

**Безызностное трение и водородное изнашивание металлов в решении основных трибологических проблем качества механизмов и машин**

д.т.н. Гаркунов Д.Н., д.т.н. Мельников Э.Л.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
8-903-561-62-18, mt13@bmstu.ru.

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные этапы развития трибологии как науки. Раскрыты основные положения науки о трении и износе. Приведены примеры технических решений, увеличивающих износостойкость деталей машин.

*Ключевые слова:* трибология, износ, трение, водородное изнашивание, пленки

Трибология – наука о контактном взаимодействии твердых тел, охватывающая весь комплекс вопросов о трении, износе и смазке машин.

Трибология решает такие актуальные общенациональные проблемы, как экономия энергии, сокращение материалов, надежности и безопасности механических систем, а также экологические проблемы.

Конечные результаты исследований и разработок по трибологии обеспечивают снижение затрат труда на техническое облуживание и текущий ремонт машин, стоимости капитальных ремонтов, уменьшение расхода запасных частей и горюче-смазочных материалов, снижение металлоемкости конструкций узлов трения и повышение надежности и производительности машин.

Проблемы и задачи, решаемые трибологией, являются «вечными», ибо они непрерывно возникают и повторяются вновь и вновь в связи с развитием и совершенствованием машин и оборудования, повышением их мощности и более форсированных режимов работы, на которых старые применяемые конструкционные и смазочные материалы не могут обеспечить их безотказность и долговечность.

Главные этапы развития трибологии, как и развитие других наук, связаны с научными открытиями и крупными изобретениями.

Трибология является поистине интернациональной наукой, теоретические основы которой были созданы трудами ученых различных стран.

Так, в 1883г. русским ученым Н.П. Петровым была открыта гидродинамическая теория смазки в подшипниках скольжения. В дальнейшем эту теорию развивали крупнейшие ученые мира: англичанин О. Рейнольдс, американец А. Кингсбери, немцы А. Зоммерфельд и Л. Гюмбель, русские академики Н.Е. Жуковский и С.А. Чаплыгин и другие.

В 1919-1922г.г. англичанин В. Гарди установил большое влияние адсорбционных слоев смазочных материалов на металлах на трение твердых тел: по сравнению с сухим трением при адсорбционном граничном слое смазки толщиной менее 0,1 мкм трение уменьшается в 10 раз, а износ снижается до 1000 раз. Классиками исследований граничного трения являются Ф.П. Боуден и Д. Тейлор, С.А. Ахматов, И.В. Крагельский, Б.В. Дерягин и многие другие.

Значительным событием в развитии триботехники являлось открытие эффекта пластифицирования материала трущихся деталей под действием смазки, сделанное советским академиком П.А. Ребиндером и названное его именем.

В 1956г. Д.Н. Гаркунов и И.В. Крагельский экспериментально установили при граничном трении самопроизвольное разделение трущихся поверхностей не только слоем смазки, но и металлической сервовитной пленкой толщиной 1,0...1,5 мкм, образующейся в процессе работы сопряжения. Установленный эффект известен как революционное научное открытие «избирательный перенос при трении» («эффект безызносности»).

Эффект безызносности сопровождается эволюционными процессами самоорганизации трения, в результате которых на поверхности формируется металлическая пленка. В отличие от обычных условий смазки и разрушительного трения в условиях избирательного переноса трение превращается в созидательный процесс, защищающий поверхности сопряжений от износа и заедания, аналогичный (подобный) процессам в узлах трения живой природы (жи-

вого организма).

При анализе причин повышенного износа деталей самолетов Д.Н. Гаркунов и А.А. Поляков обнаружили новый, ранее неизвестный, водородный вид изнашивания деталей, который объяснял некоторые необычные явления при трении – интенсивное разрушение более прочных металлов и перенос их на менее прочный материал сопряжения. Явления водородного изнашивания и безыносного трения зарегистрированы как научные открытия.

Увеличение концентрации водорода в процессе изготовления деталей или в условиях эксплуатации приводит к внезапному хрупкому разрушению металлоконструкций в тонких поверхностных слоях и аварийному отказу машин при малых нагрузках. В связи с этим защита металла от негативного воздействия водорода и водородного изнашивания трущихся поверхностей является весьма актуальной задачей.

Решение этих важнейших задач было получено при дальнейшем интенсивном развитии нового направления в трибологии на основе самоорганизации, отличающегося от традиционного (классического) тем, что трение здесь рассматривается не как разрушительный процесс, что признано давно мировым сообществом ученых и инженеров, а как созидательный, базирующийся на отечественных научных открытиях безыносного трения и водородного изнашивания металлов.

Развитие трибологии на основе самоорганизации началось во второй половине прошлого века. За этот период сложилась международная научная школа трибологов ряда стран: России, Великобритании, Германии, Польши, Литвы, Белоруссии, Украины, Болгарии, Казахстана, Монголии. По трибологии на основе самоорганизации выпущено более ста книг и монографий, свыше 2000 журнальных статей, защищено 92 кандидатских и докторских диссертаций, защищено свыше 100 патентов и авторских свидетельств на изобретения, издана хронология литературы по развитию трибологии на основе самоорганизации по годам с 1956 по настоящее время.

На базе исследований в области трибологии на основе самоорганизации разработаны теоретические основы и триботехнологии создания новых трибоматериалов (присадок к маслам и смазкам), позволяющих при эксплуатации машин и механизмов получать качественно улучшенные эксплуатационные показатели при одновременном повышении ресурса, снижении энергопотребления при эксплуатации машин, значительном уменьшении вредного влияния на среду обитания.

Российская наука совершила открытия, значения которых до конца трудно оценить и сегодня. В полном соответствии со словами крупного американского философа К. Пирса «Всякая наука открывает вещи, которые далеко выходят за пределы непосредственных наблюдений...», - эффект безыносности (как он был назван первооткрывателями) затрагивает не только основные вопросы теории трения, износа и смазки, но и дополняет такие области передовых знаний, как современная термодинамика, синергетика, квантовая теория вещества, и даже, согласно последним исследованиям, теория относительности. Сложность открытого Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским феномена привела к существующей синонимии названий: трибология на основе самоорганизации, избирательный перенос, безыносность, эффект Гаркунова - служащих отражением отдельных сторон рассмотрения этого многогранного явления, но до конца не определяющих всю его глубину и важность. При избирательном переносе происходит его автокомпенсация за счет сложных синергетических процессов внутри трибосистемы, Эти процессы классики избирательного переноса Д.Н. Гаркунов и А.А. Поляков назвали явлением самоорганизации трибосистемы.

Проф. Д.Н. Гаркунов впервые в 50-х годах увидел аналогии в самоорганизации трибосистем и биологических объектов, выраженные в способности самоусложнения первых за счет внутренней энтропии. Совместно с А.А. Поляковым и на основе работ Пригожина И.Л проф. Д.Н. Гаркунов предложил понятие диссипативных структур в трибологии, представляющих собой «пространственно-временные структуры, сохраняющиеся и циркулирующие неопределенно долго во времени, являющиеся высшей формой самоорганизации трибосистем. При этом Д.Н. Гаркуновым и А.А. Поляковым был сформулирован важнейший прин-

цип по своей научной значимости близкий к таким положениям квантовой и релятивистской теорий, как принцип соответствия или инвариантности - «принцип совпадения эволюционного пути».

Данный принцип провозглашает сходство структуры и направления развития физических процессов вне зависимости от природы внутренних механизмов, обеспечивающих их эволюцию при условии, что действие эволюционных сил приводит к сходным результатам. Последовательное применение этого принципа позволило выстроить корректную модель процессов самоусложнения структуры трибосопряжения, что дает возможность рассматривать трение как процесс, происходящий внутри межфазной области фрикционного контакта и приводящий к образованию новой структурной единицы трибосопряжения - третьего тела, включающего в себя как непосредственно смазочные структуры, так и многочисленные изменения поверхностных и приповерхностных слоев материалов узлов трения. Этот революционный в теории смазки подход впервые позволил научно поставить задачу о практическом достижении предельно низких значений коэффициентов трения и уровней изнашивания, а также наметить пути решения этих проблем.

Необходимо отметить, что магистральные направления в теории избирательного переноса оказались абсолютно фатальными и продуктивными. По сути, решение задач современной теории трения идет по пути, отмеченным блестящий научной интуицией Д.Н. Гаркунова, И.В. Крагельского, А.А. Полякова, которые выстроив модель диссипативных структур как пространственно-временных образований во многом предвосхитили «новую научную парадигму - релятивистскую физику твердого тела». Эволюция идей теории безызносности в трибологии на основе самоорганизации показывает, что заложенные в них принципы далеко не исчерпаны, а их дальнейшее развитие приводит к новым «прорывам» в фундаментальной и технической прикладной науке - трибология на основе самоорганизации.

Развитие науки о трении и изнашивании в XX веке, помимо создания молекулярно-механической теории трения и изнашивания, энергетической теории трения и многих крупных изобретений и разработок, таких как использование в качестве антифрикционных материалов полимеров, методов исследований износа деталей мечеными атомами, применения при исследовании поверхностей трения рентгеноструктурного рентгеноспектрального анализа, электронной микроскопии, изучение диффузионных процессов и т.д., увенчалось двумя научными открытиями: «Избирательный перенос при трении» (регистр №41 с приоритетом от 12 ноября 1956 г.) и «Водородное изнашивание металлов» (регистр № 378 с приоритетом от 7 мая 1967 г.).

Указанные открытия проходили широкое предварительное обсуждение среди научных учреждений Академии наук и других организаций, а также экспертизу Комитета Совета министров СССР по делам изобретений и открытий. При оценке открытия экспертный совет тщательно изучает практическое значение открытия. Это определяется изобретениями, сделанными на базе открытия. Так, в 1958 г. было сделано основополагающее изобретение - «Способ придания поверхности металлов трущихся пар противозадирных свойств» (авторское свидетельство №115744 от 23 апреля 1958 г. Авторы Д. Н. Гаркунов и В.Н. Лозовский). В 1962 году было сделано второе основополагающее изобретение - «Металлоплакирующая смазка» (авторское свидетельство 3179408 от 14 мая 1962 г. Авторы Д.Н. Гаркунов, В.Г. Шимановский и В.Н. Лозовский).

В настоящее время в мировой практике насчитывается более сотни изобретений и патентов, основанных на указанных основополагающих изобретениях, и с каждым годом их число увеличивается. Общественные научно-технические организации и правительственные учреждения страны поддерживали работы, направленные на использование в промышленности изобретений, сделанных на базе научных открытий. Отметим лишь некоторые постановления.

Постановление бюро президиума Всесоюзного совета научно-технических обществ «О реализации рекомендаций по внедрению избирательного переноса в машиностроении» Протокол №5 от 24 февраля 1977 г.

Постановление Государственного комитета СССР по науке и технике от 3 июля 1985 г. М 349 «О мерах по повышению технического уровня и качества машин, оборудования и приборов за счет сокращения потерь энергии на трение и увеличение срока их службы».

Постановление Совета министров СССР №359 от 25 марта 1987 г. «О мерах по широкому использованию эффекта безызносности в народном хозяйстве».

Явление избирательного переноса при трении заслушивалось в 1975 г. на Президиуме академии наук СССР и признано одним из приоритетных направлений в науке по трению и износу машин.

Отмеченные постановления и поддержка АН СССР дали огромный импульс работ по развитию новых методов повышения износостойкости машин и оборудования не только в нашей стране, но и в других странах, что можно проследить по публикациям в российской и зарубежной печати.

В 1977 г. Библиотека по естественным наукам АН СССР составила библиографический указатель по теме «Избирательный перенос при трении» за 1956-1977 гг., в котором значилось 242 наименования опубликованной литературы.

В 1980 г. эта же библиотека издала такой же библиографический указатель, в нем уже значилось 403 наименования литературных источников.

В изданном в 1988 г. библиографическом указателе литературы по теме: «Избирательный перенос при трении» и «Водородное изнашивание» значилось 906 литературных источников. Общее количество авторов составило 350 человек.

С 1986 г. издательство «Машиностроение» начало выпуск ежегодного сборника статей под названием «Долговечность трущихся деталей машин», в котором помещались работы, главным образом, по избирательному переносу при трении и водородному изнашиванию металлов. К 1990 г. было издано пять сборников общим объемом более 100 печатных листов. В многочисленных статьях, опубликованных в технической литературе, и сборниках излагались исследования как механизма избирательного переноса при трении, так и работы по изучению новых, ранее неизвестных, методов повышения износостойкости трущихся деталей различного рода машин и механизмов на основе указанных открытий.

Большое внимание уделялось повышению износостойкости деталей авиационной техники, военно-морского флота, тяжелого машиностроения, химической промышленности, станкостроения, легкой промышленности и сельскохозяйственной техники. По механизму избирательного переноса при трении и водородному изнашиванию металлов за прошедшие годы в России и за рубежом было проведено более 30 семинаров, совещаний и международных конференций с участием специалистов из России, стран СНГ, Великобритании, Германии, Польши и стран Прибалтики. Однако окончательного и исчерпывающего механизма избирательного переноса до 90-х годов прошлого столетия не было.

С 1992 г. был начат выпуск международного научно-технического журнала «Эффект безызносности и триботехнологии». В этом журнале впоследствии стали систематически печататься статьи о механизме явления избирательного переноса при трении и водородного изнашивания металлов с новых позиций самоорганизующихся процессов при трении. Учредителями этого журнала были «Общероссийское общественное объединение по избирательному переносу и самоорганизующимся системам при трении», Московский институт сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина и Международный совет «Избирательный перенос и фрикционные покрытия».

К этому времени в России и странах Запада широко распространились книги И. Пригожина, Г. Хакена, В. Эбелинга, Г. Николса и др. о самоорганизующихся процессах неживой природы и термодинамике неравновесных процессов. Ярко выявилось новое междисциплинарное направление научных исследований, названное синергетикой.

В работах И. Пригожина (Бельгия) и его сотрудников проблемы самоорганизации разрабатывались с позиции диссипативных структур, в основе которых лежали идеи, методы и принципы нелинейной термодинамики неравновесных процессов.

Синергетика стала выступать в качестве нового образа научного мышления необходи-

мого при решении сложного комплекса разнообразных междисциплинарных задач, возникающих в связи с познанием и практическим решением проблем, которые встают как в естествознании, так и в технике.

Оказалось, что физическая сущность эффекта безызносности и водородного изнашивания металлов может быть раскрыта исходя из положений, основанных на синергетике. Было установлено, что при эффекте безызносности поверхностный слой трущихся деталей представляет диссипативную структуру, при которой износ может быть равен нулю, а трение снижается по сравнению с трением при граничной смазке на порядок.

Избирательный перенос при трении (эффект безызносности) характеризуется сложными физико-химическими процессами, протекающими в зоне контакта трущихся деталей и базируется в первую очередь, на самоорганизации неравновесных процессов (формирование сервовитной металлической пленки), химии координационных соединений (взаимодействие смазочного материала с образовавшейся металлической пленкой) и физике тонких пленок (особая структура пленки, разрядка дислокаций, растворение металла, диффузионные процессы).

Рассматриваемый комплекс вопросов характеризуется физическим единством явления безызносности, что позволяет глубоко осмыслить и представить перспективу развития этого нового научного раздела трибологии на основе самоорганизации. При изучении избирательного переноса при трении в специальной технической литературе появились новые термины и понятия. Некоторые из них уже широко используются, например, сервовитная пленка, металлоплакирующая смазка, финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО). Другие термины менее известны: серфинг-пленка; трибо-ПАВ; континуальное трение и др.

Еще в довоенный период, в 30-е годы, наша страна из аграрной превратилась в индустриальную. Особенно большое развитие получила машиностроительная промышленность. Был создан целый ряд новых отраслей машиностроения (автомобили, тракторы, самолеты, химическая промышленность и т.д.). Относительно общего объема машиностроительной промышленности мы добились больших успехов и заняли к 40-м годам второе место в мире.

Одной из самых важных задач в этой области явилось совершенствование типов машин, которые обладали бы максимальной производительностью. Одним из существенных препятствий в деле производительности машин является недостаточная их износостойкость и большое потребление энергии (коэффициент трения между трущимися деталями). Все это указывает на исключительно большое значение проблемы износа и трения в деле развития машиностроительной промышленности.

Характерно то, что до сего времени в наших ВУЗах мало внимания уделяется проблеме трения и износа в машинах. В связи с этим еще в 1939 году была организована академиком Е.А. Чудаковым первая всесоюзная конференция по трению и износу. Конференция имела своей целью дать обзор всех тех основных работ, которые велись в стране по проблеме трения и износа в машинах и на базе этих работ дать конкретные предложения по внедрению в промышленность отдельных достижений и по дальнейшей постановке научно-исследовательской работы по этой проблеме.

Академик Е.А. Чудаков отметил на этой конференции, что в учебных планах ВУЗов отсутствует специальная дисциплина по этим вопросам, и соответствующая литература и мало специалистов готовится по этой важной проблемной тематике. Отечественная война прервала развитие промышленности нашей страны на четыре года. Машинный парк оказался полностью изношенным, и необходимо было его быстрое восстановление, стояли задачи новых ремонтных технологий.

В последующие два десятилетия ученые-трибологи в результате теоретических и экспериментальных исследований выявили крайне важные проблемы, касающиеся механизмов износа деталей, нашли новые пути, способные снизить износ деталей, коэффициент трения, температурный режим в узлах трения, энергозатраты, экологические проблемы. Наука о трении, износе и смазке машин обогатилась весьма важными результатами по механизму износа при граничном трении, изучением контакта поверхностей при сухом и граничном трении,

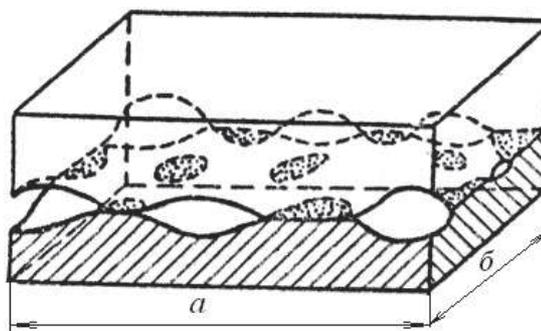
влиянием на трение и износ тонких пластичных плёнок, механизма износа поверхностей при схватывании их в случае высоких удельных давлений, влиянием водорода на повреждение поверхностей (открытие водородного износа), а также открытием эффекта безыносного трения и многих других исследований в трибологии. В этот период были проведены и опубликованы труды двух научных всесоюзных конференций по трению и износу. 1-ая из них проходила в 1949 году. Её труды в двух томах были опубликованы в 1950 г. И 3-я всесоюзная конференция была проведена в 1960 году, труды которой были опубликованы в 1961 году. Остановимся более подробно на тех крупных достижениях, о которых сказано ранее. В 1950 году доцентом Одесского института инженеров морского флота Л.В. Елиным была защищена в Институте машиноведения докторская диссертация на тему механизма граничного трения, в которой было показано, что при таком виде трения происходит износ поверхностей без разрушения масляной плёнки в результате взаимного внедрения отдельных участков одной поверхностей в другую поверхность.

До опубликования этой работы считалось, что рассматривается касание поверхностей, погрешности которых обусловлены технологией обработки или также процессом износа. Между тем контактирование под нагрузкой поверхностей тел, из которых хотя бы одно (поликристаллическое) при однородной поверхности другого, связано с образованием шероховатости вследствие неоднородности деформации. Это означает, что будь поверхность с гетерогенной структурой даже идеально гладкой она как и сопряженная с ней поверхность, приобретает под нагрузкой шероховатость. В результате неоднородности различных структурных составляющих сплава по твёрдости, а также разной ориентировки кристаллических зерен, выходящих на поверхность, на отдельных площадках фактического контакта, начиная с малых нагрузок, происходит взаимное внедрение твердых составляющих и кристаллов, обращенных к поверхности «сильными» гранями, в менее твердые структурные составляющие и «слабые» грани кристаллов. Это первая проблема.

На рисунке 1 показано сечение сжатых давлением  $30 \text{ кг/см}^2$  пластин с первоначально гладкими сопряженными плоскостями, у одной из которых стальная поверхность шлифовалась до чистоты поверхности 8 класса, а поверхность баббита полировалась.



**Рисунок 1. Участок сечения поверхности соприкосновения стали и баббита при сжатии давлением  $30 \text{ кг/см}^2$  (по Елину Л.В.)  $\times 300$**



**Рисунок 2. Схема контактирования деталей**

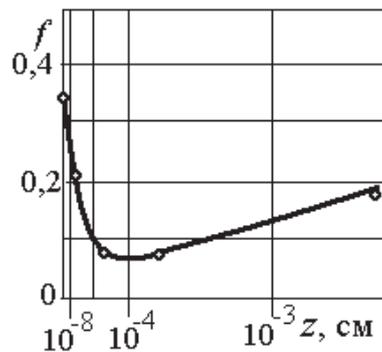
Взаимное внедрение при работе узла трения приводит к пропахиванию материала одной поверхности материалом другой поверхности. Поверхность трения покрывается мелкими рисками, что приводит к усталостному виду изнашивания деталей. Эта первая проблема усталостного вида изнашивания до настоящего времени не решена. Вторая проблема изнашивания деталей при сухом и граничном трении была поставлена ведущим русским ученым заведующим лабораторией сухого трения доктором технических наук профессором И.В. Крагельским. Он показал в ряде своих работ, что при изучении процесса взаимного контактирования поверхностей при трении следует различать три вида поверхностей: номинальную площадь контакта, контурную площадь контакта и фактическую площадь контакта.

Как установлено многочисленными работами И.В.Крагельского и его учеников, факти-

ческая площадь контакта в каждый момент трения представляет собой от 1/100 до 1/10000 номинальной площади контакта (вся площадь контакта, участвующая в трении) (рисунок 2). Это приводит к тому, что на участках фактического контакта возникает огромное удельное давление, которое приводит к возникновению высоких температур до 1000°C, разрушению масляной плёнки и, естественно, повышенному износу.

Это вторая проблема, поставленная И.В. Крагельским также до настоящего времени не решена.

Еще в 1944 году ведущие ученые Великобритании Ф.П. Боуден и Д. Тейбор опубликовали работу по влиянию тонкой плёнки индия нанесенной на одну из поверхностей трущейся пары сталь – сталь (Рисунок 3).



**Рисунок 3. Коэффициент трения от тонкой плёнки индия, нанесённой на сталь**

Ими установлено, что при уменьшении толщины плёнки индия коэффициент трения может снизиться более чем в сто раз. Этот важный результат использовался, в частности, в авиационной технике. Так, например, гальваническим путём плёнка индия наносилась на бронзовый подшипник центрального шатуна звездообразного авиадвигателя. В силу сложностей нанесения тонких пластичных пленок металлов на трущиеся детали машин широкого использования метод гальванического покрытия индием, бронзой и другими мягкими металлами для уменьшения трения и возможного задира поверхностей трения не нашел широкого применения, несмотря на его высокую эффективность. Таким образом, выкристаллизовалась третья проблема при снижении трения – покрытие трущихся поверхностей тонкими пленками мягких материалов.



**Рисунок 4. Болты шарнирного сочленения самолета типа ТУ с образовавшимся задирами на поверхностях трения**



**Рисунок 5. Сильно изношенный за несколько часов полета, болт который крепит щиток закрылок двигателя самолета**

Четвертая проблема состоит в том, что многие детали, при начальной их работе, особенно в парах трения сталь – сталь, или сталь – чугун (цилиндро–поршневая группа двигателей внутреннего сгорания, шарнирно–болтовые сочленения шасси самолетов и др.) подвергаются при приработке, или при начальной их работе задирам и схватыванию сопряженных поверхностей (рисунки 4, 5).

Этой проблемой в 50 – 60 годы заинтересовались ряд крупных ученых В.Д. Кузнецов,

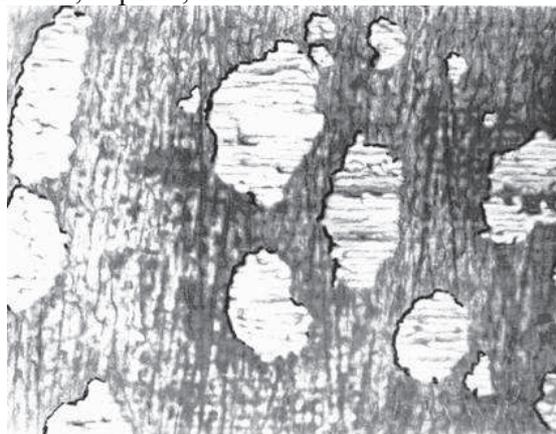
В.Н. Лозовский и другие. Указанные авторы опубликовали ряд книг по механизму процессов схватывания и заедания для авиационной техники, в частности схватыванию шарнирно-болтовых сочленений.

И наконец, отметим пятую проблему, которая была установлена с открытием водородного изнашивания. Как известно, в 60–е годы было открыто явление водородного изнашивания, которое состояло в том, что при сухом и граничном трении образуется диффузионно-способный водород, образование которого связано с разложением воды на водород и кислород, находящийся в зоне фрикционного контакта, а также разложением топлива и смазочных материалов с выделением водорода. Водород проникает в стальные и чугунные детали, концентрируется в поверхностном слое деталей и усиленно их разрушает.

Если проанализировать отмеченные нами пять проблем, стоящих перед трибологией, то можно полагать, что для их решения потребуются совершенно различные методы. Однако, как показали практические и научные исследования, существует только один путь решения указанных проблем - замена различных видов трения на один вид - безызносное трение.

В середине 50-х годов прошлого столетия, как уже отмечалось, был открыт эффект безызносности. Это вид трения, при котором самопроизвольно в зоне контакта деталей образуется тонкая металлическая пленка, защищающая детали от износа и снижающая в большой мере коэффициент трения.

Пленка при изнашивании образуется вновь. Она имеет иную структуру, в ней много вакансий и мало дислокаций (рисунок 6). Она может и многократно деформироваться без упрочнения и переупрочнения. Пленку назвали сервовитной от сочетания двух иностранных слов: серво – это обслуживание, сервис, витте - жизнь.



**Рисунок 6. Начальная стадия образования защитной металлической серовитной пленки на поверхности стальных сопряженных деталей**

При дальнейшей работе, серовитная пленка, по существу, является участком фактического контакта. При дальнейшей работе участки фактического контакта полностью занимают всю номинальную поверхность трения. Толщина пленки примерно 1..2 мкм, что приводит, по Бодену Ф.П. и Тейбору Д., к очень низкому коэффициенту трения, а проблема, поставленная Елиным Л.В. решается тем, что пропахивание поверхностей трения вообще не происходит, поскольку взаимодействие стальных поверхностей не имеет места. На рисунке 6 видны продольные риски на стальной поверхности, первоначально образовавшиеся в результате механической обработки поверхности, как следы трения на участках, покрытых серовитной пленкой. Что касается третьей проблемы, то нанесение тонкой металлической пленки из меди, олова, бронзы или латуни, как показал большой эксплуатационный опыт в авиационной технике, является одним из самых эффективных методов защиты поверхностей от схватывания и заедания узлов трения.

Как оказалось, серовитная пленка, самопроизвольно образующаяся в зоне контакта, является также одним из самых эффективных методов защиты поверхностей от водородного изнашивания, она не пропускает проникновения водорода в контактирующие стальные поверхности. В последующие три десятилетия (1960 - 1990 годы) происходило дальнейшее

изучение научных открытий эффекта безызносности и водородного изнашивания металла.

Большую помощь в развитии эффекта безызносного трения и водородного изнашивания металлов, оказал известный физик и химик с мировым именем П. А. Ребиндер, который организовал широкое обсуждение двух открытий на руководимой им секции АН СССР физико-химической механики материалов, а также на всех конференциях по трению и износу в машинах, проводимых в России.

В настоящее время развитие двух научных открытий выделилось в отдельное направление, как раздел трибологии на основе самоорганизации. Это связано с тем, что самоорганизующиеся процессы при трении особенно в использовании принципиально новых смазочных материалов стали занимать первенствующее значение в смазочном действии (работы д.т.н. В.Г. Бабеля), кроме того учитывалось также работы по созданию нового метода испытаний смазочных материалов на их антифрикционные свойства и термостойкость, (Гаркунов Д.Н. и Мельников Э.Л.), а также работы по использованию металлоплакирующих смазочных материалов при различных видах обработки металлов (А.В. Щедрин) и, конечно, следует отметить особо значительное влияние научных открытий, оказываемое на интересы здоровья и охрану окружающей среды. В последнем десятилетии большое внимание было уделено изданию учебников и учебных пособий по трибологии на основе самоорганизации.

Открытие явления избирательного переноса при трении высветило неизвестную ранее сторону процесса износа, которая явилась ключом к созданию смазочных материалов на принципиально новой основе, обеспечивающих минимальное трение сопряжений и работающих практически без износа.

Установлены сложные, проходящие на атомно-молекулярном уровне физико-химические процессы в зоне контакта трущихся поверхностей при наличии специально созданных композиций в смазке приводят при трении к самоорганизующимся процессам в узлах трения механизмов и машин.

Практическую значимость представленных открытий следует рассматривать с двух позиций: экономической и экологической, в концепции устойчивого развития.

Экономическая значимость определяется продлением ресурса машины при сохранении ею исходных рабочих характеристик. При эксплуатации машин в режиме безызносного трения, уменьшается расход топлива, энергии, количество запчастей, уменьшаются вредные выбросы.

Для экологии важно ещё и другое: при продлении ресурса работающего оборудования, сокращается выплавка металла, требуемого для производства нового. При этом следует помнить, что при производстве одной тонны стали затрачивается одна тонна кислорода, который окисляет примеси в шихте и чугуне, образуя вредные CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, сернистые газы и др. И их уже не тонна, а много больше. Эти вещества отравляют всё живое на земле, в воде, в атмосфере.

Сократить их – это вторая и может быть не менее важная часть, решению которой способствует открытие – эффект Гаркунова – безызносное трение.

Широкое использование этих открытий в промышленно развитых странах может существенным образом повлиять на экологическую обстановку на Земле.

Новаторские идеи в области трибологии, автор двух основополагающих открытий безызносного трения и водородного изнашивания Д.Н.Гаркунов изложил в учебнике по триботехнике, переиздававшийся 5 раз, энциклопедическом двухтомном труде «Триботехника, износ и безызносность» и «Триботехника, конструирование, изготовление, эксплуатация машин».

Все пять разделов этого труда проиллюстрированы результатами исследований эффектов безызносности и водородного изнашивания многих авторов.

На основе этого учебника в 2008 году в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан и издан учебник «Триботехника, краткий курс», рекомендованный для инженерных специальностей всех машиностроительных вузов.

Вторая международная конференция «Триботехника на новом этапе своего развития»

рекомендовала ввести в учебные планы всех машиностроительных специальностей курс «Инженерная триботехника».

Работы Д.Н. Гаркунова, его учеников и последователей неоднократно отмечались премиями Совета министров и Президента Российской Федерации.

В настоящее время отделение, руководимое Д.Н. Гаркуновым, насчитывает 27 всемирноизвестных учёных трибологов, каждый из которых разрабатывает своё научное направление в области безызностного трения.

Членами отделения безызносности за последнее десятилетие выпущено 12 монографий, свыше 150 статей, защищено 25 патентов на изобретение в области самоорганизующихся процессов в трибосопряжениях механизмов и машин.

По инициативе отделения проведены российские и международные конференции, по вопросам безызностного трения и водородного изнашивания металлов в 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 (МГАУ им. Горьчкина), 2012 (РОСНОУ, г. Орехово-Зуево).

Подготовлено свыше 200 докладов по вопросам дальнейшего изучения, а также использования открытий Д.Н. Гаркунова в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве.

При МГТУ им. Н.Э. Баумана приказом ректора создан консультационный пункт по вопросам трибологии, который отвечает на все вопросы с мест, ведёт научные консультации, готовит научных работников, преподавателей для ВУЗов и предприятий.

Отделением совместно с рядом ВУЗов страны разработано 8 учебников и учебных пособий общим тиражом 30000 экземпляров.

С 2003 года при отделении на базе МГТУ им Н.Э. Баумана создана лаборатория триботехники, которая оснащена четырьмя машинами трения. В лаборатории выполнены научно-исследовательские работы по оценке термостойкости и износостойкости смазочных материалов и композиций. Всего исследовано 252 смазочных материала на термостойкость, свыше 10 смазочно-охлаждающих жидкостей. Работы проводятся с привлечением студентов МГТУ им Н.Э. Баумана.

Заседания секции проводятся 1 - 2 раза в год, заслушиваются научные и практические разработки членов отделения, результаты внедрений патентов и открытий в области трибологии.

В 2013 году членами отделения (Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Суранов, Г.Н.) была подготовлена монография «Трибология на основе самоорганизации», которая в настоящее время находится в издательстве «Машиностроение» г. Москва.

Разработана методика проведения экспресс-анализа смазочных материалов на термостойкость № 01-13-ОД-2011, прорабатывается вопрос о присвоении ей статуса ГОСТа.

Также необходимо отметить функционирование международной школы по вопросам трибологии на основе самоорганизации в России, Германии, Польше, Литве, Болгарии, Казахстане, Украине, Монголии, насчитывающей около 70 трибологов, активно внедряющих в жизнь открытия отечественных учёных Гаркунова Д.Н., Крагельского И.В.

#### **Литература**

1. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин/ Гаркунов Д.Н.: изд. МСХА, 2002 с. 632.
2. Триботехника, Гаркунов Д.Н.: М. Изд. КноРус, 2011 – с. 408.

#### **Разработка технологии повышения стойкости крупногабаритных матриц штампов**

Серёжкин М.А., д.т.н. Мельников Э.Л.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
8-916-378-89-52, [pehobator@rambler.ru](mailto:pehobator@rambler.ru)

*Аннотация.* Разработана технология повышения стойкости крупногабаритных матриц штампов. Определен максимум контактных нагрузок на вытяжном ребре