

в направлении ПДСС. В свою очередь создание новых противодиверсионных средств требует программного подхода, как это делается ведущими странами мира.

Проектирование ГАС ПДСС имеет свои особенности, заключающиеся в задаче обнаружения объектов, имеющих малую отражающую способность, и необходимости достижения максимальной дальности обнаружения их. Задача решается увеличением многоканальности приемных систем, использованием оптимальной обработки и сложных сигналов при оптимальном выборе параметров аппаратуры.

Литература

1. Д. Штыблук. Морской терроризм как составляющая терроризма. Угрозы и вызовы безопасности // Арсенал-XXI. – 2005. – №1-4. – С. 26-31.
2. В. Печорский. Национальная стратегия США по защите морских рубежей // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – №2. – С. 37-48.
3. С. Соколик. Угруповання міжнародного тероризму на морі. // Севастопольський військово-морський орден Червоної зірки інститут ім. П.С. Нахімова, Збірник наукових праць, випуск 2 (8). – 2005. – С. 45-51.
4. Б. Макеев. Флот в борьбе с терроризмом // Военный парад. – 2005. – №6. – С. 38-40.
5. Ю. Шамарин, А. Антосик, А. Шамарин, И. Фалеев. Принципы освещения подводной обстановки с применением гидроакустических средств // Арсенал-XXI. – 2005. – №1-4. – С. 57-63.
6. Н. Резяпов, А. Симонов. Международный терроризм на море. // Морской сборник. – 2004. – №1. – С. 67-74.
7. И Ирин. Планы НАТО по борьбе с терроризмом // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – №7. С. 69.
8. В. Мосалев. Мобильные силы и средства противотеррористической защиты объектов ВМС США // Зарубежное военное обозрение. – 2005. – №12. – С. 44-49.
9. Jane's Difence Weekly. – 2001. – v. 36, №11. – p. 15.
10. Jane's Difence Weekly. – 2001. – v. 36, №22. – p. 14.
11. Jaine's Navy International. – 2001. – v. 106, №2. – p. 4.
12. Ю Шамарин, И. Фалеев. Современные подходы в обеспечении безопасности плавания в морских регионах Украины // Севастопольський військово-морський орден Червоної зірки інститут ім. П.С. Нахімова, Збірник наукових праць, випуск 2 (8). – 2005. – С. 266-270.
13. G. Boszormeny, Development Program: Active Sonar for Security Applications // SEA TECHNOLOGY. – November 2003. – p. 15-19.
14. A complete range of systems. Active protection systems. Sea witness THOMSON MARCONY SALES & MARKETING DIRECTORATE (проспект).
15. Б. Мельницкий, В. Соколов, ЗАО «Акварин»: Десять лет на рынке морских вооружений. // Военный парад. – 2002. – №2. – С. 102-103.
16. Проспект АО НИИ «RIF ACVAAPPARAT».
17. А. Сташкевич, Акустика моря. // Судостроение. – 1966. – С. 168-172.
18. В. Тюлин. Основные явления, связанные с распространением акустических волн в морской среде. // ВМАКВ им. А.Н. Крылова. – 1956. – С. 128, 138-145.
19. А. Яковлев, Г. Каблов. Гидролокаторы ближнего действия. // Судостроение. – 1983. – С. 5, 6, 51-57.

УДК 621.81:621.891

Игнатович С.Р., Маленко В.И., Лабунец В.Ф.

Национальный авиационный университет. Украина, г. Киев

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Анотація

Досліджувалася можливість ідентифікації поверхневої міцності поверхонь деталей, що труться, авіаційної техніки методом склерометрії, що базується на безперервній реєстрації сил опору рухові впровадженого в поверхню індентора. Встановлено взаємозв'язок трибологічних властивостей матеріалів з їхнім структурним станом.

Abstract

Possibility of the components surface strength identification of aviation technique tribotechnical systems

were explored by the sklerometer method, being based on continuous registration of resistance forces to motion of indenter inculcated in the surface. Interconnection of tribological behavior of materials with their structural state is set.

Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами

Повышения качества и надежности машин и механизмов является необходимым условием технического прогресса. Современная наука и техника ставят новые задачи, связанные с развитием авиационно-космической техники, атомной энергетики, основанием океана, глубоких

недр Земли и других перспективных направлений. Надежность технических средств достигается в первую очередь путем обеспечения объемной и поверхностной прочности материалов при воздействии механических нагрузок и активной среды. В связи с тем, что подавляющее большинство современных машин выходит из строя вследствие различных видов поверхностного разрушения, важнейшее прикладное значение имеет установление причин разрушения деталей и разработка механизмов поверхностной прочности. Особенно это касается узлов трения авиационной техники, определяющих её долговечность и надежность.

В комплексе мероприятий, направленных на решение этой проблемы, важное место занимает вопрос обеспечения работоспособности узлов трения, работающих в неустановившихся режимах, которые характерны для подшипников качения и других трибоспряжений, в том числе авиационных механизмов и агрегатов. Именно в таких условиях работают роликовые подшипники в ступицах основных колес шасси самолетов, втулка несущего винта вертолета и др. В момент посадки самолета из взлетной массой 60–80 тонн происходит мощное кратковременное нагружение на трибосистему, например в ступицах колес шасси, из дальнейшим влиянием переменных нагрузок при пробеге самолета по взлетно-посадочной полосе на другие сопряженные узлы. На самолетах, где торможение происходит в течение 30–40 с, скорость скольжения фрикционной пары достигает 75 м/с, которая периодически снижается до нуля, а удельная нагрузка достигает более 50 кг/см². Максимальная мощность, развиваемая тормозами пассажирского реактивного самолета, приблизительно равна 12500 л.с.; при этом за одну посадку тормоза этого самолета выделяют 16250 ккал тепла. Если же учесть неравномерность контактируемых поверхностей в процессе эксплуатации, то удельные нагрузки достигают еще больших величин.

Для работы в таких жестких условиях при существенном изменении скорости относительного перемещения, нагрузки и температуры, характеризующих неустановившиеся режимы работы, необходимы конструкционные материалы, обладающие высокой поверхностной прочностью и способностью приспосабливаться в процессе эксплуатации в определенной смазочной среде.

Следует отметить, что оценка поверхностной прочности конструкционных материалов для данной группы механизмов, установленных на самолетах нового поколения западного производства, эксплуатируемых авиапредприятиями Украины, не проводилась.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем

Как отмечается в [1], развитие теории прочности невозможно без разработки физических основ разрушения материалов. Дальнейшая разработка аналитических (количественных) методов оценки прочности в значительной мере зависит от достоверности и полноты физических моделей разрушения, упрочнения и приспособляемости. В основе поверхностной прочности

лежит универсальное явление структурной приспособляемости материалов при трении.

Проблемы прочности износостойкости является центральными в обеспечении надежности и ресурса в машиностроении. Поэтому необходимы глубокие знания в области современных методов расчета на прочность, долговечность, износостойкость, надежность [2].

В решении проблемы объемной прочности в настоящее время в аналитическом и прикладном аспектах достигнуты значительные успехи благодаря развитию как физических, так и аналитических методов исследований закономерностей основных видов разрушения (хрупкого, вязкого, усталостного, ползучести и др.). Решение проблемы поверхностной прочности невозможно без установления данных о напряженно-деформированном состоянии тонких поверхностных слоев материалов пар трения. При этом необходимо учитывать поверхностные явления, протекающие в различных смазочных средах, образование вторичных структур, их свойства и определяющее влияние их на структурную приспособляемость.

Прикладное значение установленного Б.И. Костецким [1] явления структурной приспособляемости состоит в том, что с его помощью может быть поставлена и решена задача предельного использования запасов прочности существующих материалов, положительного влияния рабочей среды, направленного создания новых материалов и составов рабочих сред с заданными характеристиками поверхностной прочности. В настоящее время разработка частных эмпирических методов повышения поверхностной прочности за счет создания новой смазки, присадки, или материала, реализации избирательного переноса и других мероприятий уже не может удовлетворить резко возрастающих требований современной техники. Однако, использование фундаментального явления структурной приспособляемости и его закономерностей дает общий подход к решению ряда практических задач, связанных с повышением надежности и долговечности машин, разработкой новых материалов и оптимальных технологических процессов обработки деталей.

При трении и износе металлов на поверхности и в поверхностных объемах возникают различные физические, химические и механические процессы, которые и обуславливают интенсивность и характер износа. Известно [3], что возникновение и развитие этих процессов зависит от трех основных групп факторов:

1. Внешних механических воздействий (скорости относительного перемещения, удельной нагрузки, характера приложения нагрузки, температуры).
2. Среды, в которой происходит трение сопряженных поверхностей (жидкой, газовой, твердой).
3. Свойств металлов, из которых изготовлены трущиеся пары, и методов их обработки.

Изменяя те или иные факторы указанных трех групп, в сопряженных трущихся парах можно замедлять или ускорять процессы, происходящие на поверхности трения и в поверхностных объемах металла, и этим изменять интенсивность и характер износа [4].

Учитывая определяющее значение влияния поверхностной прочности материалов пар трения на их работоспособность в условиях неустановившихся режимов, актуальным является исследование этого фундаментального свойства методом трибоспектрального анализа.

Цель исследования

Настоящая работа посвящена установлению взаимосвязи поверхностной прочности со структурным состоянием поверхностных слоев деталей узлов трения летательных аппаратов.

Материалы и методика исследования

В качестве объекта исследования были выбраны роликовые конические подшипники производства компании «Timken» (США), которые установлены в ступицах основных колес самолетов Боинг-737, Боинг-767, Аэробус А-320, Макдональд Дуглас ДС-9. Эти летательные аппараты эксплуатируются и проходят техническое обслуживание на авиапредприятиях Украины.

Моделирование процессов трения, проводили по методике и на установке [5]. Кроме определения триботехнических характеристик осуществляли комплексное исследование структурного состояния поверхностных слоев деталей подшипников и модельных образцов. Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе «Neophot – 32» при различных увеличениях. Фотографии микроструктур получали с помощью цифровой фотокамеры С – 3000 фирмы «OLYMPUS». Для выявления микроструктуры исследуемые образцы протравливали 10% водным раствором азотной кислоты. Для изучения субмикроструктуры исследуемых материалов применяли сканирующий растровый электронный микроскоп – анализатор «Самсcoп – 4 DV». Количественное содержание элементов поверхностей трения определяли с помощью программы ZAF – 4/FLS. Полуколичественное распределение по площади осуществляли согласно программы Didimar и подачи информации на принтер в виде химической карты. Для определения химического взаимодействия между элементами конструкционных материалов и смазочных сред использовали подпрограмму «М», которая позволяет присваивать каждому элементу различные цвета (красный, желтый, голубой и др.), в результате чего возникает соотношение цветных гамм, соответствующих взаимодействию и концентрации химических элементов за счет изменения цвета. Исследования вторичных структур проводили на Оже-спектрометре YAMP-10S (YEOL).

Рассмотренными выше статическими методами оценить поверхностную прочность исследуемых материалов не представляется возможным. В связи с этим для определения прочности поверхностных слоев и глубины их повреждений применяли прибор «Микрон – гамма», который позволяет исследовать физико-механические характеристики поверхностного слоя материалов методами ноноиндентирования, склерометрии, топографии и металлографии. [6]

Результаты исследования и их обсуждения

Исследованию подвергали ролики и объемы подшипников, прошедших испытания на установке, моделирующей неустановившиеся режимы, на которых работают подшипники, а также детали подшипников, прошедших эксплуатационные испытания.

Обоймы и ролики подшипников изготовлены из заэвтектонидной легированной стали, содержащей в качестве легирующих элементов хром, кремний и марганец. Благодаря наличию хрома сталь прокаливается на большую глубину (до 30 мм).

Следует отметить, что эти подшипники работают в сложных условиях, особенно в момент касания самолета со взлетно-посадочной полосой и далее при пробеге по полосе с последующим торможением. Большие удельные динамические нагрузки совместно с высокими перепадами температур, возникших при торможении, являются основными составляющими внешних факторов, влияющих на работоспособность подшипников.

В связи с тем, что подшипники работают в таких жестких условиях их конструктивные элементы подвергаются термической обработке, состоящей из закалки и отпуска. Поверхностная термическая обработка токами высокой частоты обеспечивает обоймам высокую твердость (HRC 60-64) глубину 1,5–2,5 мм при сохранении вязкой сердцевины. Твердость роликов – HRC – 62–66. Повышению твердости поверхностного слоя способствуют мелкодисперсные карбиды, равномерно расположенные в мартенсите. Типичная микроструктура хромистой подшипниковой стали представлена на рис. 1.

Контакт твердых тел при трении качения дискретен и состоит из отдельных изолированных друг от друга участков непосредственного соприкосновения. При этом происходит упругое или упруго-пластическое деформирование микронеровностей поверхности, которое формирует волну напряжений, поглощаемую активными изнашивающимися и подповерхностными слоями

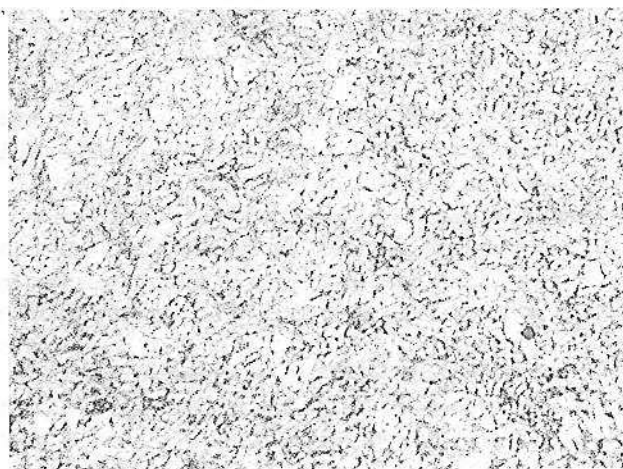


Рис. 1. Микроструктура термообработанной обоймы роликового подшипника

x1000

материала подшипника. В условиях достаточной смазки и при напряжениях не превышающих расчетных для данных подшипников на их рабочих поверхностях протекают механо-химические процессы трения, не вызывающие разрушения поверхностных слоев. На поверхностях трения не наблюдается вырывов, усталостных трещин, шиттингов. Рабочие поверхности гладкие, высокого класса чистоты, без следов разрушения (рис. 2).

В данном случае на поверхностях трения возникают вторичные структуры с равномерным распределением кислорода, железа и легирующих элементов (рис. 3).

Основным видом разрушения обоймы подшипников является усталостное изнашивание. Усталостные повреждения определяются процессами повторной пластической деформации, упрочнением и разрушением металлических поверхностей слоев, возникновением остаточных напряжений и специфическими явлениями, характерные для данного вида повреждения.

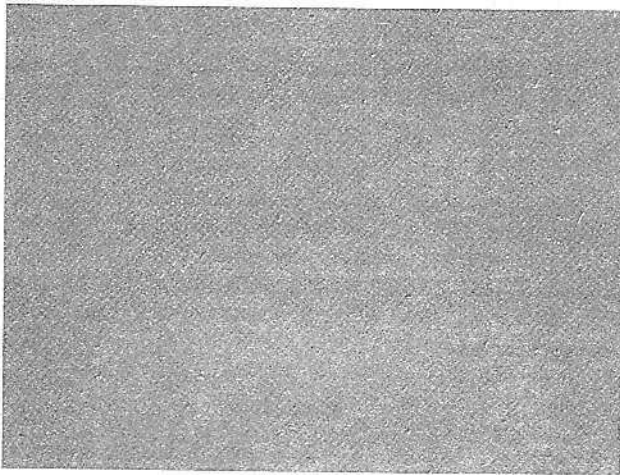


Рис. 2. Электронная фотография стальной обоймы роликового подшипника без следов разрушения

x100

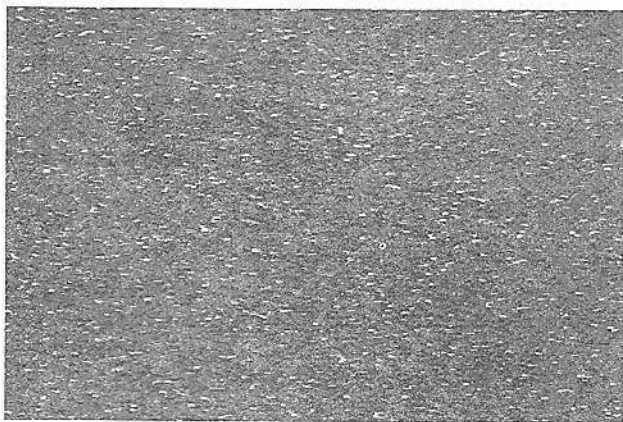


Рис. 3. Распределение (Fe, O, Cr, Mn) элементов в поверхностном слое стальной обоймы роликового подшипника

x250

Согласно [7] под контактной усталостью материала подразумевают процесс подготовки и развития разрушения поверхностных слоев материала деталей, длительно воспринимающих переменные контактные нагрузки.

Контактное усталостное разрушение проявляется в виде усталостных трещин, которые развиваясь, приводят к отделению некоторых объемов металла (рис. 4) и этим нарушают дальнейшую работу подшипника. Глубина повреждений зависит от вида смазочного материала. Так, при эксплуатации подшипника в среде пластичной смазки NYKO Grease 22 глубина повреждений достигает 18–24 мкм (рис. 5).

Размеры и характер распределения карбидов в стали играют определяющее значение в развитии усталостных трещин. Карбиды, для которых характерным является высокая твердость, обладают определенной хрупкостью. При выходе карбидов на поверхность в процессе изнашивания, они служат источниками первоначального зарождения хрупких трещин. Аналогичное явление наблюдали авторы [8] при исследовании карбидо-содержащей стали Р 6 М 5.

Так как трещины возникают на границе карбид – металлическая матрица, то их длина во многом обусловлена размером карбидных включений [9]. Таким образом, уменьшение размеров включений приводят к изменению характера разрушения деталей, подверженных динамическим контактными нагрузкам.

Существенное влияние на процессы усталостного изнашивания оказывает характер распределения карбидов в металлической матрице. Скопления карбидных включений по границам зерен приводит к возникновению трещин, стимулирующих процессы усталостного изнашивания.

Следует отметить, что неметаллические включения также являются очагами зарождения микротрещин. При исследовании микроструктуры с целью выявления неметаллических включений полированные образцы не подвергали отравлению. В некоторых случаях были обнаружены сульфиды и окисульфиды и окисульфиды

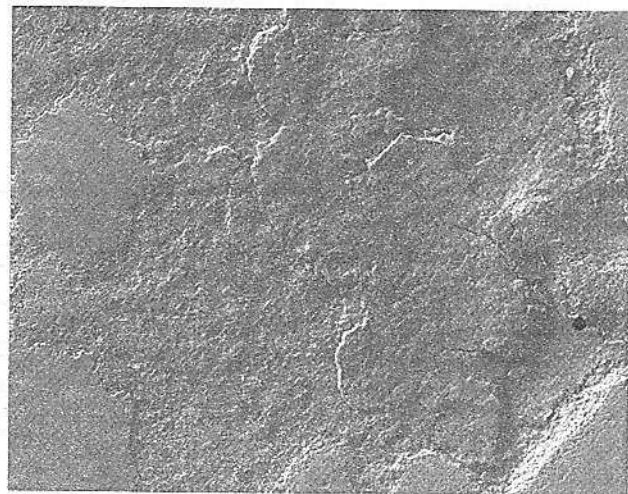


Рис. 4. Электронная фотография поверхности стальной обоймы роликового подшипника с очагом разрушения

x260

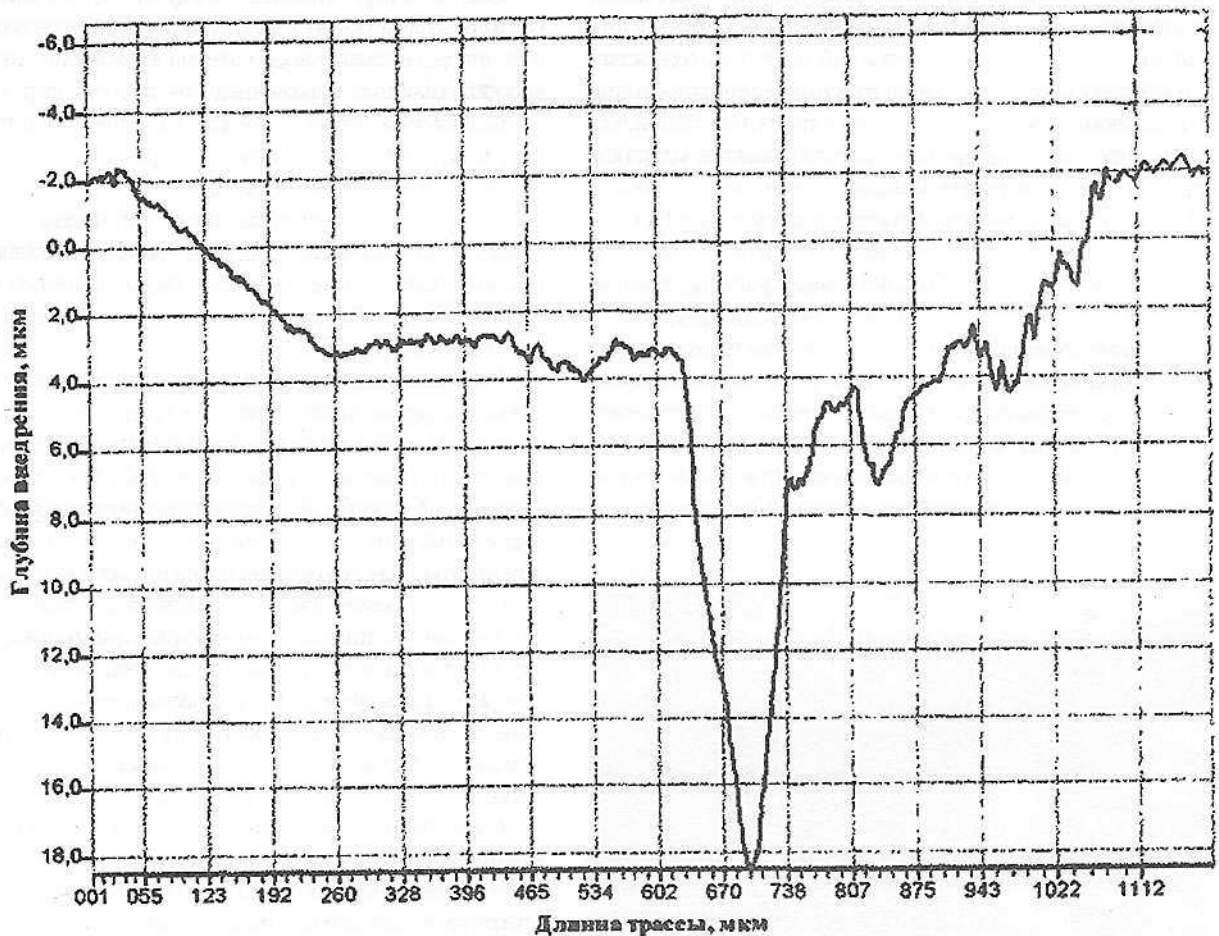


Рис. 5. Глубина внедрения индентора при скапировании поверхности стальной обоймы роликового подшипника, эксплуатируемого в среде пластичной смазки NYKO Grease 22

в виде светло-серых тонов включений, вытянутых в направлении деформации.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлена взаимосвязь прочностных свойств роликовых подшипников ступиц шасси самолетов из структурой хромистой стали.

Литература

1. *Поверхностная прочность материалов при трении* /Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техніка, 1976. – 296 с.
2. *Когаев В.П., Дроздов Ю.Н.* Прочность и износостойкость деталей машин. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
3. *Голего Н.Л.* Исследование качественных и количественных закономерностей явлений схватывания металлов и меры борьбы с ними в машинах. – К.: КИГВФ. – 59 с.
4. *Костецкий Б.И.* Сопротивление изнашиванию деталей машин М. – К.: Машгиз, 1959. – 476 с.

5. *Курдин А.П., Маленко В.И., Лабунец В.Ф.* Влияние смазочного материала на формирование вторичных структур в условиях неустановившихся режимов трения // Проблемы трибологии, 2006. – №1. – С. 158–163.

6. *Методика* исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора «Микрон-гамма» /С.Р. Игнатович, И.М. Закиев, Д.И. Борисов, В.И. Закиев// Авиационно-космическая техника и технология, 2004. – №8 (16). – С. 163–166.

7. *Питегин С.В.* Контактная прочность и сопротивление качению. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.

8. *Кенько В.М., Степанкин И.Н.* Влияние микроструктуры стали Р6М5 на износостойкость пгтампованной холодновысадочной оснастки //Трение и износ, 2000. – №3. – Т.21. – С. 323–328.

9. *Гуревич С.Е. Едидович Л.Д.* Усталость и вязкость разрушения металлов. – М.: Наука, 1974. – 310 с.