

КОНТАКТНАЯ ЖЕСТКОСТЬ. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*Сборник трудов международной
научно-технической конференции,
посвященной памяти д.т.н.,
профессора Рыжова Э. В.*

Брянск 2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Высшая аттестационная комиссия Российской Федерации
Академия проблем качества Российской Федерации
Международный союз машиностроителей
Администрации Брянской области и г. Брянска
Брянский научно-координационный центр
ФГУП «Издательство «Машиностроение»
Брянский государственный технический университет
Институт сверхтвердых материалов
НАН Украины
ЭНИМС
ОАО НИИ «Изотерм»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ (Станкин)
Орловский государственный технический университет
Донецкий государственный технический университет

**КОНТАКТНАЯ ЖЕСТКОСТЬ.
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Сборник трудов международной научно-технической конференции,
посвященной памяти д.т.н., профессора
Рыжова Э.В.
22-24 октября 2003

Под общей редакцией доктора технических наук А.Г. Сулова

БРЯНСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО БГТУ
2003

Контактная жесткость. Износостойкость. Технологическое обеспечение.: Сб. Тр. междунар. науч.-техн. конф. в г. Брянске, 22 – 24 окт. 2003 г. / Под общ. ред. А.Г. Сусллова. – Брянск: БГТУ, 2003. – 300 с.

ISBN 5-89838-072-8

В сборник включены материалы, отражающие научные и практические результаты в области контактной жесткости и износостойкости, а также вопросы технологического обеспечения и повышения эксплуатационных свойств деталей машин и инструментов.

Сборник предназначен для ИТР промышленных предприятий, студентов и аспирантов.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д.т.н., проф. О.А. Горленко, д.т.н., проф. А.Г. Суслов (отв. редактор), д.т.н., доц. А.В. Хандожко (зам. отв. редактора).

Редактор Королева Т.И.

Компьютерный набор Юрченко О.В.
Овдиенко А.Г.

Темплан 2003 г, п. 13

Подписано в печать 13.08.03. Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная
Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,2 Уч. – изд. л. 17,2 Тираж 200 экз. Заказ 442

Брянский государственный технический университет.
241035, Брянск, бульвар им. 50-лет Октября, 7, БГТУ. 55 – 90 – 49
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.

ISBN 5-89838-072-8

© Брянский государственный
технический университет, 2003

ТВОРЧЕСКИЙ ПУТЬ ПРОФЕССОРА Э.В. РЫЖОВА



Эдуард Вячеславович Рыков родился 8 ноября 1928 г. Окончил в 1950 г. Брянский институт транспортного машиностроения (БИТМ), ныне Брянский государственный технический университет, работал мастером на Ленинградском механическом заводе, а с 1952 по 1954 гг. учился в аспирантуре при Ленинградском политехническом институте под руководством д.т.н., проф. А.П. Соколовского, которую окончил досрочно и защитил кандидатскую диссертацию. С 1954 по 1958 гг. работал ассистентом, затем доцентом в Сталинградском сельскохозяйственном институте.

С 1958 г. научная и педагогическая деятельность Э.В. Рыжова была связана с БИТМом, где он работал доцентом кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»,

затем заведующим кафедрой «Технология машиностроения». В 1967 г. Эдуард Вячеславович защитил в Московском станкоинструментальном институте диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук «Контактная жесткость (нормальная) неподвижных соединений». В 1969 г. был утвержден в ученом звании профессора. С 1970 г. профессор Рыков – проректор по научной работе, а с 1971 по 1979 гг. – ректор БИТМа.

В 1979 г. Э.В. Рыков перешел работать в Институт сверхтвердых материалов (ИСМ) АН УССР, где до 1986 г. был заместителем директора, а затем возглавлял отдел «Технологическое управление качеством обработки поверхностей».

Профессор Э.В. Рыков известен как выдающийся ученый в следующих основополагающих направлениях технологии машиностроения:

- изучение контактной жесткости соединений, усталостной прочности, износостойкости и других эксплуатационных свойств деталей машин;
- разработка методов оценки параметров качества поверхности деталей при различной технологии их изготовления;
- разработка прогрессивных методов отделочной и упрочняющей обработки рабочих поверхностей деталей: алмазно-абразивная, электрохимическая, магнитно-абразивная, финишная

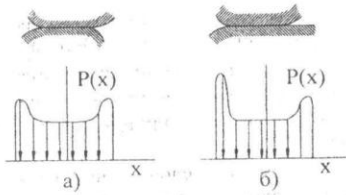


Рис. 2. Схемы контактов цилиндров с несимметричным (а) и симметричным (б) распределением давления.

ми результатами и фактическими показателями эксплуатационной надежности и работоспособности является искажение контакта поверхностей в условиях неопределенности базирования деталей машиностроительных конструкций (рис. 3).

Большинство решений контактных задач теории упругости проводится в условиях свободного контакта самоустанавливающихся поверхностей. Данная идеализация может быть описана схемой базирования по установочной поверхности, в соответствии с используемой в технологии машиностроения терминологии [4]. Однако в большинстве случаев необходимо обеспечение одновременного контакта нескольких поверхностей, что приводит к избыточности базирования деталей и появлению существенной неравномерности давлений со всеми эксплуатационными проблемами. Плотный контакт поверхностей в этих случаях может быть обеспечен лишь при использовании методов пригонки или регулировки с проверкой точности контакта по краске или копоти [5]. Другим способом создания равномерного и плотного контакта является способ регулировки положения деталей путем оптимизации их положения. Данные технологические решения позволяют значительно повысить надежность сопряжений, однако сопряжены со значительными экономическими и временными затратами и не имеют достаточного научного обоснования для использования расчетных методов.

Особенно остро задача обеспечения нормируемых условий контакта касается подвижных и номинально-неподвижных сопрягаемых поверхностей, где особо значима проблема износостойкости. Неравномерность контактных давлений в реальных конструкциях является причиной удлинения процесса приработки, большого износа поверхностей в начальный период эксплуатации. В этой связи исследования контактных задач должны выполняться с учетом реальных условий взаимодействия деталей. Результаты их решения будут способствовать точному расчету напряженно-деформированного состояния и существенному повышению работоспособности машин.

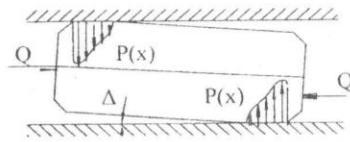


Рис. 3. Схема контакта в условиях неопределенности базирования

Литература

1. Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. 244 с.
2. И.В. Крагельский, Н.М. Михин. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
3. Александров В.М., Ромалис Б.Л. Контактные задачи в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
4. Балахнин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: В 2-х кн. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.
5. МР 36-82. Цепи размерные. Расчет допусков с учетом условий контакта сопряженных деталей. М. ВНИИНМАШ, 1982.

УДК 621.941.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦОВ

С.В. Грубый
МГТУ имени Н.Э. Баумана

На кафедре "Инструментальная техника и технологии" проведен комплекс исследований, направленных на разработку методики расчета скорости изнашивания сборных резцов с твердосплавными сменными многогранными пластинами (СМП). Теоретические расчеты сопоставлены со значительным объемом экспериментальных данных по обработке конструкционных сталей и сплавов резцами с СМП из различных марок твердых сплавов.

Исходными данными для расчета являются режимные параметры, величина износа и геометрические параметры инструмента, механические и физические характеристики инструментального и обрабатываемого материалов, параметры шероховатости изнашиваемой твердосплавной поверхности. Разработана модель процесса косоугольного несвободного резания, стружкообразования и изнашивания твердосплавных резцов, которая включает математическую интерпретацию геометрических параметров инструмента и параметров сечения срезаемого слоя; направления схода стружки; характеристик стружкообразования; поверхности сдвига с переменным углом сдвига вдоль режущей кромки; сил и контактных нагрузок; коэффициентов трения и параметров фрикционного контакта; температуры резания; скорости изнашивания резцов.

На основании проведенных исследований контактных поверхностей твердосплавного инструмента и обработанных поверхностей заготовок под растровым электронным микроскопом в качестве основного принят механизм адгезивно-усталостного изнашивания. Количественно механизм адгезивно-усталостного изнашивания применительно к парам трения различного назначения описан в ряде работ, например [1 – 3]. Вместе с тем для процесса изнашивания режущего инструмента этот механизм описан только на качественном уровне или исследован экспериментально.

Количественные соотношения трения и изнашивания по задней поверхности твердосплавного инструмента определены применительно к модели контакта жесткой шероховатой поверхности твердого сплава с гладким деформируемым полупространством поверхности обрабатываемого материала. К параметрам фрикционного контакта по задней поверхности реза отнесены коэффициент трения f_{tr} , номинальное давление q_2 , фактическое давление p_r , отношение площадей контакта фактической и номинальной η_{ca} , относительное сближение поверхностей контакта ε , средний диаметр пятен контакта d . Основываясь на молекулярно-механической теории трения, коэффициент трения был принят состоящим из молекулярной (адгезионной) и деформационной (механической) составляющих, оценено влияние температуры контакта на коэффициент трения. Установлены и учтены в модели аппроксимации влияния температуры на твердость одно- и двухкарбидных марок твердых сплавов, микротвердость износостойких покрытий, теплопроводность твердых сплавов, твердость и прочность обрабатываемых сталей и сплавов.

Аппроксимация начального участка кривой относительных опорных длин профиля изнашиваемой твердосплавной поверхности принята в виде $t_p = b(p/R \max)^v$, где p – расстояние от выступов до данного уровня; $R \max$ – параметр шероховатости. Так, для СМП классов допусков U, M по ГОСТ 19042-80 (шлифованные только по опорным поверхностям), параметры были найдены в результате обработки профилограмм шероховатости задних поверхностей по методике, рекомендованной в работе [3], и составили: $b = 2,5$, $v = 0,94$. Усредненные параметры шероховатости также определены по профилограммам и были приняты равными: $R \max = 14,5$ мкм, $r = 90$ мкм, где r – средний радиус выступов профиля. Для шлифованных по задним поверхностям пластин классов допусков G, E, C рекомендовано значение параметра шероховатости задней поверхности $Ra = 0,25$ мкм, что соответствует $1...2$ мкм по параметру $R \max$. Примерные значения параметров кривой относительных опорных длин профиля для шлифованных поверхностей составляют [2]: $b = 1,5...4$; $v = 1,6...3$.

Расчет величины износа сводится к определению зависимости интенсивности изнашивания от физико-механических свойств материалов, составляющих пару трения, условий нагружения, микрогеометрических характеристик поверхности трения. Выделив величину изношенного объема материала через геометрические характеристики контакта [1], получим выражение для расчета нормальной интенсивности изнашивания:

$$I_{n0} = \frac{\alpha \cdot b \cdot \varepsilon^{v+1} R \max \cdot \eta_{ca}}{(v+1) \cdot d \cdot n}$$

где n – число циклов фрикционного контакта микрообъемов поверхностного слоя твердого сплава до разрушения.

На основании анализа количественных связей сформирована исходная база данных по числу циклов как функций режимных параметров, величины

износа, интенсивности изнашивания, механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов и других параметров, входящих в физическую модель, в виде:

$$n = f_1(v, t, s, h_z, I_{n0}, HV_{T2}, E_2, \lambda_{2T2}, HB_{T2}, E_1, r, f_{tr}, \dots) = f_2(HV_{T2}, q_2, r),$$

где f_1 – функция, характеризующая первый уровень связей, в том числе с интенсивностью изнашивания I_{n0} , рассчитанной по экспериментальным кривым износа; HV, E_2, λ_2 – поверхностная твердость, модуль упругости, теплопроводность твердого сплава; HB, E_1 – твердость, модуль упругости обрабатываемой стали.

Учитывая установленную связь режимных параметров с уровнем контактных нагрузок и температурой на задней поверхности лезвия T_2 , функция f_2 характеризует второй уровень связей с поверхностной твердостью твердого сплава, контактной нагрузкой и средним значением радиуса выступов профиля изнашиваемой поверхности. Количественное выражение функции f_2 найдено в рамках трехфакторной полиномиальной модели, содержащей 27 членов с двумя матрицами коэффициентов для твердых сплавов без и с износостойкими покрытиями соответственно. Отмечено увеличение числа циклов фрикционного контакта микрообъемов твердосплавной поверхности с ростом поверхностной твердости и уменьшением фактической контактной нагрузки. По аналогии с кривыми объемной выносливости материалов впервые получены расчетные кривые фрикционной усталости твердых сплавов, связывающие фактическую контактную нагрузку с числом циклов фрикционного контакта до разрушения [4].

Разработанная модель количественно описывает процесс изнашивания задней поверхности твердосплавных резцов через интенсивность (1) и связанную с ней скорость изнашивания. Анализ показывает, что расчетные значения скорости изнашивания полностью соответствуют по качественным и количественным показателям многочисленным экспериментальным наблюдениям по влиянию режимных параметров, геометрических параметров инструмента, марки твердого сплава, марки обрабатываемого материала на процесс изнашивания [4].

Расчетные кривые скорости изнашивания I_{tr} от величины износа h_z для различных значений параметра шероховатости поверхности твердого сплава приведены на рис. 1. Величина параметра начального участка кривой относительных опорных длин профиля в пределах $v = 0,95...3$ оказывает слабое влияние на скорость изнашивания с некоторой тенденцией к ее увеличению с ростом параметра v . Увеличение среднего радиуса выступов в пределах $50...300$ мкм приводит к некоторому снижению скорости изнашивания, в особенности для больших величин износа задних поверхностей резцов (рис. 2).

Таким образом, предпочтение с точки зрения уменьшения скорости изнашивания следует отдать шлифованным пластинам со значениями параметров шероховатости $Ra = 0,25$ мкм или $R \max$ в пределах $1,5...2$ мкм. Следует выбирать метод окончательной доводки пластин, исключая значения параметра

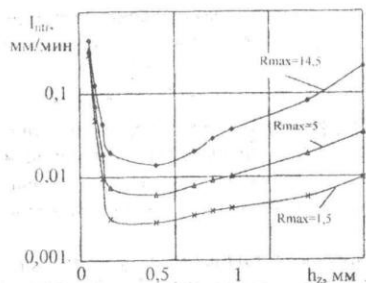


Рис. 1. Кривые скорости изнашивания для различных значений шероховатости задних поверхностей твердосплавных СМП: Т15К6 – сталь 60, $t=4$ мм, $s=0,4$ мм/об

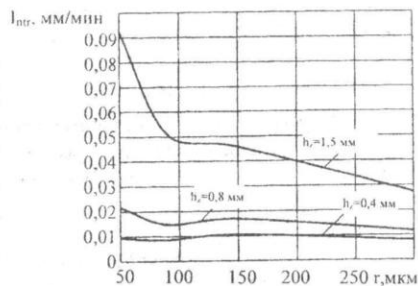


Рис. 2. Влияние радиуса выступов профиля на скорость изнашивания задних поверхностей твердосплавных СМП с шероховатостью $R_{max}=5$ мкм; параметры начального участка кривой относительных опорных длин профиля: $b=2,5$, $v=1,5$

$v > 3$, а также значения радиуса выступов профиля $r < 90$ мкм.

Таким образом, предпочтение с точки зрения уменьшения скорости изнашивания следует отдать шлифованным пластинам со значениями параметров шероховатости $R_a = 0,25$ мкм или R_{max} в пределах $1,5 \dots 2$ мкм. Следует выбирать метод окончательной доводки пластин, исключая значения параметра $v > 3$, а также значения радиуса выступов профиля $r < 90$ мкм.

Методика расчета скорости изнашивания твердосплавных резцов распространена на широкую гамму обрабатываемых материалов в диапазоне от алюминиевых сплавов и углеродистых сталей до жаропрочных сталей и сплавов, включая титановые сплавы.

Список литературы

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
3. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Грубый С.В. Физическое моделирование процесса изнашивания твердосплавных резцов// Справочник. Инженерный журнал. – 2002.- №2. - С.37-43.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

Н.А. Быстрова, А.Ю. Осипов

Московская государственная академия приборостроения и информатики

Объектом исследования является фрикционная многодисковая предохранительная муфта, расположенная на выходном валу редуктора, предназначенного для вращения кабины радиолокационных станций.

Работа муфты происходит при частых и кратковременных перегрузках главным образом ударного характера и значительных угловых скоростях [1].

Основным звеном, определяющим безотказность и долговечность муфт, являются фрикционные диски, которые эксплуатируются в условиях полужидкостного и сухого трения.

Анализ работоспособности узла выявил характерные отказы и неисправности механизма вращения РЛС в гарантийный период эксплуатации. Наиболее частым дефектом является износ и разрушение фрикционных дисков, зависящие от шероховатости рабочих поверхностей, точности их изготовления, правильного подбора материалов.

Анализ работ, посвященных методам повышения эксплуатационной надежности нежестких тонкостенных деталей, позволил эти методы разделить на три группы:

А. Трибологические, где оптимизируются сочетания различных материалов для пар трения, смазки и различные противозадирные покрытия, а также требования к микро- и макроструктуре материала.

Б. Конструкторские, оптимизирующие точность расчета муфты погрешности формы и размеров дисков и т.д. Ужесточение требований к условиям эксплуатации муфт: смазка, равномерность нагружения и т.п.

В. Технологические, где оптимизируются форма, шероховатость и параметры качества поверхностного слоя, в частности остаточные напряжения, их величина, эпюра и т.п.

Триботехнические характеристики различных сочетаний конструктивных материалов определялись применительно к дискам фрикционных предохранительных муфт при работе всухую и при смазках ЦИАТИМ-203 и МС-20. Испытания материалов проводились на машине трения с возвратно-поступательным движением образцов с плоской рабочей поверхностью. При испытаниях всухую пары трения работали при постоянном давлении в 1,4 МПа до появления задиров на рабочих поверхностях, а при испытаниях со смазкой давление ступенчато повышалось с 0,2 МПа до некоторого критического, вызывающего катастрофический износ пары или локальные задиры.

В качестве критерия износостойкости пары трения принята интенсивность изнашивания $I_{1,2} = h/L$ (здесь h – величина линейного износа неподвижного и подвижного образцов за путь трения L , мм). Кроме этого, определялось предельно допустимое давление $P_{кр}$, до которого испытываемые пары работали