

Министерство образования Украины
ОДЕССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Б Е Л О К О Н Е Р
КОНСТАНТИН ЛЕОПАНДОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
НАПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Специальность 05.02.02 – Машинное строительство и детали машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Одесском политехническом институте.
Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Дашенко А.Ф.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Евдокимов В.Д.

- кандидат технических наук, доцент
Кравчук В.С.

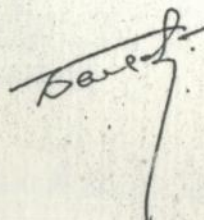
Ведущая организация - Украинский государственный институт
краностроения (г.Одесса).

Защита состоится " 9 " НОЯБРЯ 1992г. в 14³⁰ часов
на заседании специализированного совета К.068.19.02 Одесского
политехнического института по адресу: 270044, г.Одесса, просп.
Шевченко, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
политехнического института.

Автореферат разослан " 9 " ОКТАБРЯ 1992г.

Ученый секретарь
специализированного совета

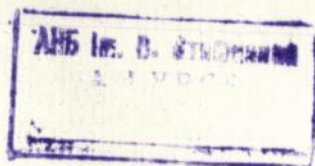


М.С.Беляев

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00816143 (N)



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях современного производства и эксплуатации машин и механизмов много внимания уделяется надежности и долговечности деталей и узлов. Большинство отказов происходит из-за изнашивания деталей трущихся пар, что приводит к потере точности машин и приборов, снижению коэффициента полезного действия (КПД), прочности деталей, увеличению шума и вибраций и т.д. Кроме того, постоянно растут расходы на восстановление изношенных деталей, что ведет к удорожанию машины, а в некоторых отраслях машиностроения (автомобилестроение, станкостроение) расходы на восстановительный ремонт и последующее техническое обслуживание превышают стоимость выпуска новых машин.

Повышение качества трущихся деталей может быть достигнуто применением износостойких и антифрикционных покрытий. В современном машиностроении применяют целый ряд методов нанесения покрытий и упрочнения трущихся поверхностей (гальванические, электрохимические, вакуумные, химико-термическая обработка и т.д.). Среди методов нанесения покрытий наиболее перспективным представляется метод детонационно-газового напыления. Достоинства этого метода (высокая адгезионная прочность сцепления покрытий с подложкой, отсутствие ограничений по выбору материалов покрытия и подложки, высокая производительность имеющихся промышленных установок) показывают, что он может дать значительный технико-экономический эффект при использовании его в машиностроении, а дальнейшее исследование покрытий, наносимых этим методом, является достаточно перспективным.

Применение метода детонационно-газового напыления для повышения износостойкости и нагрузочной способности деталей трущихся пар, обоснованный выбор покрытий с учетом условий работы машин в значительной степени ограничивается отсутствием способа оценки прочности сцепления покрытия с материалом основы (подложкой).

Используемые в настоящее время опытно полученные зависимости для определения адгезионной прочности, коэффициентов трения и износостойкости деталей с покрытиями недостаточно полно учитывают особенности их работы (условия нагружения трущихся пар, пути трения, физико-механические свойства материалов и др.). Выбор покрытий, обладающих высокой износостойкостью и антифрикцион-

ными характеристиками и использованием их в парах трения для замены дорогостоящих цветных металлов на детали из материалов общемашиностроительного применения с покрытиями, существенно скажется на стоимости машин.

Целью работы является исследование контактного взаимодействия покрытий с материалами основы, трения и износостойкости трущихся деталей с нанесенными методом детонационно-газового напыления покрытиями.

Научная новизна. В диссертации получены следующие новые результаты:

- обобщенная математическая модель контактного взаимодействия деталей с покрытиями, учитывающая действующие в парах трения силы;
- методика определения адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой;
- определены значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН), касательные напряжения и критические длины отслоений покрытий (трещин), при достижении которых происходит их неконтролируемый рост;
- зависимости износа деталей трущихся пар с покрытиями от контактного давления и пути трения;
- зависимости коэффициента трения деталей трущихся пар с покрытиями от контактного давления.

Практическая ценность. Разработанная методика определения адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой позволяет осуществлять выбор типа покрытия в зависимости от условий нагружения и физико-механических свойств материалов, а также определять значения критических длин отслоений (трещин) при которых происходит разрушение деталей с покрытиями.

Использование детонационного покрытия NiC ($Mn - 82\%$, $Cz - 12\%$, $Si - 6\%$) для упрочнения и восстановления деталей пар трения аксиально-поршневых гидромашин (АПГ) и термопластавтоматов (ТПА) позволяет повысить их износостойкость в 3-7 раз и снизить коэффициент трения в 6-8 раз.

Использование покрытий, нанесенных детонационно-газовым методом, позволяет произвести замену деталей из дорогостоящих цветных металлов и сплавов, используемых в трущихся парах большинства современных машин, на детали из материалов общемашиностроительного применения (сталь 45, 40X и др.) с покрытиями.

Реализация результатов. Разработанная методика определения адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой, а также рекомендации по упрочнению и восстановлению деталей АПП и ТПА внедрены на ПО "Стройгидравлика" (г.Одесса) и ПО "Прессмаш" (г. Одесса). Общий экономический эффект от внедрения предложенных разработок составляет 367 тыс.рублей в ценах 1991 года.

Результаты исследований использованы в отраслевой научно-исследовательской лаборатории гидропривода при Одесском политехническом институте в козоговорных работах № 710-142, 749-142, 844-142.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации докладывались: на выездной сессии АН СССР "Проблемы контактного взаимодействия, трения и износа" в г.Ростов-на-Дону (1990г.); на всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы качества механических передач и редукторов" в г.Ленинграде (1991г.); на 5-й всесоюзной научно-технической конференции "Триботехника - машиностроению" в г.Н.Новгороде (1991г.); на республиканской научно-практической конференции "Повышение износостойкости режущего инструмента и деталей машин путем нанесения упрочняющих и антикоррозионных покрытий" в г.Оренбурге (1991г.); на 4-й республиканской научно-технической конференции "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений" в г.Одессе (1991г.); на республиканской научно-технической конференции "Совершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий" оборудования в машиностроении" в г.Могилеве (1991г.); на научно-технических советах ПО "Стройгидравлика" и ПО "Прессмаш" (1990-1992 г.г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, получено 1 положительное решение по заявке на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 107 наименований и приложений, содержит **126** страниц машинописного текста, **56** рисунков и таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Показана актуальность темы диссертационной работы и проведенных исследований. Изложены основные научные результаты и положения, которые выносятся на защиту.

1. Современные технологии нанесения износостойких покрытий

Приведены сведения о современных технологиях нанесения износостойких покрытий и способов упрочнения поверхностей деталей трущихся пар. В обзор методов и способов повышения износостойкости отмечаются их особенности, преимущества и недостатки, приводится анализ известных исследований в этой области. Проанализированы следующие методы получения износостойких покрытий: химическое осаждение из газовой фазы, термо-вакуумное напыление, лазерное модифицирование и легирование, электро-искровое легирование, гальваническое напыление, газотермические методы нанесения покрытий (газоплазменный, плазменный, детонационно-газовый). Установлено, что покрытия, наносимые детонационно-газовым методом, обладают рядом преимуществ по сравнению с другими методами: высокая адгезионная прочность сцепления покрытия с подложкой (на отрыв 250 МПа), низкая пористость (1-2 %), большая плотность и твердость. Кроме того, следует отметить высокую производительность установок для нанесения покрытий, низкую температуру нагрева напыляемой детали, что позволяет наносить покрытия на окончательно обработанные поверхности.

Из анализа литературных источников и цели работы определены следующие задачи исследования:

- создание на основе теоретических и экспериментальных исследований математической модели определения контактной адгезионной прочности сцепления покрытия с материалом основы, учитывающей условия нагружения и физико-механические характеристики материалов при работе в условиях трения и изнашивания;
- уточнение оценки влияния на изнашивание деталей с покрытиями нагрузок, наработки, смазывающего материала, пути трения и других эксплуатационных факторов;
- выбор оптимального детонационного покрытия, обладающего одновременно высокими износостойкими и антифрикционными свойствами и внедрение его в машинах высоких мощностей с целью замены дорогостоящих цветных металлов пар трения;
- получение зависимостей для определения износа и коэффициента трения для различных трущихся пар деталей с покрытиями.

2. Выбор материалов детонационных покрытий и подложек

Детонационный метод нанесения покрытий позволяет использовать разнообразные металлы, сплавы, тугоплавкие соединения и композиционные материалы. Все они применяются в виде порошков, к которым предъявляются ряд специальных требований: минимальное химическое взаимодействие с продуктами детонации, определенные гранулометрический состав и форма частиц порошка, температур плавления, плотности, теплопроводности, удельной теплоемкости и т.п. Проведен сравнительный анализ промышленных порошков и их смесей, выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью. Приведены характеристики порошков и получаемых из них детонационных покрытий таких известных зарубежных фирм, как "Унион Карбайд" (США), "Плазма-Техник" (Швейцария), "Штарк" (ФРГ) и др.

Анализ существующих рекомендаций по выбору материалов пар покрытие-подложка показал, что при выборе марки покрытия необходимо руководствоваться эксплуатационными служебными назначениями и свойствами материала. По эксплуатационным свойствам различают твердые износостойкие покрытия, покрытия для работы при повышенных температурах (жаростойкие и тугоплавкие), для восстановления геометрических размеров изношенных деталей и др.

Сравнительный анализ указанных покрытий показал:

- к твердым износостойким детонационным покрытиям относятся покрытия на основе карбидов вольфрама W , хрома Cr , титана Ti , кобальта Co с никелевыми или кобальтовыми связками;

- детонационные покрытия на основе Ni и Co могут использоваться для восстановления геометрической формы изношенных поверхностей деталей, если их износ не превышает 1,5-2 мм;

- с увеличением твердости напыляемой поверхности уменьшается её способность к пластическому деформированию, что приводит к ослаблению адгезионной контактной прочности сцепления покрытия с основным материалом, возникновению сколов и отслаиванию изношенных покрытий;

- на шлифованных поверхностях адгезионная прочность сцепления покрытий значительно меньше, чем на поверхностях подвергнутых струйно-абразивной обработке электрокорундом.

3. Адгезионная прочность сцепления покрытия с подложкой

Долговечность деталей с износостойкими покрытиями, как правило, определяется адгезионной прочностью сцепления покрытия с материалом подложки. Определение адгезионной прочности связано с рассмотрением расчетных схем, учитывающих все нагрузки и силы взаимодействия в парах трения. В общем случае адгезионная сдвиговая прочность сцепления покрытия с материалом основы рассматривалась как контактная задача определения контактных касательных напряжений между покрытием и основой, с учетом возникновения внутренних напряжений в подложке. Так как из условия прочности наиболее опасными являются напряжения растяжения в покрытии, то в дальнейшем ограничиваемся только учетом остаточных напряжений растяжения.

Представим покрытие в виде полубесконечной накладки (1), передающей нагрузку к упругой полуплоскости (2) (рис.1). Пусть длина накладки $l=2b$, а контакт между накладкой и границей полуплоскости осуществляется лишь на участке $-a \leq x \leq a$, $a < b$. По верхней грани накладка нагружена распределенной нагрузкой интенсивностью $T(x)$, а в точках $x_1 = \pm b$ - сосредоточенными силами растяжения P_1 и P_2 . При этом предполагается, что в точках $x_2 = \pm a$ контактное касательное напряжение $\tau(x)$ ограничено. Решение модельной контактной задачи позволило найти касательные напряжения между покрытием и основой, и тем самым оценить адгезионную прочность сцепления покрытия с подложкой. Численная реализация рассмотренного алгоритма контактной задачи производилась методом математического моделирования на ЭВМ РС/XT на алгоритмическом языке PASCAL.

В качестве исходных данных для проверки полученных аналитических зависимостей были приняты варианты нагрузок, действующих на детали АПП. Рассматривался контакт поршня с покрытием и блока цилиндров. При составлении алгоритма расчета предполагалось, что на краях покрытий возможны отслоения основы, что приближает расчетную модель к реальным условиям эксплуатации. На рис.2 показана эпюра распределения касательных напряжений между покрытием и подложкой, из которой видно, что максимальных своих значений касательные напряжения достигают в устье отслоений покрытия (трещин). Напряжения в этой точке имеют корневую особенность. Поэтому в дальнейшем рассматривались коэффициенты

Схема контакта покрытия с подложкой

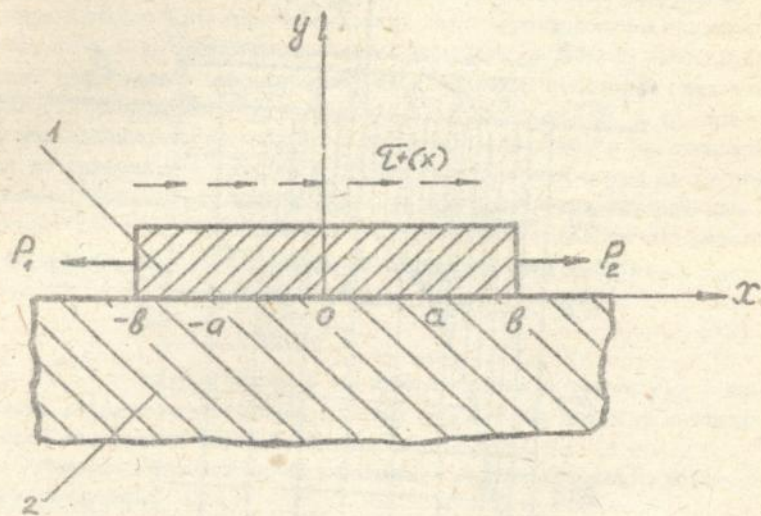


Рис. I

Эпюра распределения касательных напряжений $\tau(x)$
по длине контакта покрытия
с подложкой

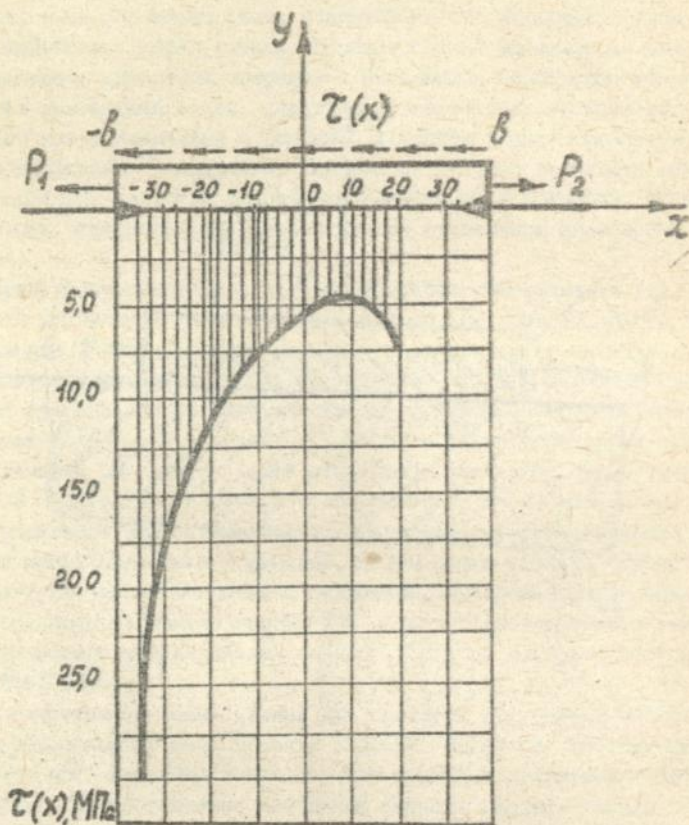


Рис. 2

при особенности у касательному напряжений K_{IIp} , известные как коэффициенты интенсивности касательных напряжений (КИН) и имеющие обозначение $K_i (i = \underline{I}, \underline{II}, \underline{III})$ в зависимости от вида деформирования берегов трещины. По полученным КИН, согласно силовому критерию Ирвина, проверялось условие прочности. Для этого определяем величину K_{IIc} (вязкость разрушения при поперечном сдвиге). Это сделано в предположении, что адгезионная прочность сцепления покрытия с подложкой определяется сопротивляемостью разрушению поверхностного слоя самой подложки. Такое предположение справедливо, т.к. в процессе детонационно-газового выплывания частицы порошка проникают в поверхностные слои подложки с большой скоростью. Вязкость разрушения K_{IIc} для различных марок сталей и др. материалов общемашиностроительного применения выбирается из стандартов по определению трещиностойкости. Тогда критическую длину отслоения покрытия от основы l_c , при достижении которой происходит не контролируемый рост, приводящий к разрушению детали с покрытием, можно определить по следующей зависимости:

$$l_c = l \left(\frac{K_{IIc}}{K_{IIp}} \right)^2, \quad (1)$$

где l - длина отслоения на краю покрытия в точке; K_{IIc} - вязкость разрушения материала основы; K_{IIp} - коэффициент интенсивности напряжения в устье отслоения (трещины).

Решение математической контактной задачи позволило установить следующее:

- нарушение адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой определяется возникновением отслоений на краях и может оцениваться величиной вязкости разрушения материала подложки;
- типичными видами разрушения деталей с покрытиями являются отслоения покрытия от основы в результате возникновения макротрещин в местах максимальных контактных напряжений;
- определены значения КИН при отрыве в устье отслоений, а также значения соответствующих критических длин отслоений, при достижении которых происходит нарушение адгезионной прочности сцепления покрытия с основой.

4. Исследование изнашивания образцов с покрытиями

На испытательной установке АЕ-5 определялись: величины из-

носов и коэффициентов трения, влияние контактного давления и пути трения на износостойкость трущихся пар. Всего исследовались пять пар трения: бронза Бр012-сталь 3ХХ2ММА, бронза Бр012-сталь 45 с покрытием NaC, бронза Бр012-сталь 45 с покрытием ЮХ (С_о - 17%, С_г - 9,6%, Ni - 73,4%), сталь 45 с покрытием NaC-сталь 45 с покрытием ЮХ1-сталь 45 с покрытием ЮХ.

По результатам опытов построены графики и получены зависимости линейных износов Δh от пути трения T и коэффициентов трения f от контактного внешнего давления P .

Из анализа графиков экспериментальных функций, можно заключить:

- наименьшее значение коэффициента трения при различных величинах контактного давления у пары сталь 45 с покрытием NaC по стали 45 с покрытием NaC. Среднее значение f данной пары опытных образцов в 4,1 раза меньше, чем у пары трения бронза Бр012 - сталь 3ХХ2ММА; в 2,1 раза меньше, чем у пары трения бронза Бр012 - сталь 45 с покрытием NaC; в 1,3 раза меньше, чем у пары трения сталь 45 с покрытием ЮХ - сталь 45 с покрытием ЮХ; в 2,4 раза меньше, чем у пары трения бронза Бр012 - сталь 45 с покрытием ЮХ;

- наибольшей износостойкостью обладает пара трения сталь 45 с покрытием NaC-сталь 45 с покрытием NaC. Среднее значение Δh данной пары опытных образцов в 11,5 раз меньше, чем у пары трения бронза Бр012-сталь 3ХХ2ММА; в 3,6 раза меньше, чем у пары трения бронза Бр012-сталь 45 с покрытием NaC; в 1,8 раз меньше, чем у пары трения сталь 45 с покрытием ЮХ-сталь 45 с покрытием ЮХ; в 4,9 раз меньше, чем у пары трения бронза Бр012-сталь 45 с покрытием ЮХ.

На основании проведенных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов установлено, что наилучшими износостойкими и антифрикционными характеристиками обладает пара трения сталь 45 с покрытием NaC - сталь 45 с покрытием NaC. Учитывая, что исследование данной пары проводилось при $P = 2,2$ МПа, для получения эмпирической зависимости Δh от T и P проводились дополнительные опыты при $P = 1 \div 5$ МПа. В результате обработки опытных данных получена зависимость:

$$\Delta h = \frac{T}{a + bT} + C, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{где } a &= 23\,690,4 + 6\,732,3P + 1497,2P^2, \\ b &= 208,2 - 30,56P - 4,5P^2, \\ c &= -0,0088 - 0,0039P + 0,0012P^2. \end{aligned}$$

5. Износостойкость покрытий в трущихся соединениях аксиально-поршневых гидромашин

Для проведения натуральных испытаний использовались детали пары трения распределитель-блок цилиндров. Серийная и экспериментальная пары устанавливались в двухпоточном регулируемом насосе 321.224. Насос испытывался на стенде для ресурсных испытаний при постоянном давлении $P = 32,0 \text{ МПа}$ на протяжении 418,5 часов. По окончании испытаний проводились измерения износа обоих распределителей на сопряженных с блоками цилиндров сферических поверхностях способом вырезанных лунок. Натурные испытания показали, что средняя износостойкость распределителей из стали 45 с покрытиями НАС в 6,4 раза больше по сравнению с серийными.

Основные выводы и результаты

1. Разработанная обобщенная математическая модель, алгоритм и программный комплекс позволяют определять адгезионную прочность сцепления покрытия с подложкой в зависимости от условий нагружения и физико-механических характеристик эксплуатируемых материалов.
2. Установлено, что адгезионная прочность сцепления может оцениваться величиной вязкости разрушения материала подложки и определяться возникновением отслоений на краях покрытия.
3. На основании решений плоской контактной задачи для контактирующих деталей с покрытиями, определены значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН), при отрыве и сдвиге в местах предполагаемых нарушений адгезионной прочности сцепления, и значения критических длин отслоений, при достижении которых возможно разрушение деталей с покрытиями.
4. Установлено, что основным видом разрушения деталей с покрытиями является отслоение покрытия от основы в результате возникновения микротрещин в местах максимальных контактных касательных напряжений.
5. Экспериментально установлено, что наилучшими триботехни-

характерными характеристиками обладает паря труения сталь 45 с покрытием NiCr-сталь 45 с покрытием NiCr. Износостойкость этой пары труения в среднем в 6-8 раз выше, на протяжении коэффициента трения в 2-3 раза ниже, чем у пар трения без покрытий.

66. Экспериментально получены образцы эластомеров и полимеров соответствующим образом обработанных давлением и коэффициентом трения от исключительного давления пар трения деталей с покрытиями. Исследовались триботехнические характеристики стальных пар трения в процессе обработки и эксплуатации при работе трения.

77. Проведены натурные сравнительные испытания выбранной пары трения без покрытий эластомерно-полимерных подшипники и термомеханического материала. Установлено, что триботехнические характеристики пар с покрытиями лучше, чем у пар трения без покрытий, что полностью подтверждено с помощью экспериментальных исследований.

88. Установлено, что эластомерно-полимерные материалы и сплавы деталей пар трения на детали из металлов и сплавов стального происхождения (сталь 45, 40X и др) с покрытиями, нанесенными детонационно-резонансным методом, существенно снижает стоимость машин.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Давыденко А.Ф., Волоконов К.И. Повышение износостойкости деталей эластомерно-полимерных подшипников путем нанесения детонационного покрытия NiCr // Детали машин. - 1992. - Вып. 54. - С. 109-111.

2. Давыденко А.Ф., Волоконов К.И. Стойкость механической обработки детонационных покрытий // Одесский политехнический институт. - Одесса, 1991. - 8с. - Доп. в УкрНИИТИ 15.01.91. № 122-У91.

3. Волоконов К.И. Применение покрытий, нанесенных детонационно-резонансным методом с целью эластомерно-полимерных подшипников и сплавов стального происхождения на материалы эластомерно-полимерного происхождения // Одесский политехнический институт. - Одесса, 1991. - 8с. - Доп. в УкрНИИТИ 26.02.91. № 265-У91.

4. Волоконов К.И. Контактная прочность сцепления детонационно-резонансных покрытий // Одесский политехнический институт. - Одесса,

1991.- 6 с.- Деп. в УкрНИИТИ 11.07.91, № 1033-Ук91.

5. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И. К вопросу промышленного применения детонационных покрытий // Одесский политехнический институт.- Одесса, 1991.- 6 с.- Деп. в УкрНИИТИ 21.01.92, № 67-Ук92.

6. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И. Повышение износостойкости деталей гидромоторов нетрадиционными методами управления качеством их поверхностей // Проблемы контактного взаимодействия, трения и износа: Тез. докл. выездной сессии АН СССР.- Ростов-на-Дону, 1990.- С.36.

7. Дашенко А.Ф., Филипович С.И., Белоконов К.И. Оценка поверхностного упрочнения зубьев на стадии просектирования // Проблемы качества механических передач и редукторов: Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф.- Ленинград, 1991.- С.33-35.

8. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И., Гижица Ю.С. Повышение износостойкости деталей машин нетрадиционными технологическими методами // Триботехника - машиностроению: Тез. докл. 5-ой Всес. науч.-техн. конф. - Москва, 1991.- С.82.

9. Белоконов К.И., Гижица Ю.С. Восстановление деталей трущихся пар аксиально-поршневых гидромашин методом детонационного напыления // Триботехника - машиностроению: Тез. докл. 5-ой Всес. науч.-техн. конф.- Москва, 1991.- С.85.

10. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И. Контактные задачи при наличии износа для деталей с нанесением на трущиеся поверхности детонационного покрытия // Повышение износостойкости режущего инструмента и деталей машин путем нанесения упрочняющих и антикоррозионных покрытий: Тез. докл. республ. научно-практической конф.- Оренбург, 1991.- 3-4.

11. Белоконов К.И. Улучшение износостойких и триботехнических характеристик узлов трения аксиально-поршневых гидромашин при нанесении покрытий детонационным методом // Повышение износостойкости режущего инструмента и деталей машин путем нанесения упрочняющих и антикоррозионных покрытий: Тез. докл. респ. научно-практ. конф.- Оренбург, 1991.- С.4-5.

12. Белоконов К.И. Использование детонационных покрытий на основе никеля в условиях электрохимической коррозии // Повышение надежности и долговечности машин и сооружений: Тез. докл. 4-ой республ. науч.-техн. конф.- Киев, 1991.- С.18-19.

13. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И., Гижица Ю.С. Влияние кор-

розии на трещиностойкость детонационных покрытий в условиях контактного взаимодействия // Повышение надежности и долговечности машин и сооружений: Тез. докл. 4-ой республ. науч.-техн. конф. - Киев, 1991. - С.73.

14. Дашенко Л.Ф., Белоконов И.И., Белоконов К.И. Повышение долговечности и износостойкости зубчатых передач методом детонационного нанесения покрытий // Проблемы прочности, надежности и долговечности зубчатых передач и редукторов: Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. - Харьков, 1991, - С.99.

15. Белоконов К.И., Гижица Ю.С. Применение метода детонационно-газового напыления для упрочнения деталей пар трения аксиально-поршневых гидромашин // Совершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении: Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. - Минск, 1991. - С.55.

16. Дашенко А.Ф., Белоконов К.И., Гижица Ю.С. Нетрадиционные технологические методы повышения ресурса и нагрузочной способности деталей машин // Совершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении: Тез. докл. республ. научно-техн. конф. - Минск, 1991. - С.65.

Гашенко

Спи рм зок 436 -100 21.09.92

Э