовязкому течению, что позволяет выбирать минеральные масла в зависимости от их углеводородного состава и диапазона скоростей скольжения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. Разработаны методы раздельного определения толщины смазочных слоев в локальном контакте трения, раздельного определения толщины СОП на рабочих поверхностях, исследования индивидуальных УГВ при различных скоростях скольжения, получения оптимального углеводородного состава минеральных масел для конкретных условий эксплуатации.

В соответствии с задачами экспериментального исследования произведена модернизация машины трения СМЦ-2 для расширения диапазона скоростей скольжения рабочих поверхностей.

Разработаны устройства для регулирования подачи смазочного материала в зону контакта и раздельного измерения толщины СОП на рабочих поверхностях, узел трения для ускоренных испытаний материалов при различных нагрузках в контакте, элемент очистки смазоч-

ных масел в редукторах от загрязнения.

Разработанные методы, узлы трения и устройства защищены авторскими свидетельствами и внедрены на Первоуральском новотрубном заводе, Кировском заводе (г. С.-Петербург), П/О "ГАЗ" (г. Нижний Новгород) и Киевском политехническом институте.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на расширенном заседании кафедр технической эксплуатации опецавтотранспорта и средств механизации аэропортов, технологии ремонта, производства летательных аппаратов и авиационного материаловедения КМУТА (г. Киев), кафедре лазерной технологии, конструирования машин и материаловедения КПИ (г. Киев), двух научно-технических конференциях, а также на НТС научно-производственного объединения "БОЛЬШЕВИК" (г. Киев).

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 6 авторских свидетельств.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и результатов, списка литературы (132 наименования) и двух приложений. Общий объем работы составляет 150 страниц, в том числе 100 страниц машинописного текста, 48 рисунков и 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приведен обзор отечественной и зарубежной литературы в области смазки контактных поверхностей. Даны основные положения контактно-гидродинамической теории смазки (КГТС), рассматривающей течение вязкой жидкости между упруго деформируемыми поверхностями, и теории граничного трения, описывающей негидродинамические процессы смазки.

Показано, что реальные условия гидродинамической смазки сопровождаются более сложными процессами трения, чем это следует из КГТС. При граничном трении смазочное действие масел с поверхностно-активными веществами (ПАВ) обеспечивается физической и химической адсорбцией, а смазочное действие масел с химически-активными веществами (ХАВ) обеспечивается химическими реакциями в контакте.

Из работ М. В. Райко, Г. В. Виноградова, М. Я. Подольского, Р. С. Файна, К. Л. Кройца и других ученых следует, что при тяжелых режимах граничного трения смазочное действие минеральных масел без ПАВ и ХАВ обеспечивается комплексом сложных механо-химических и окислительно-полимеризационных процессов, в результате которых образуются хемосорбционные пленки — СОП. Эти пленки обеспечивают эффективное смазочное действие в более широком диапазоне температур, чем масла с ПАВ и ХАВ. Образование СОП минеральными маслами происходит при деструкции молекул индивидуальных УГВ, участии кислорода воздуха и воздействии активированного трением металла. Увеличение скорости скольжения в контакте создает благоприятные условия для образования СОП минеральными маслами, так как возникающие при этом напряжения сдвига способствуют лучшей активации металла и деструкции молекул индивидуальных УГВ. Индивидуальные УГВ образуют СОП в более узком диапазоне температур, чем минеральные масла. Для каждого из них существует температура, при которой обеспечивается максимальная интенсивность образования СОП. Эта температура находится между температурой начала образования СОП, совпадающей с температурой плавления, и температурой прекращения образования СОП, намного меньшей температуры кипения.

Высокие антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства СОП обеспечиваются высоким положительным градиентом механических свойств по толщине, высокопрочной связью с металлом, большим сопротивлением сжатию и малым напряжением сдвига.

Реологические свойства смазочных материалов наиболее полно изучены для пластичных смазок на вискозиметрах, обеспечивающих упруго-пластическую деформацию, разрушение структуры и псевдовязкое течение. Реологические свойства смазочных слоев в локальном контакте трения изучены при трении качения и скоростях скольжения, обеспечивающих только упруго-пластическую деформацию. Для изучения свойств смазочных слоев при разрушении структуры и псевдовязком течении необходимы исследования в более широком диапазоне скоростей скольжения.

Во второй главе приводится описание методов, устройств и узлов машины трения СМЦ-2, используемых для исследования смазочного действия минеральных масел и индивидуальных УГВ при трении поверхностей с локальным контактом.

Контроль толщины смазочных слоев осуществлялся методом измерения падения напряжения (ИПН) при пропускании через контакт образцов постоянного тока в режиме нормального тлеющего разряда (НТР).

При использовании указанного метода измерения дополнительно разработаны:

метод исследования минеральных масел, позволяющий повысить точность раздельного определения толщины гидродинамической составляющей смазочного слоя и СОП (А. о. № 1649250);

метод исследования индивидуальных УГВ, позволяющий повысить точность определения толщины СОП при различных скоростях скольжения (А. с. № 1793197);

метод исследования минеральных масел и индивидуальных УГВ, позволяющий кроме общей толщины СОП определять их толщину на отдельных рабочих поверхностях (заявка на изобретение № 4864508/28), а также устройство для осуществления этого метода (заявка на изобретение № 4935890/28).

Кроме того, осуществлена модернизация машины трения СМЦ-2, позволяющая измерять толщину смазочных слоев методом ИПН в режиме НТР, а также расширить диапазон скоростей скольжения роликовых образцов одинакового диаметра в 4,5 раза при изменении относительно го скольжения до 90% вместо 20% (А. с. № 1348714).

Для исследования толщины смазочных слоев при низких и высоких температурах подаваемой в контакт рабочих поверхностей смазки разработано специальное устройство с системой охлаждения и нагревания смазочного материала в ванне.

В заключение приводится перечень оборудования и приборов, используемых для измерения толщины смазочных слоев, температуры смазочного материала, момента трения, шероховатости, твердости и других параметров.

В третьей главе представлены результаты исследования смазочного действия индивидуальных УГВ и минеральных масел при различных скоростях скольжения.

Установлено, что для каждого парафинового УГВ (гексана, октана, декана, додекана, гексадекана и генейкозана) существует свой диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей и своя оптимальная скорость скольжения, при которой толщина СОП достигает максимальной (рис. 1), а коэффициент трения минимальной (рис. 2) величин.

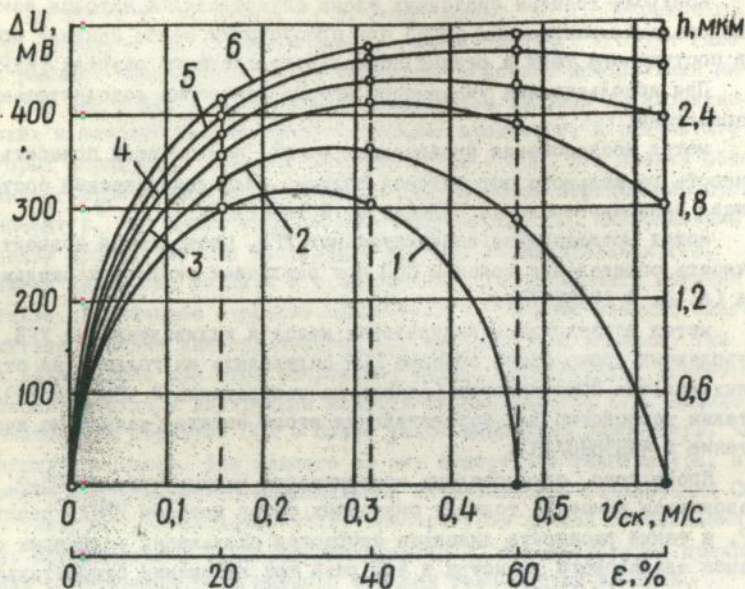


Рис. 1. Влияние скорости скольжения на образование СОП парафиновыми УГВ: 1 - гексан (-40°C); 2 - октан (-30°C); 3 - декан (20°C); 4 - додекан (30°C); 5 - гексадекан (110°C); 6 - гениекозан (140°C).

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35$ мкм;
 $\sigma_H = 500$ МПа; ● - заедание

Снижение скорости скольжения относительно оптимальной вызывает уменьшение толщины СОП и увеличение коэффициента трения до определенной величины, после чего снова уменьшается. При отсутствии между рабочими поверхностями скольжения (трения качения) СОП не образуется. Повышение скорости скольжения относительно оптимальной и смазывание рабочих поверхностей парафиновыми УГВ с малой молекулярной массой также вызывает уменьшение толщины СОП и увеличение коэффициента трения. При достижении в контакте критической скорости скольжения происходит заедание рабочих поверхностей.

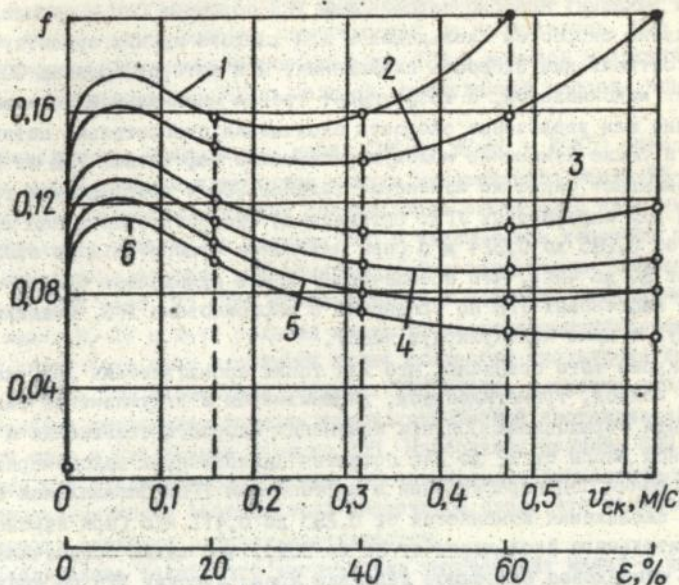


Рис. 2. Влияние скорости скольжения на изменение коэффициента трения парафиновыми УГВ: 1 - гексан (-40°C); 2 - октан (-30°C); 3 - декан (20°C); 4 - додекан (30°C); 5 - гексадекан (110°C); 6 - гептэкозан (140°C).

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35 \text{ мкм}$; $\sigma_H = 500 \text{ МПа}$; * - заедание.

Увеличение молекулярной массы парафиновых УГВ способствует улучшению их смазочного действия. Это наблюдается по возрастанию толщины СОП и уменьшению коэффициента трения при оптимальных скоростях скольжения, расширению диапазона скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей и увеличению самой оптимальной скорости скольжения. При изменении молекулярной массы парафиновых УГВ от 86 до 296 оптимальная скорость скольжения изменяется от 0,235 до 0,628 м/с (при изменении относительного скольжения от 30 до 80%).

Наряду с этим показано, что нафтеновые УГВ (циклогексан, тетра-

лин и декалин) подобно парафиновым УГВ образуют СОП в определенном диапазоне скоростей скольжения и для каждого из них существует своя оптимальная скорость скольжения, при которой толщина СОП достигает максимальной, а коэффициент трения минимальной величины. Уменьшение или увеличение скорости скольжения относительно оптимальной, а также изменение молекулярной массы нафтеновых УГВ от 84 до 138 вызывает такое же изменение толщины СОП и коэффициента трения, как и для парафиновых УГВ. Оптимальная скорость скольжения изменяется от 0,235 до 0,314 м/с (при изменении относительного скольжения от 30 до 40%), что обеспечивает почти одинаковое смазочное действие нафтеновых УГВ по сравнению с парафиновыми УГВ, имеющими близкую с ними молекулярную массу.

Кроме того показано, что для таких ароматических УГВ, как толуол, ксилол, триметилбензол, дифенилметан и дикумилметан закономерности образования СОП при изменении скорости скольжения и молекулярной массы от 92 до 246 остаются аналогичными закономерностям образования СОП парафиновыми и нафтеновыми УГВ. Оптимальная скорость скольжения изменяется от 0,235 до 0,471 м/с (при изменении относительного скольжения от 30 до 60%), что также обеспечивает почти одинаковое смазочное действие ароматических УГВ по сравнению с парафиновыми УГВ, имеющими близкую с ними молекулярную массу. Исследование бензола, имеющего молекулярную массу 78 и обладающего высокой термоокислительной стойкостью показало, что он СОП не образует во всем диапазоне скоростей скольжения и тем самым обеспечивает наименьший диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей.

Результаты исследования индивидуальных УГВ при взаимном их смешивании, моделирующем смазочные масла показали, что добавка 10% весового количества бензола в индивидуальный УГВ, образующий СОП, вызывает уменьшение толщины СОП и сужение диапазона скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей. Увеличение толщины СОП и расширение диапазона скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при добавке 10% весового количества индивидуального УГВ с большей молекулярной массой в индивидуальный УГВ с меньшей молекулярной массой.

При добавке 10% весового количества индивидуального УГВ с меньшей молекулярной массой в индивидуальный УГВ с большей молекулярной

массой увеличения толщины СОП и расширения диапазона скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей не наблюдалось, что вызвано худшим растворением индивидуальных УГВ с меньшей молекулярной массой в индивидуальных УГВ с большей молекулярной массой, чем наоборот.

Исследование минеральных масел (МК-8, МС-20 и И-45) показало, что при использовании в качестве смазки минерального масла МК-8 малой вязкости гидродинамическая составляющая смазочного слоя имеет незначительную толщину, а толщина СОП с увеличением скорости скольжения изменяется подобно закономерностям их образования высокомолекулярными УГВ (рис. 3). При использовании в качестве смазки минеральных масел МС-20 и И-45 большей вязкости гидродинамическая составляющая смазочного слоя в области малых скоростей скольжения имеет наибольшую, а СОП наименьшую толщину. Увеличение скорости скольжения вызывает уменьшение толщины гидродинамической составляющей смазочного слоя и увеличение толщины СОП. Наибольшая толщина СОП достигается при скоростях скольжения, обеспечивающих наименьшую толщину гидродинамической составляющей смазочного слоя, что исключает возможность заедания рабочих поверхностей.

Наблюдалось также, что загрязнение минеральных масел и индивидуальных УГВ снижает толщину образования СОП и сужает диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей.

В четвертой главе изучалось влияние скорости скольжения на образование СОП при изменении температуры индивидуальных УГВ и минеральных масел, нагрузки в контакте, марки стали, исходной шероховатости и твердости рабочих поверхностей.

Установлено, что температура индивидуальных УГВ (ундекана, тридекана и пентадекана) оказывает влияние не только на толщину СОП, но и на диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей. Наиболее широкий диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при температурах индивидуальных УГВ, соответствующих температурам максимальной интенсивности образования ими СОП (рис. 4). Менее широкий диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при температурах, близких к температурам плавления индивидуальных УГВ и температурам прекращения образования ими СОП. Более резкое сужение диапазона скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей происходит при температурах, близких к температурам прекращения образования СОП.

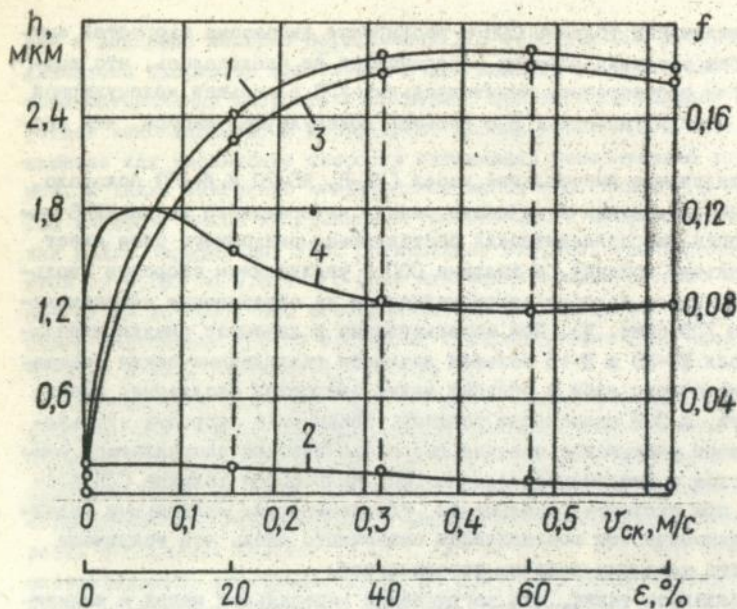


Рис. 3. Влияние скорости скольжения на образование смазочных слоев и изменение коэффициента трения минеральным маслом МК-8: 1 – общая толщина смазочного слоя; 2 – толщина гидродинамической составляющей смазочного слоя; 3 – толщина СОП; 4 – коэффициент трения.

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35 \mu m$; $\sigma_H = 500 \text{ МПа}$; $T = 70^\circ\text{C}$.

Исследование минеральных масел (МК-8, МС-20, и И-45) показало, что имеющаяся в каждом из них смесь индивидуальных УГВ обеспечивает образование СОП без заедания рабочих поверхностей в более широком диапазоне температур, чем отдельные индивидуальные УГВ.

Нагрузка в контакте также влияет на толщину СОП и диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей. При использовании образцов из улучшенной стали 45 твердостью 255 НВ допускаемое для них контактное напряжение равно 527 МПа. Увеличение толщины СОП

без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при изменении нагрузки в контакте от 100 до 500 МПа (рис. 5).

При нагрузке в контакте 500 МПа обеспечивается максимальная толщина СОП. Дальнейшее увеличение нагрузки в контакте (до 700 МПа) вызывает незначительное увеличение толщины СОП при малых скоростях скольжения и заедание рабочих поверхностей при больших скоростях скольжения. Изменение нагрузки в контакте от 700 до 1300 МПа вызывает уменьшение толщины СОП и заедание рабочих поверхностей при всех скоростях скольжения.

Изменение исходной шероховатости рабочих поверхностей показало, что наименьшая толщина СОП и наименьший диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при исходной шероховатости в пределах 6 класса ($R_a = 1,32$ мкм).

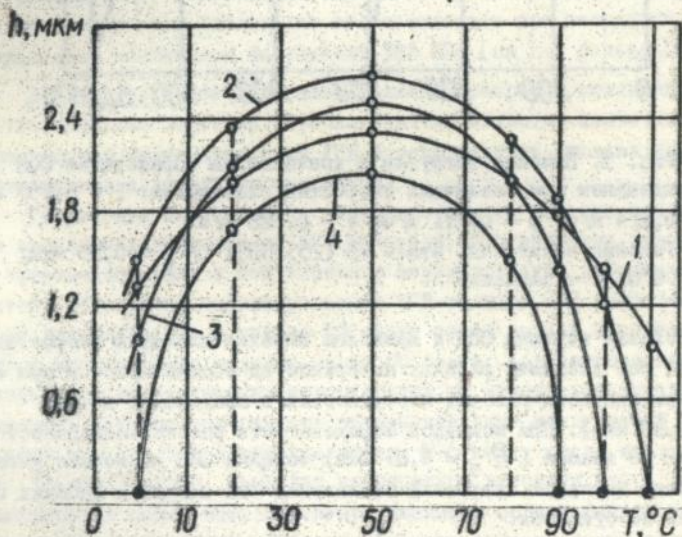


Рис. 4. Влияние температуры тридекана на образование СОП при различных скоростях скольжения: 1 - 0,157 м/с; 2 - 0,314 м/с; 3 - 0,471 м/с; 4 - 0,628 м/с.

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35$ мкм; $\sigma_H = 500$ МПа; • - заедание.

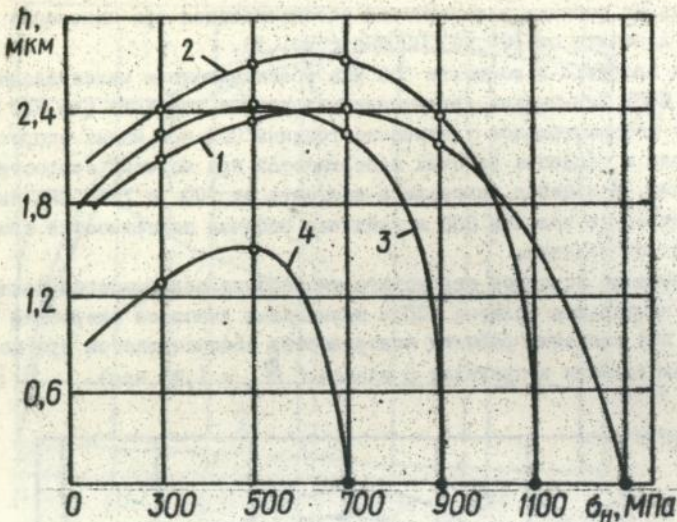


Рис. 5. Влияние нагрузки в контакте на образование СОП тетрадеканом при различных скоростях скольжения: 1 - 0,157 м/с; 2 - 0,314 м/с; 3 - 0,471 м/с; 4 - 0,628 м/с.

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35$ мкм; $T = 90^\circ\text{C}$; * - заедание.

Наибольшая толщина СОП и наиболее широкий диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при исходной шероховатости рабочих поверхностей в пределах 8 класса ($R_a = 0,35$ мкм). При исходной шероховатости рабочих поверхностей в пределах 10 класса ($R_a = 0,09$ мкм) толщина СОП несколько уменьшается, хотя диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей не сужается.

Испытания различных марок стали показали, что наибольшую толщину СОП и наиболее широкий диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивают образцы из стали 45, а наименьшую толщину СОП и наименьший диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивают образцы из стали 40Х. При использовании одного образца из стали 45, а второго из стали 40Х, толщина

СОП и диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей занимают промежуточные значения между толщиной СОП и диапазоном скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей, обеспечиваемыми при выполнении обоих образцов отдельно из стали 45 и стали 40Х.

Использование образцов с различной твердостью рабочих поверхностей показало, что при нагрузке в контакте 500 МПа наименьшая толщина СОП и наименьший диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей обеспечивается при твердости 210 НВ, допускающей контактное напряжение 445 МПа (на 11% меньше 500 МПа). При твердости рабочих поверхностей 255 НВ, допускающей контактное напряжение 527 МПа (на 5% больше 500 МПа), толщина СОП увеличивается и диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей расширяется. Образование СОП без заедания рабочих поверхностей при всех скоростях скольжения обеспечивается при твердости 285 НВ, допускающей контактное напряжение 582 МПа (на 14% больше 500 МПа).

В пятой главе исследовалось влияние скорости скольжения на противозадирное действие и реологические свойства смазочных слоев, образованных индивидуальными УГВ и минеральными маслами при трении поверхностей с локальным контактом.

Результаты исследования линейного износа рабочих поверхностей при смазке индивидуальными УГВ показали, что величина такого износа чрезвычайно мала и соизмерима с шероховатостью рабочих поверхностей. Образованная индивидуальными УГВ толщина СОП наиболее интенсивно увеличивается в первые 10 минут после начала испытания и достигает максимальной толщины через 60 минут, обеспечивая полное экранирование металлических поверхностей от непосредственного взаимодействия. Рабочие поверхности взаимодействуют между собой при минимальной толщине СОП в течение первых 2-5 минут после начала испытания. Соответственно, наиболее интенсивный линейный износ рабочих поверхностей может быть достигнут именно в первые минуты испытания. Однако такой промежуток времени является недостаточным для ощутимого линейного износа.

Отмечается, что более характерным видом изнашивания рабочих поверхностей при смазке индивидуальными УГВ является заедание этих поверхностей. Увеличение скорости скольжения сокращает время испытания до наступления заедания рабочих поверхностей, так как с увели-

чением скорости скольжения более интенсивно происходит деструкция молекул индивидуальных УГВ и быстрее теряется их способность к образованию СОП. После снижения способности индивидуальных УГВ к образованию СОП на рабочих поверхностях ранее образованная ими СОП постепенно истирается и наступает заедание рабочих поверхностей. Усталостное выкрашивание рабочих поверхностей при смазке индивидуальными УГВ не достигалось, так как заедание наступало намного раньше.

Показано, что с увеличением молекулярной массы индивидуальных УГВ критическая скорость скольжения, при которой происходит заедание рабочих поверхностей, время испытания до наступления заедания рабочих поверхностей и критическая нагрузка заедания этих поверхностей также увеличиваются, что свидетельствует об улучшении противозадирного действия СОП с увеличением молекулярной массы индивидуальных УГВ.

Установлено, что изменение реологических свойств смазочных слоев в локальном контакте трения качественно соответствует изменению реологических свойств пластичных смазок, полученных на вискозиметрах. Реологические кривые смазочных слоев, образованных индивидуальными УГВ (рис. 6) и минеральными маслами в широком диапазоне скоростей скольжения представляет собой полную реологическую кривую Отвальда, охватывающую практически все виды течения: упруго-пластическую деформацию, разрушение структуры и псевдовязкое течение.

Показано, что при изменении скорости скольжения от нуля (точка A) до $0,157$ м/с (точка B) вначале происходит упругая деформация смазочного слоя. В соответствии с законом Гука на этом участке реологических кривых наблюдается прямая зависимость между увеличивающейся скоростью сдвига $\dot{\gamma}$ и напряжением сдвига τ . После достижения в смазочном слое предела упругости увеличение скорости сдвига вызывает замедление роста напряжения сдвига и реологические кривые становятся нелинейными. Этот участок реологических кривых соответствует переходу смазочного слоя от упругой к пластической деформации. При скорости скольжения $0,157$ м/с с 20%-ным скольжением (точка B) скорость сдвига увеличивается до значения, при котором возникавшие в смазочном слое напряжения сдвига достигают максимальной величины и вызывают начальное разрушение структуры смазочного слоя. Эта точка реологических кривых соответствует пределу текучести, при котором осуществляется переход смазочного слоя от упруго-пластической дефор-

мации подобно твердым телам к разрушению структуры и течению подобно жидкостям, способным выдерживать большие нагрузки без потери сплошности. При изменении скорости скольжения от 0,157 (точка δ) до 0,314 м/с (точка θ) скорость сдвига постепенно усиливает разрушение структуры смазочного слоя. На этом участке реологических кривых наблюдается уменьшение напряжения сдвига с увеличением скорости сдвига. При скорости скольжения 0,314 м/с с 40%-ным скольжением (точка θ) скорость сдвига достигает величины, при которой уменьшение напряжения сдвига замедляется. Эта точка реологических кривых соответствует пределу текучести, при котором наступает лавинное разрушение структуры смазочного слоя и переход к псевдовязкому течению (точки θ и δ).

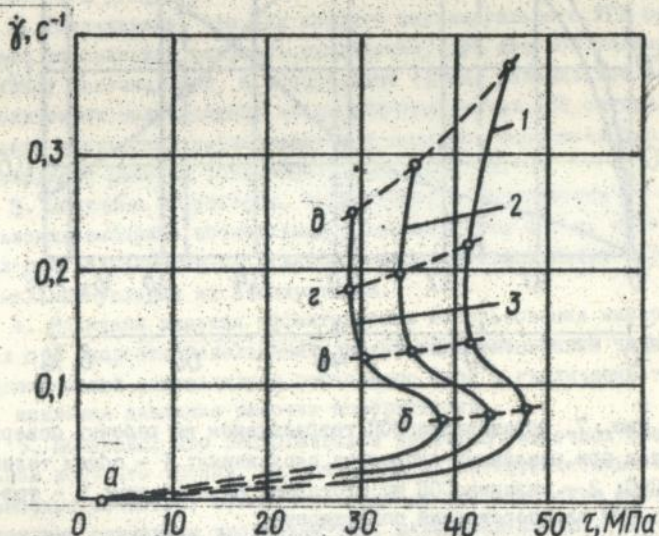


Рис. 6. Реологические кривые СОП, образованных индивидуальными УВ при различных скоростях скольжения: 1 - декан (20°C); 2 - додекан (30°C); 3 - гекоадекан (110°C).

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35$ мкм;
 $\sigma_H = 500$ МПа.

Показано также, что при изменении скорости скольжения от нуля до 0,157 м/с происходит увеличение толщины СОП на обеих рабочих поверхностях, при этом толщина СОП на отстающей поверхности больше, толщины СОП на опережающей поверхности (рис. 7).

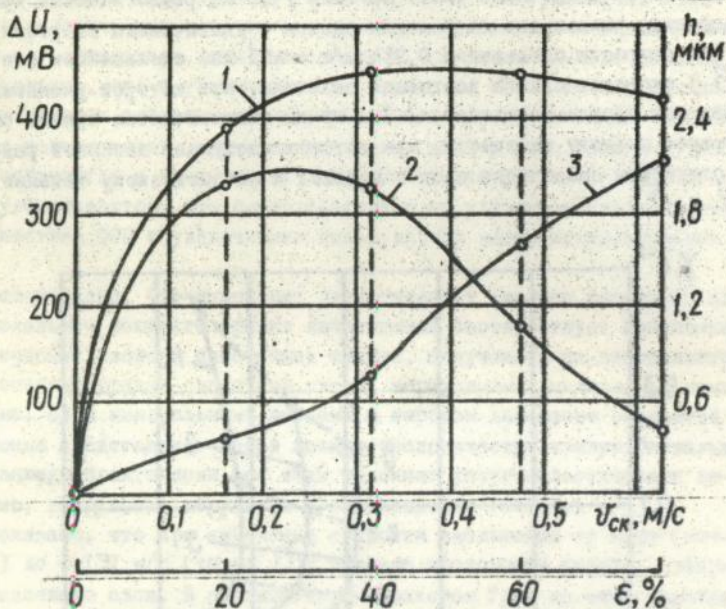


Рис. 7. Образование СОП тетрадеканом на рабочих поверхностях при различных скоростях скольжения: 1 - общая толщина СОП; 2 - толщина СОП на отстающей поверхности; 3 - толщина СОП на опережающей поверхности.

Условия испытания: сталь 45 (255 НВ); $R_a = 0,35$ мкм; $\sigma_H = 500$ МПа; $T = 90^\circ\text{C}$.

При изменении скорости скольжения от 0,157 до 0,314 м/с толщина СОП на опережающей поверхности увеличивается дальше, а толщина СОП на отстающей поверхности достигает максимальной величины. Изменение скорости скольжения от 0,314 до 0,628 м/с вызывает уменьшение

толщины СОП на отстающей поверхности и более интенсивное увеличение толщины СОП на опережающей поверхности.

Такое изменение толщины СОП на рабочих поверхностях связано с различным реологическим состоянием смазочного слоя при увеличении скорости скольжения в локальном контакте трения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Осуществлена модернизация машины трения СМЦ-2 для расширения диапазона скоростей скольжения в локальном контакте трения (А. о. № 1348714). Разработаны методы исследования минеральных масел и индивидуальных УГВ при различных скоростях скольжения (А. о. № 1649250 и 1793197).

2. Установлено, что для каждого индивидуального УГВ существует своя оптимальная скорость скольжения, при которой толщина СОП достигает максимальной, а коэффициент трения минимальной величин. С увеличением молекулярной массы индивидуальных УГВ оптимальная скорость скольжения увеличивается и диапазон скоростей скольжения без заедания рабочих поверхностей расширяется.

3. Получены результаты, позволяющие в зависимости от скорости скольжения выбирать оптимальный углеводородный состав минеральных масел и в зависимости от углеводородного состава масел определять оптимальные условия их эксплуатации.

4. Показана высокая эффективность использования минеральных масел при скоростях скольжения, вызывающих уменьшение толщины гидродинамической составляющей смазочного слоя и увеличение толщины СОП, исключая заедание рабочих поверхностей.

5. Показано, что реологические свойства смазочных слоев в локальном контакте трения, определяющие их антифрикционные и противоизносные свойства, изменяются подобно реологическим свойствам пластичных смазок на вискозиметрах, охватывая области упруго-пластической деформации, разрушения структуры и псевдовязкого течения.

6. Экспериментально установлено, что при исследуемых скоростях скольжения и нагрузках переход смазочного слоя от упруго-пластической деформации к разрушению структуры обеспечивается при трении качения с 20%-ным скольжением, а переход от разрушения структуры к псевдовязкому течению - при качении с 40%-ным скольжением.

7. Установлено, что при скоростях скольжения, вызывающих псевдовязкое течение смазочного слоя, толщина СОП на отставшей поверхности уменьшается и может привести к заеданию.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. ГУЗЕНКО Ю. М. Машина для испытания материалов и смазывающих масел на трение и износ. (А. с. № 1348714). - Б. И. № 40, 1987.
2. ГУЗЕНКО Ю. М. Способ определения толщины смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач. (А. с. № 1649250). - Б. И. № 18, 1991.
3. ГУЗЕНКО Ю. М. Устройство для испытания материалов на трение и износ при переменных режимах смазки. (А. с. № 1670522). - Б. И. № 30, 1991.
4. ГУЗЕНКО Ю. М. Способ определения толщины граничных смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач. (А. с. № 1793197). - Б. И. № 5, 1993.
5. ГУЗЕНКО Ю. М. Способ определения толщины граничных смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач. (Положительное решение от 29.12.1993 г. о выдаче патента по заявке № 4864508/28 от 07.09.1990 г.).
6. ГУЗЕНКО Ю. М. Устройство для измерения толщины смазочных пленок при испытании образцов пары трения. (Положительное решение от 10.03.1994 г. о выдаче патента по заявке № 4935890/28 от 12.05.1991 г.).
7. ГУЗЕНКО Ю. М., РАЙКО М. В., СТАДНИК В. А. Модернизация машины трения СМЦ-2 // Технология и организация производства. - 1989. - № 1. - С. 51.
8. СТАДНИК В. А., ГУЗЕНКО Ю. М. Устройство для исследования масел в широком диапазоне температур // Технология и организация производства. - 1989. - № 2. - С. 58.
9. СТАДНИК В. А., ГУЗЕНКО Ю. М. Модернизация машины трения СМЦ-2 // Технология и организация производства. - 1990. - № 1. - С. 56-57.
10. СТАДНИК В. А., ГУЗЕНКО Ю. М., СТАДНИК В. В. Образец для испытания материалов на трение. (А. с. № 1714418). - Б. И. № 7, 1992.
11. ТРИВАЙЛО М. С., БОЙКО С. Л., БЕРШАДСКИЙ Л. И., ХИЛЬЧЕВСКИЙ В. В., КАПЛИНСКИЙ Л. А., СТАДНИК В. А., ГУЗЕНКО Ю. М. Редуктор. (А. с. № 1281796). - Б. И. № 1, 1987.

Подписано в печать 26.05.94. Формат 60x84/16. Бумага типографская.
Офсетная печать. Усл.кр.-отт.6. Усл.печ.л. I, I6. Уч.-изд.л. I, 25.
Тираж 100 экз. Заказ № II4-I. Цена . Изд. № 218/Ш.

Издательство КМУТА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, I.

152 15^m

AB 30.499