

М472400

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Спицына Изольда Николаевна

УДК 621.822.8.001.24:539.4

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА И ФОРМЫ
КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА НЕСУЩЮЮ
СПОСОБНОСТЬ РОЛИКОВЫХ ОПОР КАЧЕНИЯ

05.02.02 машиноведение и детали машин

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1987

Работа выполнена в Научно-производственном объединении подшип-
никовой промышленности /НПО ВНИИП/

Научный руководитель к.т.н. Черменский О.Н.

Официальные оппоненты д.т.н., профессор Ивашков И.И.
к.т.н., доцент Чесноков В.А.

Ведущая организация /предприятие/ ВНИИМАШ

Защита состоится 18.01.88 на заседании специализи-
рованного совета К.053.15.11 в Московском высшем техническом
училище им. Н.Э.Баумана: г.Москва, 2-я Бауманская, д. 5

в библиотеке Московского
Н.Э.Баумана

го совета

Попов

Попов П.К.

M472400

Актуальность темы. В соответствии с решениями XXVII съезда КПСС и Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусматривается ускорение развития машиностроения, повышение его технического уровня, надежности и ресурса работы техники.

Одним из путей достижения поставленной задачи применительно к роликовым опорам качения является использование прогрессивных материалов и конструктивное совершенствование форм рабочих поверхностей.

В настоящее время для деталей подшипников качения, работающих при повышенных температурах и в агрессивных средах, а также крупногабаритных опор качения применяются материалы, контактная прочность и несущая способность которых недостаточно изучены.

Грузоподъемность и долговечность опор качения в значительной степени зависят от величины контактного давления и особенно пиковых давлений, обусловленных краевым эффектом и перекосом контактирующих поверхностей и приводящих к преждевременному выходу опор из строя. Снижение их возможно путем профилирования рабочих поверхностей, в частности роликов. Ролики модифицированного профиля применяются в ряде конструкций опор качения. Однако, для выбора геометрических параметров профиля нет единой методики, позволяющей обоснованно выбирать их величину.

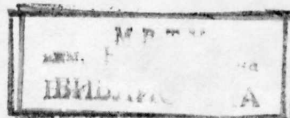
Решению этих вопросов посвящена диссертационная работа.

Цель работы. Повышение грузоподъемности, долговечности и надежности роликовых опор качения за счет применения высокопрочных материалов для их деталей и совершенствования профиля тел качения с учетом режима эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

Разработка экспериментальной методики определения несущей способности материала при контактном нагружении - предельной нагрузки и напряжения текучести при предельной нагрузке.

Разработка методики уточненного расчета контактных параметров и базирующейся на ней методики выбора допустимой нагрузки,



а также оптимальных параметров роликов опор качения различного профиля.

Методика исследования. Работа по определению предельной нагрузки основывается на фундаментальных исследованиях в области теории пластичности Л.Прандтля, А.Д.Томленова, Р.Шилда. В экспериментальных исследованиях применен метод отпечатков. Обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием методов математической статистики.

Для расчета контактных параметров разработан численный метод, в основу которого положена работа А.В.Орлова. Для нахождения допустимой нагрузки на контакт принят критерий допускаемого контактного давления. Оптимальные геометрические параметры роликов выбирались из условия максимальной допустимой нагрузки на контакт для определенных режимов эксплуатации.

Научная новизна. Разработана методика определения предельной нагрузки для всех видов нагружения опор качения – статического, циклического и при качении. Проведено сопоставление контактной прочности материалов различного химсостава и степени упрочнения.

Разработан алгоритм для расчета контактных параметров в опорах качения с роликами различного профиля, позволяющий учитывать большое число факторов, влияющих на их нагруженность.

Предложенная методика расчета по допускаемым давлениям позволяет учитывать при расчете допустимой нагрузки перекося ролика и переменную кривизну его профиля.

Проанализированы влияние формы профиля и соотношения между его параметрами на несущую способность коротких цилиндрических роликов.

Практическая ценность. Методика определения предельной нагрузки применена для исследования контактной прочности подшипниковой стали ШХ15, ряда высокоуглеродистых и жаропрочных сталей, титановых сплавов с целью выбора марки материала и режимов упрочнения. Результаты этих работ внедрены в промышленности при производстве опор качения.

Экономический эффект от внедрения этих работ составил 244090 рублей.

Методика определения напряжения текучести при статической предельной нагрузке аттестована ВНИИ МВ Госстандарта.

На основании разработанной методики и программы расчета на ЭВМ определены допустимые нагрузки для всей гаммы цилиндрических и бомбинированных роликов опорно-поворотных устройств, определены оптимальные соотношения геометрических параметров для других модификаций профиля.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были доложены на Всесоюзной научно-технической конференции "Проектирование, изготовление и диагностика узлов трения в машиностроении", г. Рыбинск, май 1983 г., на 2-й всесоюзной научно-технической конференции "Триботехника - машиностроению", г. Пушкино-на-Оке, ноябрь 1983 г., на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Расчеты и испытания на контактную усталость материалов и деталей машин", г. Москва, декабрь 1984 г., на Всесоюзной научной конференции "Износ в машинах и методы защиты от него", г. Брянск, октябрь 1985 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы. Она изложена на 235 страницах машинописного текста, включает 8 таблиц, 58 рисунков, 120 наименований литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены процессы развития микро- и макропластических деформаций в идеальном жесткопластическом и реальном материалах при вдавливании выпуклого индентора. Обоснована возможность экспериментального определения предельной нагрузки, обусловленная скачкообразным развитием поля линий скольжения в момент ее достижения.

Рассмотрены характерные виды износа опор качения. Отмечено, что основные виды разрушения - контактная усталость и пластическое деформирование определяются в значительной степени уровнем контактных давлений. Поэтому необходимы как возможность точного определения их допускаемой величины, так и конструктивные раз-

работки, позволяющие их уменьшить.

Приведен обзор фундаментальных работ Г.Герца, Н.М.Беляева, А.Н.Динника, И.Я.Штаермана, М.М.Саверина, Б.С.Ковальского и других авторов, в которых изложены основы расчета давлений и деформаций в местах контакта. Рассмотрены экспериментальные работы по измерению контактных деформаций, выполненные С.В.Пинегиним, Н.А.Королевым, А.В.Орловым, Д.Кэннелом и М.Хартнетом.

Проанализированы уточненные методы расчета контактных параметров в деталях роликовых опор качения, основанные на предположении о линейном законе распределения давления вдоль площадки контакта, методе плоских сечений, вариационном методе и методе конечных элементов.

Рассмотрены конструкции роликов с модифицированным профилем для опор качения, позволяющие снизить или избежать пиковые давления на краях площадки контакта.

Приведены результаты экспериментальных исследований опорно-поворотных устройств, показывающие, что распределение давления по длине роликов в этих опорах качения всегда неравномерно вследствие технологических и эксплуатационных перекосов дорожек качения колец.

Во второй главе изложена экспериментальная методика определения предельной нагрузки и напряжения текучести при предельной нагрузке для статического, циклического нагружения и при качении. Методика включает условия по выбору формы и размеров образца и индентора, требования по металлургической однородности их материалов, твердости, шероховатости, методику проведения эксперимента, измерения остаточных деформаций, графический и расчетный методы обработки результатов.

Для статического и циклического нагружения выбраны плоские образцы и сферические инденторы, технологичные в изготовлении и удобные для установки в нагружающем устройстве, а также при измерении размеров пластических отпечатков.

Определение предельной статической нагрузки производили в следующей последовательности. В образец вдавливали индентор при нескольких значениях нагрузки, изменяющейся в исследуемом диапазоне. Диаметры полученных отпечатков измеряли путем профило-

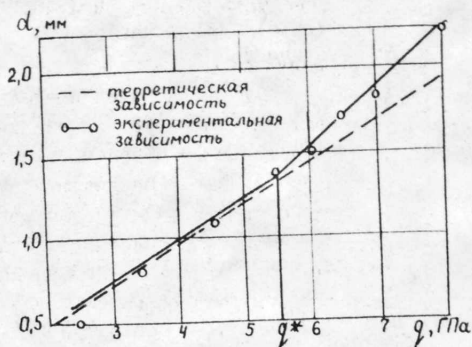


Рис. 1. Зависимость диаметра отпечатка от среднего контактного давления

графирования, либо на инструментальном микроскопе. В последнем случае применяли сажевое или гальваническое покрытие.

Далее строили теоретическую линейную зависимость Герца и экспериментальную зависимость диаметра отпечатка от среднего контактного давления /рис. 1/.

Экспериментальную зависимость аппроксимировали ломаной, состоящей из двух линейных участков. Первый из них соответствует упругим и микропластическим деформациям, второй – макропластическим.

Точка перегиба определяет величину предельного среднего контактного давления Перелом на экспериментальной зависимости объясняется скачкообразным развитием поля линий скольжения при деформировании образца.

Точку перегиба определяли как графически, так и численно, путем расчета параметров двух прямых для участков микро- и макропластических деформаций, сумма квадратов отклонений которых от экспериментальных точек наименьшая и точки пересечения этих прямых.

Отработку методики проводили на образцах из подшипниковой стали ШХ15, для которой получена зависимость предельного среднего контактного давления от твердости во всем диапазоне, применяемом при производстве и в эксплуатации /рис. 2/.

Методика эксперимента при циклическом нагружении была такой же, как и при статическом. Испытания образцов из стали ШХ15 различной твердости при нагружении до трех значений чисел циклов – 10^2 , 10^5 , 10^6 показали, что предельное среднее контакт-

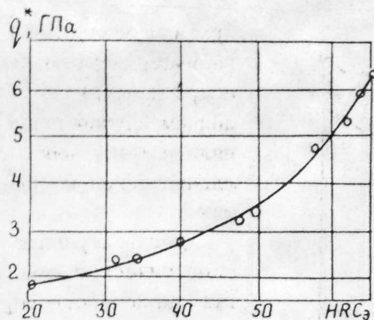


Рис. 2. Зависимость предельного среднего контактного давления от твердости

ное давление при циклическом и статическом нагружении одинаково.

Для определения предельной нагрузки при качении цилиндрические образцы обкатывали между двумя контртелами с торoidalной рабочей частью на машине фрикционного типа до наработки I миллиона циклов. Обработку результатов эксперимента проводили так же, как и при статическом нагружении, но в качестве остаточной деформации изме-

ряли ширину дорожки качения. Для экспериментальной зависимости деформации от среднего контактного давления при качении в отличие от статического нагружения характерно большее расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями на участке упругих и микропластических деформаций и малая длина участка макропластических деформаций, вызванная питтингом образца.

Предельная нагрузка подшипниковой стали ШХ15 при качении оказалась на 15-20% ниже, чем при статическом нагружении.

В третьей главе рассмотрен численный метод расчета контактных параметров применительно к роликовым опорам качения.

Для решения задачи площадку контакта ролика и кольца разби-

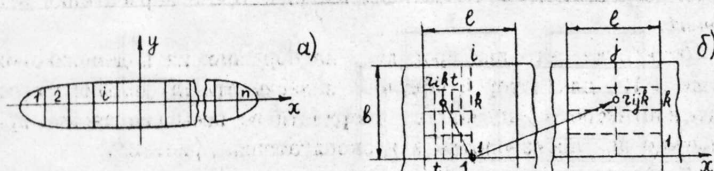


Рис. 3. Разбиение площадки контакта на полосы и участки

вали на n полос плоскостями, перпендикулярными ее большой оси. С целью повышения точности определения упругой деформации четверть каждой полосы разбивали дополнительно в направлении большой и малой оси на T и K участков /рис.3/.

Система содержит n уравнений совместности деформаций, составленных для каждой из полос, и уравнения равновесия, определяющего условие равенства суммы нагрузок, приложенных к каждой полосе, общей нагрузке.

$$\sum_{i=1}^n f_m \cdot b_i^2 - D_{we} \cdot \delta = -D_{we} \cdot Z_i \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, n \\ m = |i-j|+1 \end{matrix} \quad /1/$$

$$\sum_{i=1}^n b_i^2 = \frac{2\eta \cdot D_{we} \cdot Q}{\pi \cdot \ell}$$

где D_{we} - диаметр ролика, Q - нагрузка на контакт, δ - упругое сближение ролика и кольца, ℓ - длина полосы, b_i - полуширина i -ой полосы, Z_i - зазор в центре i -ой полосы между роликом и кольцом, η - коэффициент, зависящий от упругих характеристик контактирующих тел, f_m - коэффициенты влияния, определяемые по формулам

$$f_m = \begin{cases} f_i & \text{при } i=j \\ f_{ij} & \text{при } i \neq j \end{cases}$$

$$f_i = \frac{1}{6\pi K T} \cdot \sum_{k=1}^K \bar{S}_k \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{\bar{z}_{ikt}}, \quad f_{ij} = \frac{1}{6\pi K} \cdot \sum_{k=1}^K \frac{\bar{S}_k}{\bar{z}_{ijk}},$$

$$\bar{S}_k = \sqrt{1 - \left(\frac{k-1}{K}\right)^2} + \sqrt{1 - \left(\frac{k}{K}\right)^2} + 4 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{2k-1}{2K}\right)^2},$$

$$\bar{z}_{ikt} = \sqrt{\left(\frac{2k-1}{2K}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{2t-1}{4T}\right)^2}, \quad \bar{z}_{ijk} = \sqrt{(i-j)^2 + \left(\frac{2k-1}{2K}\right)^2}$$

При решении системы уравнений определяются значения полуширин площадки контакта в i -ом сечении b_i и упругое сближение

б. Размеры площадки контакта заранее неизвестны, поэтому в первом приближении число полос принимается таким, чтобы величина $n \cdot \ell$ была не меньше длины площадки контакта. далее число полос определяется путем последовательных приближений из условия неотрицательности давления в пределах площадки контакта.

значения максимальных контактных давлений p_{oi} в i -ом сечении определяли из выражения

$$p_{oi} = 2Q \cdot b_i / \int_0^{n \cdot \ell} b_i^2 dx$$

где x — координата вдоль большой оси площадки контакта.

Данный метод позволяет учитывать явление краевого эффекта — пиковые давления на краях площадки контакта, что объясняется тем, что суммы коэффициентов влияния f_m для полос, расположенных на разном расстоянии от середины ролика, не одинаковы.

На основании рассмотренного метода выполнены расчеты распределения давления p_{oi} по длине площадки контакта для восьми типов коротких цилиндрических роликов. Графики зависимостей $p_{oi}(x)$ для ролика с размерами: диаметр ролика $D_{we} = 24$ мм, эффективная длина ролика $L_{we} = 21$ мм показаны на рис. 4-8.

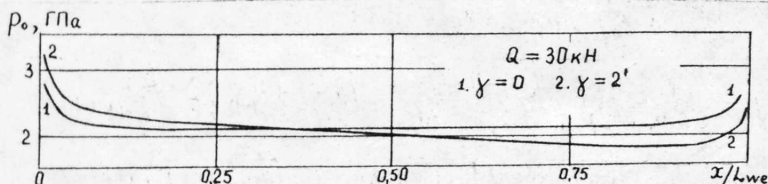


Рис. 4. Распределение давления вдоль площадки контакта цилиндрического ролика и плоской опоры

Для цилиндрического ролика /рис. 4/ при отсутствии перекоса и любой нагрузке давление примерно постоянно на всей длине площадки контакта за исключением краевых зон длиной около 5% L_{we} , где величина контактного давления p_{oi} больше в 1,5–2,0 раза, чем в средней части площадки контакта. Перекос вызывает наклон

кривой контактного давления и повышение пиковых давлений вблизи торца ролика, где начальный зазор меньше.

У бомбинированного ролика при малых значениях радиуса бомбины R и нагрузки закон распределения давления близок к эллиптическому /рис.5а/. Повышение нагрузки и увеличение радиуса бомбины ведут к переходу от эллиптического закона к распределению, аналогичному для цилиндрического ролика. Перекос всегда вызывает появление краевого эффекта /рис.5б/.

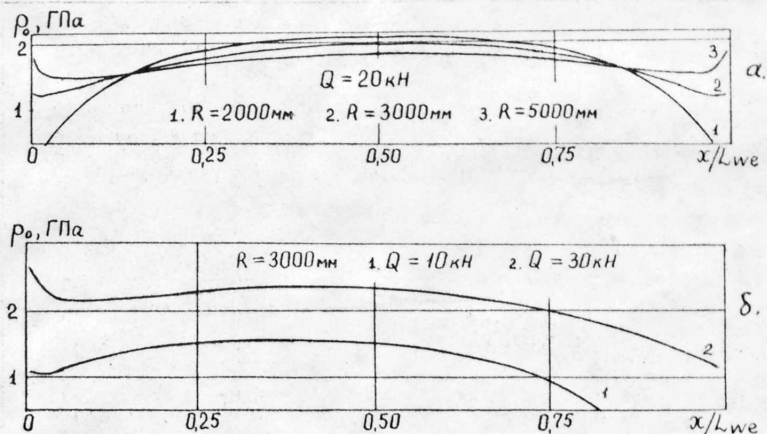


Рис.5. Распределение давления вдоль площадки контакта бомбинированного ролика и плоской опоры а. $\gamma = 0$, б. $\gamma = 3^\circ$

Для цилиндрического ролика со скосами в зависимости от длины скоса L_1 и угла скоса L закон распределения давления ближе к зависимостям, характерным для цилиндрического или бомбинированного ролика /рис.6/. Краевой эффект всегда имеет место, как на краях площадки контакта, так и в местах стика цилиндрической и конической частей образующей.

Те же закономерности характерны для цилиндрического ролика с закруглениями /длина закругления $L_1 = 7,35 \text{ мм}$, радиус закруг-

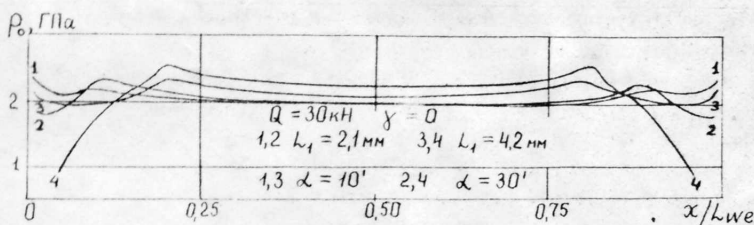


Рис.6. Распределение давления вдоль площадки контакта цилиндрического ролика со скосами и плоской опоры

ления $R_1 = 1000$ мм/, но краевой эффект в зонах стыка образующей различной кривизны меньше, а пиковые давления на краю площадки контакта ниже, чем у цилиндрического ролика со скосами /рис.7/.

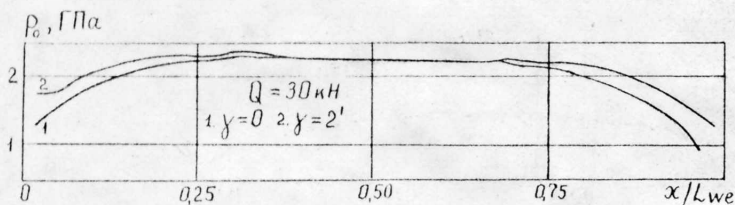


Рис.7. Распределение давления вдоль площадки контакта цилиндрического ролика с закруглениями и плоской опоры

Наиболее равномерный характер распределения давления, без краевого эффекта на всей площадке контакта, у бомбинированного ролика с закруглениями /радиус бомбины $R = 3000$ мм, длина закругления $L_1 = 2,1$ мм, радиус закругления $R_1 = 300$ мм/ - рис.8.

Ролики с несимметричным профилем целесообразны, если в опоре имеет место перекося одно направление. Характер распределения давления для конического ролика такой же, как для цилиндри-

ческого, а у конического бомбинированного – как у бомбинированного.

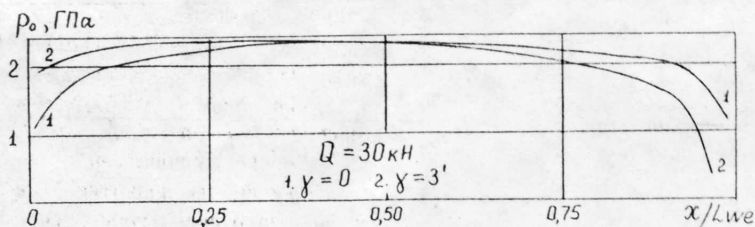


Рис.8. Распределение давления вдоль площадки контакта бомбинированного ролика с закруглениями и плоской опоры

Допустимые нагрузки на ролик находились из условия, что максимальное вдоль площадки контакта давление p_{max} равно допускаемому давлению $[p_0]$, то есть из решения уравнения $p_{max}(Q) = [p_0]$. Допускаемое контактное давление, как в расчетах опорно-поворотных устройств, было принято равным 2,5 ГПа.

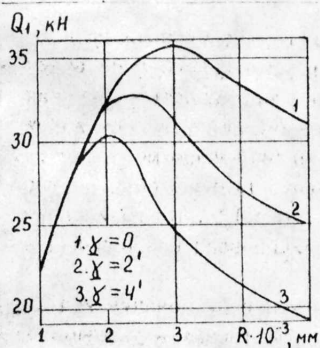


Рис.9. Зависимость допустимой нагрузки на ролик от радиуса бомбины

Зависимость допустимой нагрузки на ролик от любого геометрического параметра профиля всегда имеет максимум, как, например, для бомбинированного ролика /рис. 9/. При разных углах перекоса значения параметра профиля, соответствующие максимуму допустимой нагрузки, неодинаковы.

Оптимальные параметры профиля выбирались на основании зависимостей допустимой нагрузки на контакт от параметров профиля и угла перекоса, изменяющегося в пределах технологических и эксплуатационных допусков.

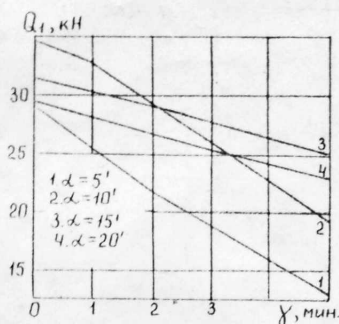


Рис. 10. Зависимости допустимой нагрузки на ролик от угла скоса и угла перекоса

перекоса возрастает преимущество роликов, имеющих закругления, и бомбинированного ролика по сравнению с цилиндрическим роликом со скосами. Допустимая нагрузки на ролики несимметричного профиля при перекосе выше, чем на аналогичные симметричные конструкции.

Помимо расчета контактных давлений и допустимых нагрузок было выявлено влияние профиля ролика и угла перекоса на величину упругого сближения δ . Теоретические зависимости сближения от нагрузки известны только для контактирующих тел постоянной кривизны и отсутствии перекоса. Расчеты численным методом показали, что на контактную жесткость влияет, главным образом, кривизна средней части образующей ролика /рис. 12/. С увеличением угла перекоса жесткость роликов с бомбинированной средней частью выше, чем у цилиндрических.

В четвертой главе изложены результаты исследования контактной прочности материалов для деталей, работающих в условиях качения.

Сравнительные исследования сталей 55 и 45ХН проводились с целью выяснения целесообразности замены стали 55 на сталь 45ХН

Для каждого параметра существует область значений, при которых допустимая нагрузка больше для любых значений угла перекоса. Так, для цилиндрического ролика со скосами /рис. 10/, при длине скоса 5,25 мм значения угла скоса $\alpha \leq 5'$ и $\alpha \geq 20'$ не рациональны.

Зависимости допустимой нагрузки на ролик с рассмотренными размерами и выбранными оптимальными параметрами показаны на рис. 11. Все ролики с модифицированным профилем имеют преимущество по сравнению с цилиндрическим.

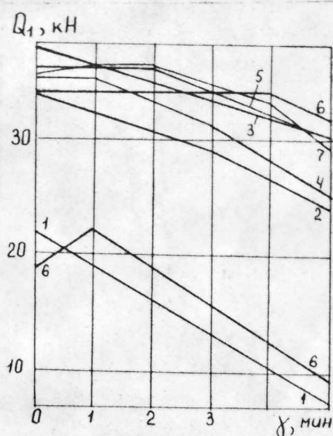


Рис. II. Зависимость допустимой нагрузки на ролик от формы профиля и угла перекося
 1. Цилиндрический, 2. Бомбинированный, 3. Цилиндрический со скосами, 4. Бомбинированный с закруглениями, 5. Цилиндрический с закруглениями, 6. Конический. 7. Конический бомбинированный

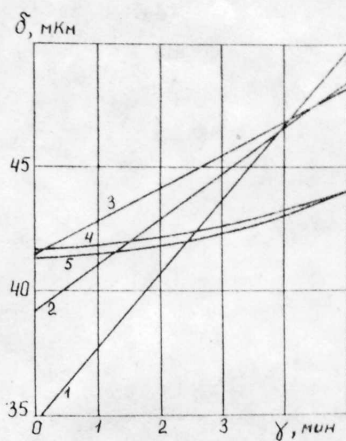


Рис. I2. Зависимость упругого сближения от формы профиля и угла перекося /номера кривых соответствуют рис. II/

для изготовления колец опорно-поворотных устройств.

Испытания сплава ВКС-210 были выполнены с целью выбора параметров режима упрочнения.

При изучении контактной прочности титановых сплавов ВТ-22, ВТ-3 и ВТ-9, предназначенных для деталей, работающих при повышенных температурах и в агрессивных средах, было установлено, что предельное среднее контактное давление у этих материалов выше, чем у подшипниковой стали при одинаковой твердости. Предельная нагрузка в проведенных экспериментах пропорциональна

предельному среднему контактному давлению в кубе и квадрату параметра, зависящего от модулей упругости и коэффициентов Пуассона материалов индентора и образца. Для титановых сплавов, у которых модуль упругости примерно в два раза ниже, чем у стали, предельная нагрузка оказалась в 6-8 раз выше, чем для стали ХХ15 при той же твердости.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В связи с неравномерностью распределения давления вдоль площадки контакта в роликовых опорах качения, в том числе значительными пиковыми давлениями вблизи торцов роликов, вызванными краевым эффектом и перекосом, для оценки их несущей способности необходимо сопоставление пиковых давлений для наиболее неблагоприятного режима эксплуатации с предельным контактным давлением, соответствующим предельной нагрузке, при достижении которой начинается пластическое течение материала.

2. Для определения предельного среднего контактного давления разработана экспериментальная методика для условий статического и циклического нагружения и качения. Методика определения предельного среднего контактного давления и напряжения текучести при предельной нагрузке в условиях статического нагружения аттестована ВНИИ МВ Госстандарта.

3. На основании разработанной методики определено предельное среднее контактное давление для подшипниковой стали ХХ15 во всем диапазоне применяемой твердости и ряда материалов, используемых для изготовления деталей подшипникового типа. Результаты исследований использованы при выборе марок материалов и технологических режимов упрочнения и внедрены в промышленность. Экономический эффект составил 244090 рублей.

4. Показано, что предельное среднее контактное давление и напряжение текучести при предельной нагрузке подшипниковых материалов различного химсостава при одинаковой степени упрочнения не одинаковы. Повышение несущей способности деталей при контактом нагружении может быть достигнуто за счет правильного выбора материала.

5. Снижение пиковых давлений и повышение несущей способности опор качения возможно за счет использования роликов с модифицированным профилем. Для наиболее эффективного их использования параметры профиля должны быть оптимальными.

6. Разработана методика численного расчета контактных параметров, учитывающая основные факторы: форму и размеры контактирующих тел, упругие характеристики материала, нагрузку, влияние краевого эффекта. Составлена программа расчета на ЭВМ для широкой гаммы профилей, применяемых в опорах качения.

7. Рассмотрена методика оценки несущей способности – предельно допустимой нагрузки на контакт по допускаемым давлениям, что в отличие от принятой методики регламентированной величины остаточной деформации позволяет учитывать при расчете любые параметры контактирующих тел и условия нагружения.

8. На основании разработанной методики и программы выполнены расчеты контактных давлений и допустимых нагрузок восьми типов симметричных и несимметричных профилей роликов и выбраны их оптимальные параметры. Соотношение оптимальных параметров и размеров роликов соответствует рекомендациям зарубежных авторов.

9. Расчеты контактных давлений и допустимых нагрузок по разработанной методике могут быть применены при проектировании многих типов роликоподшипников и деталей, работающих при контактном нагружении.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Спицына И.Н. Расчет роликовых поворотных опор // Подшипниковая промышленность. – 1980. – Вып.9. – С. 3-6.

2. Спицына И.Н., Казанский А.М., Черменский О.Н. Сравнительное исследование статической грузоподъемности колец роликовых поворотных опор // Труды ВНИИП. – 1981. – № 1. – С. 52-58.

3. Черменский О.Н., Спицына И.Н. Напряжение текучести при предельной нагрузке подшипниковых материалов // Проектирование, изготовление и диагностика узлов трения в машиностроении: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. – Рыбинск, 1983. – С. 61.

4. Черменский О.Н., Спицына И.Н. Исследование причин повышенного износа при испытаниях плоских образцов на контактную

усталость // Триботехника - машиностроению: Тез. докл. II Всесоюзн. научн.-техн. конф. - Пушино-на-Оке, 1983. - С. 224.

5. Черменский О.Н., Коган Н.В., Спицына И.Н. Статическая контактная прочность титановых силлавов ВТ-22, ВТ-9, ВТЗ-1 // Подшипниковая промышленность. - 1984. - Вып. 2. - С. 11-13.

6. Спицына И.Н. Влияние перекоса на распределение давлений при линейном контакте // Труды ВНИИП. - 1985. - № 1. - С. 117-125.

7. Черменский О.Н., Спицына И.Н. ГСССД МЭ 34-85. Определенные напряжения текучести металлов и силлавов при статической предельной нагрузке / ВНИИП. - М., 1985. 27 с. - Деп. в ВНИИКИ 20.04.87, № 261.

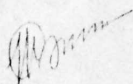
8. Спицына И.Н. Несущая способность опор качения с бомбинированными роликами // Надежность и контроль качества. - 1986. - № 3. - С. 43-46.

9. Спицына И.Н. Выбор оптимальных параметров скосов роликов опорно-поворотных устройств / ВНИИП. - М., 1985. - 8 с. - Деп. в НИИАвтопром 20.11.85, № 1273-ап.

10. Спицына И.Н. Расчет контактных давлений и допустимых нагрузок для бомбинированных роликов с закруглениями / ВНИИП. - М., 1985. - 11 с. - Деп. в НИИАвтопром 20.11.85, № 1274-ап.

11. Спицына И.Н. Допустимые нагрузки на цилиндрические и бомбинированные ролики опорно-поворотных устройств // Труды НИО ВНИИП. - 1986. - № 2. - С. 77-82.

12. Спицына И.Н. Влияние параметров закруглений на несущую способность цилиндрических роликов / ВНИИП. - М., 1986. - 11 с. - Деп. в НИИАвтопром 04.03.86, № 1333-ап.



№ Д-45212. Принято к печати 25.11.87г. *Зав. 12/12*

Объем I п.л. Тираж 100 экз. Ротапринт МВТУ