

УДК 621.891:669.018.44

Ищенко Л.И., Цыганов В.В.

Запорожский национальный технический университет. Украина, г. Запорожье

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ГТД ПРИ СЛОЖНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ИЗМЕНЕНИЕМ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Рассмотрены условия изнашивания трибосопряжений ГТД и износостойкость сплава ХТН-61 при трении в условиях сложного нагружения, высоких и отрицательных температур. Разработана методика проведения ускоренных испытаний моделей фрикционных пар в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации трибосопряжений с различными видами нагружения. Показана возможность управления интенсивностью изнашивания сплава с учетом особенностей формирования поверхностного слоя при контактировании.

Ключевые слова: изнашивание, образец, сложное нагружение, трение, поверхностный слой.

Из анализа условий работы и конструкционного исполнения деталей ГТД следует, что характерной их особенностью является большое разнообразие механизмов трения при контактном взаимодействии, что вызывает неодинаковую их износостойкость. Сочетание одновременного воздействия на трибосопряжение таких факторов, как: нагрузка в контакте и ее динамический характер приложения,

кинематика взаимного перемещения поверхностей при приложении нормальной нагрузки в условиях с разрывом контакта, изменяющиеся температуры от (-50 °С до +1000 °С) не может не внести свои коррективы в общепринятые (при раздельном влиянии факторов) механизмы разрушения поверхностных слоев материала. Кроме того, с увеличением длительности работы трибоузла происходит постепен-



ное изменение условий изнашивания. Меняется динамический режим нагружения (как правило, в сторону повышения динамической составляющей нагрузки за счет увеличения зазоров), характер взаимодействия деталей в узле (износ при фреттинге может переходить в режим износа при ударе с последующим проскальзыванием), контактирование в упругой области сменяется контактированием в упруго-пластической или пластической областях.

Важным вопросом является также разработка требований к конструкции самолетов и вертолетов специальных вариантов применительно к температурам их эксплуатации. Так, ряд материалов обычно применяемых в авиационной, не вполне пригоден для эксплуатации в условиях Заполярья. Как известно, температура воздуха у земной поверхности может колебаться в весьма широких пределах. Зарегистрированы температуры от +60 до -85 °С, однако практический интерес представляет диапазон температур от +50 до -70 °С. Наиболее опасным является сочетание низкой температуры с высокой влажностью (средняя влажность 88% в течение года колеблется от 85 до 95%) [1].

Причем, необходимо учитывать и повышенные температуры, при которых работают детали горячей части ГТД. Источником этих температур является газовая среда, состоящая из продуктов сгорания топлива. Так максимальная температура бандажной полки может достигать 1000 °С, а скорость нагрева при переходе с режима малого газа на взлетный — 42 град/с [2].

В настоящее время нет полного представления о взаимосвязи многочисленных факторов, действующих на трибосистему, особенно такую сложную, как та, которая имеет место в трибоузлах ГТД. При этом особенностью контактного взаимодействия является наличие нескольких видов контакта поверхностей: трения в результате колебательных соударений, трения в противоположно чередующихся направлениях и трения в противоположно чередующихся взаимно перпендикулярных направлениях. Эти виды контакта в реальных парах чаще всего накладываются друг на друга.

Если детали, повреждающиеся в условиях приложения циклических нагрузок расположить в ряд по конструктивным признакам, определяющим форму контактирующих поверхностей, то получим следующие примерные соотношения: плоскостные детали — 46%, корпусные детали — 20%, детали типа диск, кольцо — 18%, вал, ось — 12%, прочие — 4% [2].

К группе плоскостных деталей следует отнести рабочие лопатки турбины, у которых изнашиваются бандажные полки, сопловые лопатки (изнашивающимися элементами являются полки передней фиксации), антивибрационные полки вентиляторных лопаток, установочные фланцы, дистанционные пластины и другие элементы, испытывающие высо-

кие уровни вибраций и динамического нагружения, вызванные действием периодически изменяющихся во времени сил давления газов или набегающего воздушного потока, а также неуровновешенных вращающихся масс.

К корпусным деталям в первую очередь относятся корпуса сопловых аппаратов всех ступеней турбины, в которых интенсивному изнашиванию подвержены торцы передней фиксации лопаток.

Причем, как показывает анализ конструкционного исполнения и особенностей изнашивания указанных деталей авиационного двигателя, эксплуатируются в большей степени в условиях нагружения в виде соударения с проскальзыванием (двумерное нагружение) бандажные полки рабочей лопатки турбины и лопатки соплового аппарата, корпус внутренней соплового аппарата, штифт фиксирующий камеры сгорания. Нагружению в виде соударения с проскальзыванием в двух взаимно перпендикулярных направлениях (трехмерное нагружение) в большей степени подвержены зубья ведущей и ведомой шестерен, козырек межпазового выступа диска IV ступени, трактообразующий козырек диска II ступени и диск КВД, хвостовик лопатки компрессора и III ступени КНД, контрольный замок в месте контакта с хвостовиком лопатки компрессора низкого давления, торцевые шлицы диска, центробежного колеса компрессора и торцевые поверхности внутреннего полукольца шарикоподшипника вспомогательной силовой установки и другие. При этом указанное разделение трибоузлов по видам нагружения условно, учитывая их изменение в процессе работы вследствие возникновения вибраций, действующих в различных направлениях.

Для современных энергетических установок и в частности авиационных двигателей ресурс определяется долговечностью наиболее ответственных деталей таких как диски, рабочие и сопловые лопатки турбины, срок службы которых во многом зависит от износа конкретных поверхностей. Так, например, износ бандажных полок турбины на 0,5 мм вызывает почти десятикратное повышение вибрационных напряжений в пере лопатки, что приводит к усталостному разрушению последней и отказу двигателя в целом. Если учесть, что только в одном рабочем колесе турбины количество таких лопаток может быть более 100 (в зависимости от конструкции двигателя), то вероятность отказа изделия при разрушении лопатки значительно повышается [2].

Исследование износостойкости турбинных лопаток, которые работают в условиях совместного действия механической нагрузки и относительных перемещений контактирующих поверхностей показывают, что имеют место определенные трудности в моделировании этих факторов. Наиболее полно условия нагружения могут быть воспроизведены на натурном стендовом авиадвигателе, однако такие

испытания дают недостаточно достоверные результаты при большой длительности и очевидной дороговизне.

В мировой практике прослеживается направление развития функционально ориентированных методов исследований. Это вполне закономерно, поскольку проектирование трибоузлов на основе обычных конструктивных решений без учета специфики условий их эксплуатации (прежде всего изменения нагрузочных параметров во времени) зачастую приводят к тому, что такие трибосопрежения оказываются недостаточно надежными. Подтверждением сказанному является анализ статистических данных, согласно которому число отказов двигателей увеличивается с повышением времени их работы на неустановившихся динамических режимах. Уместно отметить, что достоверность получаемых результатов при натурных испытаниях весьма низка из-за большого разброса контролируемых величин, который является следствием изменяющегося во времени характера контактного взаимодействия. Этот характер у каждой отдельно взятой машины (двигателя) является своим и будет зависеть как от конструктивных особенностей изделия, так и от технологии его изготовления.

В связи с этим предпочтительным является применение при исследованиях фрикционных процес-

сов специально разработанных установок, работающих при контактных нагрузках, прикладываемых в разных направлениях, например, при трении с соударением [3]. Данные установки позволяют моделировать соударение с проскальзыванием при возвратно-поступательном перемещении за счет крепления испытуемых образцов на плоских пружинных держателях и привода от электродвигателя через диск с неуравновешенной массой или специального кулачка. Для проведения испытаний при температурах, которые отличаются от комнатных, предусмотрена возможность проведения испытаний в камере, где поддерживаются необходимые температуры. Это позволяет испытывать образцы в условиях приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Схема более многофункциональной установки, в которой проскальзывание в двух взаимно перпендикулярных направлениях обеспечивается за счет соответствующих узлов, представлена на рисунке 1. Соударение образцов при испытаниях происходит в результате колебаний образца при вращении диска с неуравновешенной массой [4].

Эта установка является наиболее приемлемой для проведения модельных испытаний износостойкости в условиях приближенных к натурным условиям эксплуатации большинства трибосопрежений ГТД, так как позволяет регулировать параметры на-

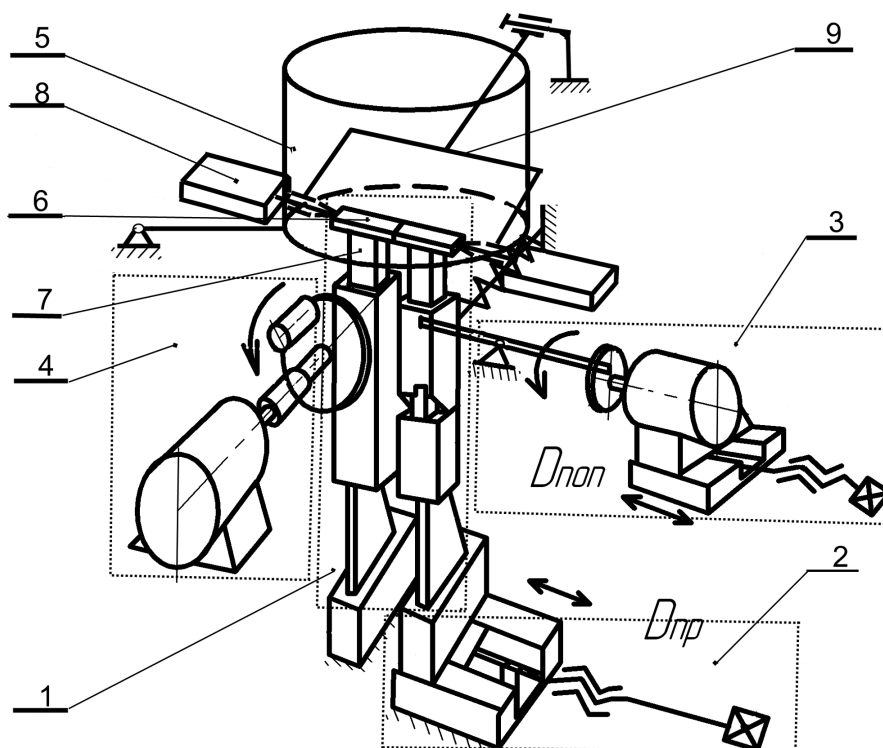


Рис. 1. Схема установки с неуравновешенной массой:

1 – узел крепления образцов; 2 – узел задания нормального статического нагружения; 3 – узел задания поперечного перемещения; 4 – узел задания продольного перемещения и энергии удара; 5 – узел задания температуры; 6 – образец; 7 – державка; 8 – датчик; 9 – вилка



гружения по трем направлениям. Кроме того, в случае необходимости выделения процессов в «чистом виде», есть возможность проводить испытания с различным нагружением образцов с разрывом и без разрыва контакта, т.е. только с колебаниями и проскальзыванием в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При этом специальный узел при необходимости позволяет обеспечить контакт между образцами только при движении в одном направлении, а при движении в противоположном направлении контакт разрывается. Если колебательное движение, которое обеспечивает проскальзывание в поперечном направлении, происходит в той же фазе, что и движение в продольном направлении, то в поперечном направлении будет происходить не реверсивное, а однонаправленное прерывистое проскальзывание.

Необходимо учитывать, что в условиях нормального переменного нагружения разрыв контакта ведет к изменению его значения от нуля при отсутствии контактирования до очень больших значений в момент соударения. С повышением энергии удара амплитуда нормального нагружения увеличивается.

Устройство состоит из узла крепления образцов 1, узла задания нормального статического нагружения 2, узла задания продольного перемещения и энергии удара 4, узла задания поперечного перемещения 3, узла задания температуры с шарнирным креплением 5 и узла контроля износа образцов, которые закреплены на державках. Узлы 2, 3, 4 обеспечивают трехмерность нагружения образцов — удар и проскальзывание в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Узел контроля износа образцов имеет два контактных датчика, которые установлены на вилке.

Предложенный стенд может быть использован для оценки на моделях фрикционных пар работоспособности фрикционных материалов в узлах реальных конструкций. При испытании узлов трения на стендах в широком диапазоне реализуются основные режимные параметры, обеспечивающие проведение испытаний по методу натурного моделирования и методу ускоренных испытаний на износостойкость большого числа реальных трибосопряжений. Появляется возможность обеспечить необходимый комплекс факторов механического нагружения — трехмерная динамическая нагрузка, разделять факторы нагрузки, а также объединять в разных комбинациях, регулировать и контролировать параметры нагружения, в том числе в ходе цикла испытаний (в натуральных условиях это невозможно).

Управление работоспособностью трибосопряжений невозможно без применения комплекса современных методов оценки состояния поверхностного слоя образцов после испытаний на указанных установках. Оценку физико-механических свойств поверхностного слоя производили путем анализа проч-

ностных и деформационных характеристик трибоспектральным методом [5] по методике Национального авиационного университета [6] и методом акустической эмиссии изменением работы выхода свободных электронов [7]. Они позволяют определить изменение формирования в поверхностном слое кристаллитов с различными прочностными и деформационными свойствами, структурное и энергетическое состояние поверхности, степень пластической деформации. Появляется возможность рассмотреть, как деформирование металлов при трении с различными схемами нагружения приводит к структурным преобразованиям на поверхности и соответствующему изменению энергетического рельефа поверхности, что позволит сформировать триботехнический принцип минимизации износа и установления износостойкой способности материалов.

Как показали результаты предварительно проведенных исследований, величина и распределение износа по контактной поверхности при трении зависит от распределения нормальной динамической нагрузки. Изменение характера нагружения при трении приводит к изменению состояния поверхностного слоя и, как следствие, изменению износостойкости трибосопряжения. Установлено, что повышенный износ происходит у деталей с однородным равнопрочным поверхностным слоем, содержащем фрагменты (кристаллиты) близких размеров и прочности. Увеличение поперечных проскальзываний при трении с трехмерным нагружением способствует образованию более однородного поверхностного слоя, снижению его прочности, получению более равномерной микрогеометрии поверхности, которая сопровождается снижением величины и разброса работы выхода электрона по поверхности. Степень этих изменений существенно зависит от химико-физических свойств материалов и условий трения [8].

В частности, с целью выявления особенностей износостойкости сплава ХТН-61, который в настоящее время является одним из наиболее часто применяющихся износостойких материалов для деталей ГТД, которые эксплуатируются в экстремальных условиях, были проведены испытания в условиях высоких температур (20, 500, 900 и 1000 °С) и сложного нагружения в среде горения авиационного керосина. Контактное взаимодействие двух плоских образцов моделировалось в режиме соударения с последующим проскальзыванием. При этом получено снижение интенсивности изнашивания при высоких температурах в сравнении с результатами, которые отмечены при исследованиях с температурой 20 °С, что объясняется образованием прочно сцепленной с металлом износостойкой оксидной пленки [9].

Для измерения работы выхода электрона исследуемых образцов в работе использовался метод динамического конденсатора Кельвина, в котором измерение производится по контактной разности

потенциалов, возникающих между измеряемой поверхностью и поверхностью эталонного образца. При этом измеряемый и эталонный образцы формируют плоский конденсатор и не контактируют между собой. Измерения контактной разности потенциалов в работе выполнялись при атмосферном давлении. Частота колебаний электрода-эталона из золота составляла 500 Гц, диаметр 1,4 мм. Распределение работы выхода электрона определяли сканированием с шагом 0,2 мм по одной линии в центре рабочей поверхности образцов с точностью до 5 мэВ. Образцы перед измерениями протирались спиртом и выдерживались одни сутки до установления термодинамически равновесного состояния поверхности. Результаты измерений работы выхода электрона с поверхности исследуемых образцов представлены на рис. 2. Измерить распределение работы выхода электрона образца после испытаний при температуре 1000 °С не удалось из-за плохой компенсации сигнала в процессе измерений, вследствие образования на поверхности сложных вторичных структур.

Состояние реальной поверхности металлов связано с формированием на поверхности электрических дипольных моментов и локальных электрических зарядов, которые определяют величину электростатического барьера в работе выхода электронов. Как следует из представленных результатов, высокая температура при трении сплава ХТН-61 приводит к получению поверхности с большим значением величины и уменьшением разброса работы выхода электрона.

Аналогичные данные получены в результате контактного деформирования сплава ХТН-61 при трении с трехмерным нагружением (удар с проскальзыванием в двух взаимно перпендикулярных направлениях) при температуре 20 °С. Структурная перестройка поверхностного слоя сопровождается изменением энергетического рельефа поверхности. Повышение износа образцов характеризуется уменьшением величины работы выхода электрона [10].

Большое значение при этом имеет увеличение числа дислокаций и дислокационных ступенек с ростом пластической деформации. Как известно, дислокационные ступеньки несут электрический заряд, т.е. образуют электрические диполи. Меньшее значение величины работы выхода свободного электрона при нормальных температурах вызвано ростом количества заряженных микроскопических дислокационных ступенек, которые формируются на поверхности в процессе трения под влиянием внешних сменных напряжений и уменьшают износостойкость исследуемых поверхностей. Уменьшение разброса в значениях работы выхода электрона при высоких температурах указывает на повышение при этом однородности поверхностного слоя.

Кроме того, были проведены исследования износостойкости образцов из сплавов ХТН-61 в условиях трения с однонаправленным возвратно-поступательным скольжением (одномерное нагружение), ударе с проскальзыванием (двумерное нагружение), ударе с проскальзыванием в двух взаимно перпендикулярных направлениях (трехмерное нагружение)

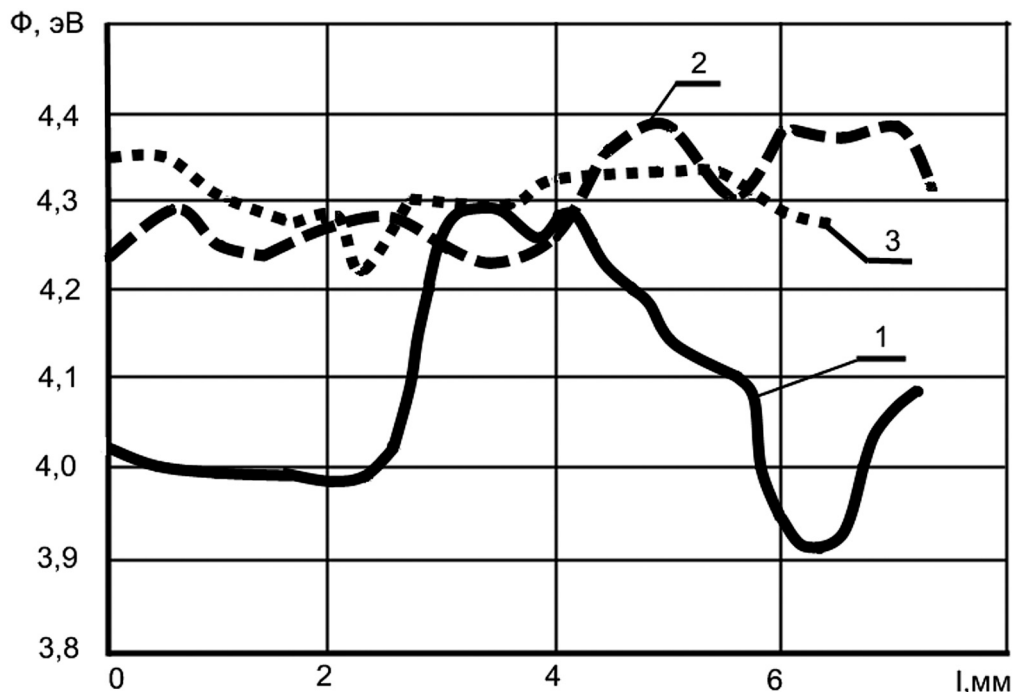


Рис. 2. Распределение работы выхода электрона вдоль поверхности образцов после изнашивания при различной температуре 1 – T = 20 °С; 2 – T = 500 °С; 3 – T = 900 °С

при нормальных условиях и с охлаждением до температур $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нормальная удельная ударная нагрузка составляла от 0 до $0,6\text{ Н/мм}^2$, взаимное перемещение образцов в продольном направлении происходило с амплитудой $0,17\text{ мм}$ и частотой 66 Гц , в поперечном направлении — $0,05\text{ мм}$ и частотой 33 Гц , время испытаний — до 4 часов. Отрицательная температура при испытаниях достигалась за счет нагнетания паров жидкого азота в камеру узла задания температуры.

Как следует из полученных результатов, износостойкость исследуемого материала при рассматриваемых условиях трения и отрицательных температурах выше, чем при положительных температурах независимо от вида нагружения. Усложнение характера нагружения образцов при трении приводит к увеличению износа, как при положительных, так и при отрицательных температурах. В частности, сообщение образцам поперечных проскальзываний с амплитудой до $0,05\text{ мм}$ (трехмерное нагружение) приводит к увеличению объемной интенсивности изнашивания при положительной температуре в 2,5 раза, а при отрицательной температуре — в 3,2 раза по сравнению с объемной интенсивностью изнашивания при двумерном нагружении ($A_{\text{пол}}=0$).

Физико-механические свойства поверхностного слоя образцов определяли методами непрерывного вдавливания и сканирования индентором на прибо-

ре «Микрон-гамма». Метод непрерывного вдавливания индентора, реализуемый на приборе «Микрон-гамма», основан на автоматической регистрации глубины внедрения в зависимости от приложенной нагрузки на индентор. Метод сканирования базируется на непрерывной регистрации сопротивления движению индентора по поверхности (тангенциальная составляющая силы трения индентора) с заданной нагрузкой. Определение статистических связей между сопротивлениями локальных микрообъемов материала контактному деформированию позволяет произвести комплексную оценку состояния поверхностного слоя на трассе сканирования и, в частности, позволяет оценивать среднюю прочность на трассе сканирования, оценивать разброс и неоднородность прочностных свойств, моделировать элементарные акты процессов трения и износа

Оценку состояния поверхностного слоя образцов на приборе «Микрон-гамма» осуществляли с использованием программ для управления, сбора и обработки информации при сканировании по методике Национального авиационного университета [5]. Режимы сканирования: величина нагрузки на индентор — $0,1\text{ Н}$; скорость нагружения — $0,01\text{ Н/с}$; скорость сканирования — 40 мкм/с .

Результаты сканирования образцов двумя указанными выше методами после испытаний с отрицательными температурами при различных видах на-

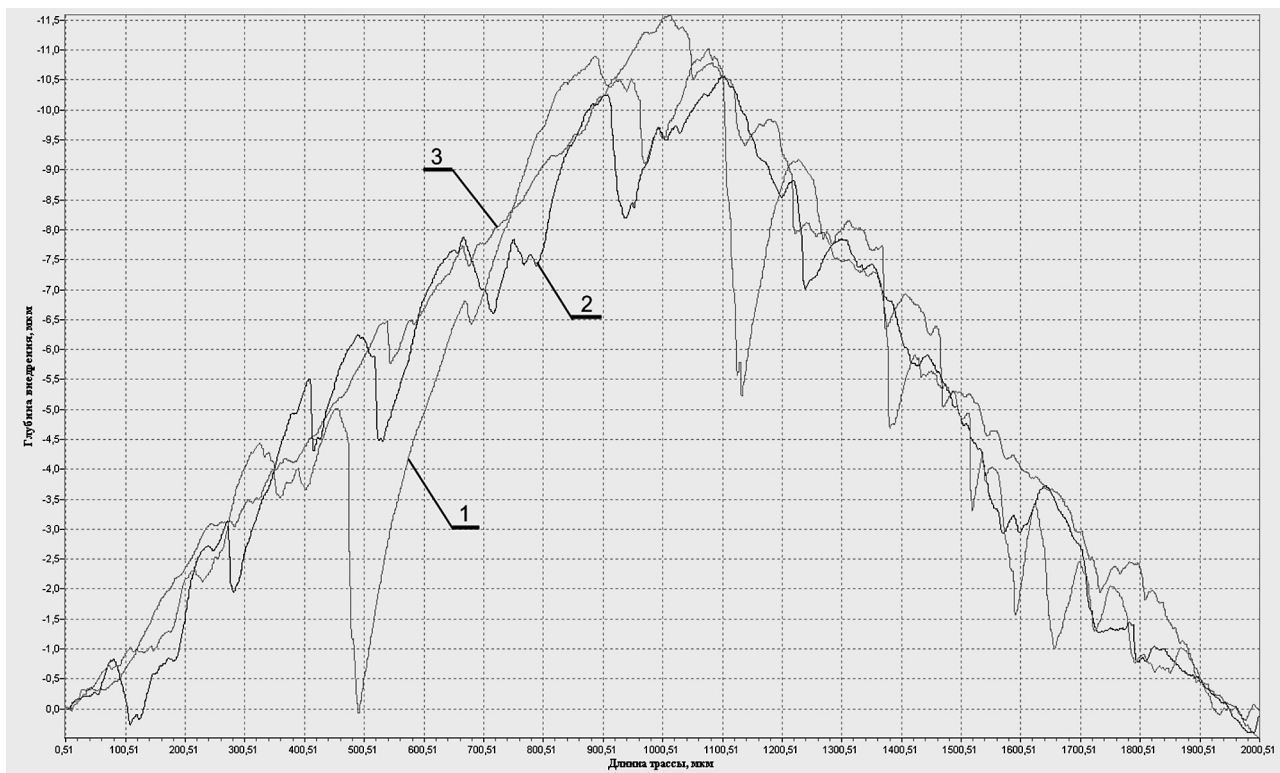


Рис. 3. Трибограммы силы трения при сканировании методом непрерывного вдавливания индентором образцов после трения при отрицательных температурах и различных видах нагружения: 1 — одномерное; 2 — двумерное; 3 — трехмерное

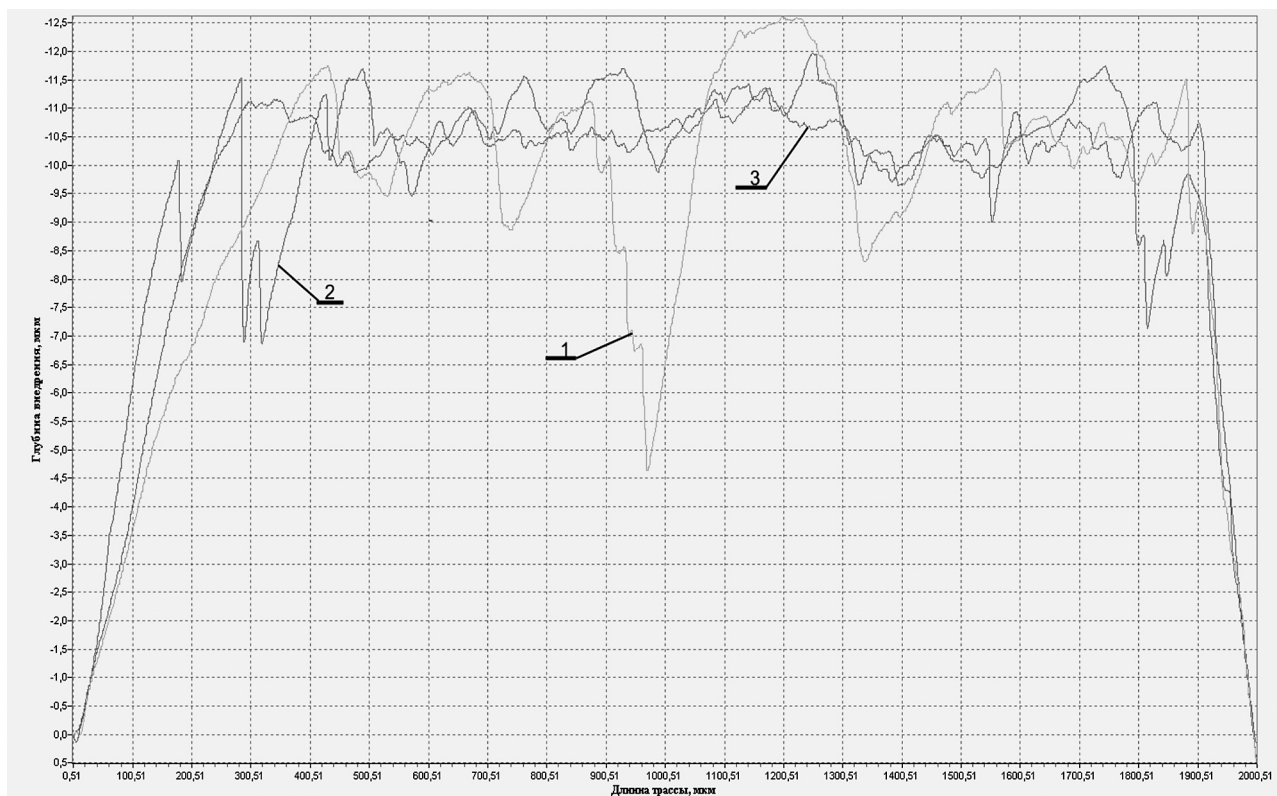


Рис. 4. Трибограммы силы трения при сканировании индентором с заданной нагрузкой образцов после трения при отрицательных температурах и различных видах нагружения: 1 – одномерное; 2 – двумерное; 3 – трехмерное

гружения представлены на рисунках 3 и 4. Полученные данные состояния поверхностного слоя согласуются с экспериментами по оценке соотношения механических свойств, параметров структуры и износостойкости при нормальных условиях. Как следует из анализа трибограмм силы трения индентора, повышение сложности нагружения в трибосопряжении сопровождается уменьшением разброса силы трения при сканировании. Наименьший износ наблюдается при одномерном нагружении с образованием наиболее неравномерного поверхностного слоя (трибограмма 1). Трехмерное нагружение, которое сопровождается наибольшей величиной износа, приводит к выравниванию прочностных и деформационных свойств, повышению однородности и равнопрочности поверхностного слоя (трибограмма 3). Причем, неизменный характер трибограмм при сканировании по всей глубине вдавливания (рис. 3) указывает на отсутствие существенного изменения прочностных и деформационных свойств материала по глубине поверхностного слоя. Это позволяет пренебречь возможным влиянием на износостойкость незначительного азотирования поверхности, которое может возникнуть вследствие подачи в зону контакта паров жидкого азота.

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что совместное действие динами-

ческих и температурных нагрузочных факторов инициирует в поверхностном слое деформационные процессы, способствующие изменению структурного и напряженного состояний с оказанием существенного влияния на изнашивание деталей. Повышенный износ, как при положительных, так и при отрицательных температурах, как правило, происходит у деталей с однородным равнопрочным поверхностным слоем. Образование дисперсных структур повышенной износостойкости происходит при определенном термодинамическом воздействии с учетом особенностей физико-химических свойств материалов трибосопряжения.

Можно предположить, что сложное трехмерное нагружение (удар и проскальзывание в двух взаимно перпендикулярных направлениях), создает условия для формирования фрагментов поверхностного слоя с относительно легким прохождением дислокаций через данные кристаллиты к их границам. Это способствует снижению уровня внешних напряжений, необходимых для действия механизма ротационной пластичности в анализируемых структурах. В результате образуется поверхностный слой с более равномерной текстурой, что сопровождается повышенным износом. Изменение характера нагружения приводит к изменению состояния поверхностного слоя и, как следствие, изменению износостойкости



трибосопряжения. Неоднородный поверхностный слой препятствуют скольжению дислокаций и «передаче» деформации от кристаллита к кристаллиту. В частности, как известно [11], измельчение зерна является тем способом управления структурой, который приводит обычно к одновременному повышению прочности и вязкости металла, т. е. к увеличению сопротивления хрупкому разрушению.

Таким образом, можно предположить, что в результате контактного взаимодействия при рассматриваемом сложном термомеханическом нагружении в соответствии с синергетическими принципами на контактирующих поверхностях формируются особые диссипативные структуры. Они способны преобразовывать внешнюю механическую энергию во внутреннюю энергию деформационных процессов, что сопровождается определенной величиной разрушения в зоне контакта. Это дает возможность регулировать износостойкость трибосопряжений изменением структурного состояния поверхностного слоя, его прочностных и деформационных свойств.

Сложное взаимодействие твердых тел в контактной зоне должно учитываться при построении моделей контактирования и прогнозирования поверхностной прочности материалов при динамических нагрузках и, соответственно, условия проведения испытаний должны быть максимально приближены к реальным условиям эксплуатации. Определение закономерностей и разработка условий формирования износостойкого поверхностного слоя деталей трибосопряжений возможно на основе анализа величины износа и состояния поверхности с учетом реального вида нагружения (однонаправленное скольжение, удар с проскальзыванием, удар с проскальзыванием в двух взаимно перпендикулярных направлениях) и температуры окружающей среды. Это даст возможность рассмотреть физические основы пластически-деструкционных явлений в зоне контакта трибосопряжений с учетом действия продуктов изнашивания поверхности и разработать рекомендации по обеспечению износостойкого поверхностного слоя контактирующих деталей. Рассмотренный механизм формирования поверхностного слоя деталей трибосопряжений при сложном термомеханическом нагружении носит достаточно общий характер и может быть основой для целенаправленного формирования износостойкой структуры поверхности деталей узлов трения при их изготовлении в процессе финишной обработки или путем приработки в специально подобранных режимах и средах.

Литература

- [1] Шпилев, К.М. Самолет и природно-климатические условия. /К.М. Шпилев, А.Б. Круглов — Изд. Мин. обороны СССР, Москва 1972, 176с.
- [2] Ивченко, Л.И. Процессы контактного взаимодействия в трибосопряжениях и износостойкость жаропрочных материалов в экстремальных условиях: дис. д-ра техн. наук. — Хмельницкий, 1999, 381с.
- [3] Ивченко, Л.И. Ускоренные испытания сложнагруженных деталей трибосопряжений /Л.И. Ивченко, В.В. Цыганов, В.И. Черный //Вісник двигунобудування. — 2009. — № 1. — С. 150-154.
- [4] Пат. 53587 Україна, МПК G01N3/56. Пристрій для дослідження тертя /Івченко Л.Й., Циганов В.В.; заявник та патентовласник Запорізький нац.-техн. унів. — № и201004585; заявл. 19.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл.№19. — 2 с.
- [5] Игнатович, С.Р. Оценка поврежденности поверхностного слоя материалов при циклических нагружениях методами наноиндентирования и наносклерометрии /С.Р. Игнатович, И.М. Закиев, Д.И. Борисов //Проблемы прочности. — 2006. — N4. — С. 132-139
- [6] Запорожец, В.В. Динамические характеристики прочности поверхностных слоёв и их оценка /В.В. Запорожец //Трение и износ. — 1980. — Т.1, №4. — с.602-609
- [7] Левитин, В.В. Влияние деформации и остаточных напряжений в металлах на работу выхода электронов /В.В. Левитин, С.В. Лоскутов, В.В. Погосов //ФММ —1990. — № 9, с. 73 — 79
- [8] Ивченко, Л.И. Особенности изнашивания трибосопряжений в условиях трехмерного нагружения /Л.И. Ивченко, В.В.Цыганов, И.М.Закиев //Трение и износ. — 2011. — Том 32, № 1. С. 500-509.
- [9] Ivschenko L Processes of wear of tribojoints from heat-resistant alloy on cobaltbased at non-stationary thermomechanical contact /L Ivschenko, V Tsyganov, Y Shalapak //Scientific basis of modern technologies: experience and prospects — Monograph prepared at the Department of Principles of Engineering Mechanics of Khmelnytsky National University — Yaremche, 2011 — P346-354.
- [10] Івченко, Л.Й. Стан поверхневого шару деталей трибоз'єднань за різних схем контактування /Л.Й. Івченко, В.В Циганов, С.В. Лоскутов, С.В. Сейдаметов: сб. науч. тр. //Проблеми тертя та зношування. — Київ: НАУ, 2008. — Вип.49, том 1. — С.72-83.
- [11] Дроздов, Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях /Ю.Н. Дроздов, И.Г. Павлов, В.Н. Пучков. — М.: Машиностроение, 1986. — 224 с.

Ivschenko L.I., Tsyganov V.V.

Zaporozhye national technical university. Ukraine, Zaporozhye

INCREASE OF WEARPROOFNESS OF TRIBOJOINTS GTD AT A DIFFICULT THERMAL AND MECHANICAL LADENING THE CHANGE OF THE STRUCTURAL STATE OF SUPERFICIAL LAYER

The terms of wear of tribojoints GTD and wearproofness of alloy of HTN-61 are considered at a friction in the conditions of difficult lading, high and negative temperatures. The method of leadthrough of speed-up tests of models of friction pair is developed in terms, close by the real terms of exploitation of tribojoints with the different types of lading. Possibility of management intensity of wear of alloy is rotined taking into account the features of forming of superficial layer at a contact.

Keywords: wear, sample, difficult loading, friction, surface layer.

References

- [1] Shpilev, K.M. Airplane and natural, climatic terms. /K.M. Shpilev, A.B. Kruglov is Publ. Mins Defensive of the USSR, Moscow 1972, 176 p.
- [2] Ivschenko, L.I. Processes of contact co-operation in the tribojoints and wearproofness of heatproof materials in extreme terms: dissertation of doctor of technical sciences. Khmel'nickiy, 1999, 381p.
- [3] Ivschenko, L.I. Speed-up tests of difficult lading details of tribojoints /L.I.Ivschenko, V.V.Tsyganov, V.I.Chernyy //Announcer of construction of engines. – 2009. – № 1. – P. 150-154.
- [4] Stalemate. 53587 Ukraine, MPK G01N3/56. A device is for research of friction / Ivschenko L.Y., Tsyganov V.V.; declarant and patentee Zaporozhia national techn. univ. – № и201004585; decl. 19.04.2010; publ. 11.10.2010, Byul.№19. – 2 p.
- [5] Ignatovich, S.R. Estimation of damaged of superficial layer of materials at cyclic the ladingens methods of nanodimpling and nanomaring /S.R.Ignatovich, I.M. Zakiev, D.I. Borisov //Problems durability. – 2006. – N4. – P. 132-139
- [6] Zaporozhec, V.V. Dynamic descriptions of durability of superficial layers and their estimation /B.B. Zaporozhec //Friction and wear. – 1980. – V.1, №4. – p.602-609
- [7] Levitin, V.V. Influence of deformation and remaining tensions in metals to work of electron /B.B. Letvin, S.V. Shreds, V.V. Pogosov //FMM -1990. – № 9, p. 73 – 79
- [8] Ivschenko, L.I. Features of wear of tribojoints in the conditions of three-dimensional lading / L.I. Ivschenko, V.V.Tsyganov, I.M.Zakiev //Friction and wear. – 2011. V 32, № 1. P. 500-509.
- [9] Ivschenko L Processes of wear of tribojoints from heat-resistant alloy on cobaltbased at non-stationary thermo-mechanical contact /L Ivschenko, V Tsyganov, Y Shalapko //Scientific basis of modern technologies: experience and prospects – Monograph prepared at the Department of Principles of Engineering Mechanics of Khmelnitsky National University – Yaremche, 2011 – P.346-354.
- [10] Ivschenko, L.Y. The state of superficial layer of details of tribojoints is at the different charts of contact / L.I. Ivschenko, V.V Tsyganov, S.V. Loskutov, S.V. Seydametov: coll. of scient. labours //Problems friction and wear. – Kyiv: NAU, 2008. – Vip.49, V 1. – of P.72-83.
- [11] Drosdov, Y.N. A friction and wear is in the extreme terms / Y.N. Drosdov, I.G. Pavlov, V.N. Bunches. – M.: Engineer, 1986. – 224 p.