

- цепления зубчатременной передачи //Вестнi АН Беларусi. Сер. Фiз. – тэхн. навук. – 1993. – № 2. – С. 44-48.
4. Funk W., Koester L. Measurement of force variation in fast running toothed belts //6th World Congr. Theory Mach. And Mech: Proc./New york. – 1984. – Vol.2. – P. 1174-1177.
5. Никончук А.Н. Создание и исследование зубчатременных передач повышенной надежности и долговечности:

Автореф. Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.02/БГПА. – Минск, 1999.

6. Надежность машин: Учеб.пособие для машиностр. спец. вузов/Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.Э. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988.

УДК 621.762:621.822

Кирейцев М.В., Басинюк В.Л.

ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОКСИДОКЕРАМИКИ

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных элементов машин и технологического оборудования являются подшипниковые узлы и опоры скольжения. Согласно современным мировым тенденциям развития технических систем требования к экологичности, энерго-, материалоемкости, техническим показателям (надежности и прочности) машин и их узлов, включая подшипниковые, постоянно растут. Одновременно с этим постоянно повышаются требования к вибрациям и шуму, подкрепленные законодательными актами и стандартами ИСО, постоянно ужесточающимися нормы по вибрациям и шуму, распространяемые машиной или механизмом в окружающую среду. Повышенные уровни виброакустической активности, как правило, резко снижают конкурентоспособность машин.

Создание подшипниковых узлов и опор скольжения с улучшенными виброакустическими характеристиками, как правило, основывается на наукоемких технологиях. В результате их использования возрастает уровень применения пластмасс, композиционных и металлокерамических материалов, легких и прочных металлов (алюминия, магния, титана). Ускоряются темпы внедрения результатов научных исследований в конечный продукт.

Одно из наиболее перспективных направлений исследований в области повышения прочностных и виброизолирующих свойств подшипниковых узлов и опор скольжения, проводимых в ведущих индустриально развитых странах (США, Японии), можно отнести создание подшипниковых узлов с использованием многоэлементных реологических систем [1-3].

Для эффективной реализации этого подхода, как показали проведенные исследования, целесообразно применение комбинированных методов формирования композиционных систем, включая микродуговое оксидирование, газотермическое напыление и пиролитическое осаждение карбида хрома. Вместе с тем, в открытых источниках научно-технической информации практически отсутствуют систематизированные сведения о подходах к созданию подшипниковых узлов и опор скольжения, сконструированных с использованием многоэлементных реологических систем на основе оксидокерамики, методик их расчета и экспериментальных исследований. Решению этой проблемы посвящена приведенная ниже работа.

1. ТРАДИЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Зубчатые колеса, подшипники качения и узлы на их основе традиционно считаются основными источниками вибрации и шума машин и механизмов [4]. Одним из основных спосо-

бов снижения их виброакустической активности является повышение точности изготовления, что существенно увеличивает стоимость узлов.

Другим направлением улучшения виброакустических характеристик машин является применение виброизолирующих элементов [5-7], к которым предъявляются повышенные требования в части вибродемпфирующих и прочностных характеристик. С целью улучшения виброизолирующих и прочностных характеристик машин в их конструкции вводят детали из однородных или композиционных демпфирующих материалов, например, полимеров, пластмасс, резины, инженерной керамики. В ряде случаев, эти элементы размещаются между ступицей зубчатого колеса и валом и (или) между корпусом (крышкой подшипникового узла) и наружной обоймой подшипника.

Одним из недостатков таких конструкции является низкая нагрузочная способность упругого элемента, выполненного, как правило, из резины или каучука, особенно при повышенных окружных нагрузках и температурах, что приводит к потере рабочих свойств и разрушению упругого элемента. Упругие элементы, содержащие каучук недостаточно устойчивы к воздействию химически агрессивных сред, которые могут быть в различных смазывающих веществах, используемых при работе редуктора или попадающих в него из окружающей среды. В процессе эксплуатации упругий резиновый элемент может расслаиваться, теряя свои виброизолирующие и виброгасящие свойства.

Как показали исследования [7-11] элементы из резины и полимерных материалов, в ряде случаев, не обеспечивают требуемого сочетания нагрузочных и виброакустических характеристик узла, его повышенной работоспособности, надежной фиксации подшипников в корпусе, особенно при повышенных нагрузках и температурах.

В тоже время, композиционные многоэлементные системы типа «алюминий или его сплав – оксидокерамика – карбид хрома» и «стальная основа – полимер – алюминий или его сплав – оксидокерамика» обладают рядом служебных свойств, приемлемых для приведенных условий эксплуатации. Результаты исследований /12-18/ в этой области показали: использование приведенных композиционных систем позволяет существенно улучшить виброакустические и прочностные характеристики подшипниковых узлов и опор скольжения.

С другой стороны, как показывает практика [15, 18], оксидокерамика – достаточно хрупкий материал, обладающий на ≈30% меньшим коэффициентом термического расширения

*Кирейцев Максим Валерьевич. Аспирант ИНДМАШ НАН Беларуси.
Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12, ИНДМАШ НАН Беларуси.*

по отношению к стали, поэтому для ее использования необходима разработка специальных технических решений.

2. РЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Существует значительное число различных реологических моделей упруговязкопластических систем. Вместе с тем, как показал анализ источников научно-технической информации [3, 19-21], в настоящее время отсутствуют адекватные физическим, экспериментально апробированные реологические модели, позволяющие описать поведение разработанных многослойных композиционных систем типа «оксидокерамика – алюминий – демпфирующий вязкоупругий материал – стальная основа» при их нагружении, характерном для подшипниковых узлов. Существующие модели не всегда могут быть применены для анализа результатов экспериментальных исследований.

С учетом существующих подходов и результатов исследований, проведенных авторами [12-18, 22], были сформулированы следующие допущения к построению реологической модели, описывающей напряженно-деформированное состояние композиционного покрытия типа «оксидокерамический элемент – алюминий или его сплав – упруговязкий материал – стальная основа» при его использовании в подшипниковых узлах:

- необратимые деформации в материалах слоев покрытия являются пластическими и развиваются только после превышения некоторого критического значения предела текучести, причем пластические деформации в основном зависят от прочностных свойств и нагрузочной способности основного несущего элемента системы - оксидокерамики;
- деформации при постоянном напряжении, меньшем предела текучести, плавно возрастают до определенного конечного значения, что определяется наличием упругого слоя на основе, например, термопластичного полимера;
- при многократных нагружениях происходит накопление пластических деформаций и оксидокерамический элемент не восстанавливает свою форму полностью до исходного состояния;
- на кривой деформация-время ($\epsilon-t$) при постоянном напряжении есть линейный участок;
- при разгрузке наблюдается ретардация деформаций (упругий возврат);
- напряжения при постоянной деформации релаксируются за счет вязкоупругого элемента, толщина которого в ряде случаев может быть значительно больше толщины металлокерамического слоя.

К этому следует добавить ограничения математического характера, включающие возможности замыкания задачи (порядок искомого дифференциального уравнения по σ и ϵ не должен превышать числа возможных физических краевых условий) и математическое разрешение сформулированных задач либо относительно напряжения, либо относительно скорости деформации. Механическая аналогия сложной реологической модели может быть представлена в виде последовательного соединения простейших моделей элементов композиционной системы (рис. 1).

Основные математические выражения для описания реологического поведения принятых моделей могут быть представлены в следующем виде:

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2, \quad (1)$$

где ϵ_1 и ϵ_2 – деформации первого и второго элементов механической модели среды (см. рис.1).

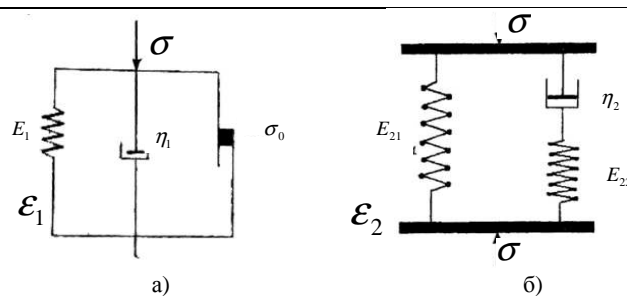


Рисунок 1 – Реологические модели а – упруговязкопластическая, б – параллельное соединение модели Максвелла и упругого элемента.

Если $\sigma > \sigma_0$, то реологическое уравнение первой части модели (рис. 1а) будет иметь вид:

$$\sigma = \sigma_0 + E_1 \epsilon_1 + \eta_1 \frac{d\epsilon_1}{dt}, \quad (2)$$

где σ_0 – предельное напряжение, при превышении которого возникает деформация вязкопластичного элемента первой части модели; E_1 – модуль упругости материала; η_1 – коэффициент вязкости; ϵ – деформация.

Для второй части модели (рис. 1б) дифференциальное уравнение запишем в виде:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_{22}}{\eta_2} \sigma = (E_{21} + E_{22}) \frac{d\epsilon_2}{dt} + \frac{E_{21} E_{22}}{\eta_2} \epsilon_2, \quad (3)$$

где E_{21} , E_{22} – модули упругости материалов индентора и покрытия; η_2 – коэффициент вязкости полимера. Если $\sigma \leq \sigma_0$, но в предыдущие моменты времени выполнялось неравенство $\sigma > \sigma_0$, то необходимо учитывать предисторию деформирования с помощью уравнений, как будет показано ниже.

Рассмотрим произвольное нагружение $\sigma = \alpha(t) > \sigma_0$. Заметим, что, если до нагружения среда находилась в недеформированном состоянии, то для любых нагружений ($\sigma \leq \sigma_0$, или $\sigma > \sigma_0$) начальная деформация равна:

$$\epsilon(0) = \sigma(0)/(E_{21}+E_{22}). \quad (4)$$

На основании приведенного выше можно получить уравнение изменения деформации системы в целом для последовательного соединения модели 1 и модели 2 при произвольном законе нагружения (рис. 1а и 1б соответственно):

$$\begin{aligned} & \frac{\eta_1}{E_{22}} \frac{d^2 \sigma}{dt^2} + \left(\frac{E_1}{E_{22}} + \frac{\eta_1}{\eta_2} + \beta \right) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1 + E_{21}}{\eta_2} \sigma - \frac{E_{21}}{\eta_2} \sigma_0 = \\ & = \beta \eta_1 \frac{d^2 \epsilon}{dt^2} + \left(\frac{\eta_1}{\eta_2} E_{21} + \beta E_1 \right) \frac{d\epsilon}{dt} + \frac{E_1 E_{21}}{\eta_2} \epsilon \end{aligned} \quad (5)$$

Поскольку данное уравнение имеет второй порядок относительно производной по времени, требуется, помимо соотношения (4), задать второе начальное условие.

Необходимо отметить, что при незначительной толщине одного из слоев системы, реологическая модель может существенно упрощаться. В ряде случаев определяющее влияние на напряженно-деформированное состояние всей системы будет оказывать оксидокерамический слой, характеризующийся определенным уровнем пластических свойств, или

полимерный слой, обладающий упругими и вязкими характеристиками.

Характерное время релаксации напряжений композиционной системы зависит от упругих и вязких свойств слоев композита, которые в основном определяются свойствами полимерного слоя, особенно при минимальной толщине оксидокерамики (порядка нескольких десятков микрометров) или при ее отсутствии в конструкции системы в целом. Остаточная деформация зависит от величины приложенной нагрузки и времени ее действия, а также от предела текучести и пластической вязкости, связанных с наличием относительно толстых полимерных слоев.

Результаты экспериментальной оценки прочностных характеристик и реологических свойств разработанных композиционных систем и их сопоставление с результатами теоретических исследований на ПЭВМ, с учетом результатов которых была разработана методика экспериментальных исследований прочностных, нагрузочных и реологических характеристик слоев композиционных систем, приведены ниже.

Рассмотрено поведение многослойных композиционных систем при вдавливании с постоянной скоростью V сферического индентора в образец с покрытием. Закон изменения контактных напряжений определялся скоростью деформации, линейно зависящей от времени процесса.

Искомый закон нагружения для системы, представленной на рис. 1а, описывается уравнением (2) в предположении линейной зависимости деформации от времени, а для системы, представленной на рис. 1б, - уравнением (3) - в предположении линейной зависимости деформации от времени. Тогда получим:

$$\sigma(t) = E_{21}[\epsilon(t) - \epsilon_0] + \eta_2 \dot{\epsilon}(t) - \frac{3k\eta_2}{2t_1} e^{-t/\tau} + \frac{k\eta_2^2}{E_{22}t_1^2} (1 - e^{-t/\tau}), \quad (6)$$

где $\tau = \eta_2/E_{22}$, $t_1 = R/V$; $k = 4/(3\pi(1-\mu_2))$.

Закон нагружения при использовании реологической модели и расчетных зависимостей Герца для контакта сферического индентора с покрытием можно представить в виде:

$$P(t) = \sigma(t) \left[\pi R V t + \frac{\pi d^2(t)}{4} \right], \quad (7)$$

где R - радиус индентора, м;

α - глубина вдавливания индентора в покрытие, м;

V - скорость вдавливания индентора в образец, Н/с;

t - время нагружения, с;

$d(t)$ - закон изменения размеров отпечатка, полученного на поверхности покрытия в зависимости от приложенной нагрузки ($d(t) = 2\sqrt{R\alpha(t)}$);

$\sigma(t)$ - закон изменения напряжения;

$\epsilon(t)$ - закон изменения деформации ($\epsilon(t) = 2kd(t)/R$).

На основе обработки результатов экспериментальных исследований были получены эмпирические зависимости контактных напряжений и усилий взаимодействия индентора с образцом от времени и глубины вдавливания. При этом определялись параметры деформации слоев и размеры отпечатков индентора на их поверхностях при различных усилиях нагружения (рис. 2). Сравнительная оценка экспериментальных и теоретических данных подтвердила корректность полученных аналитических зависимостей (1-7).

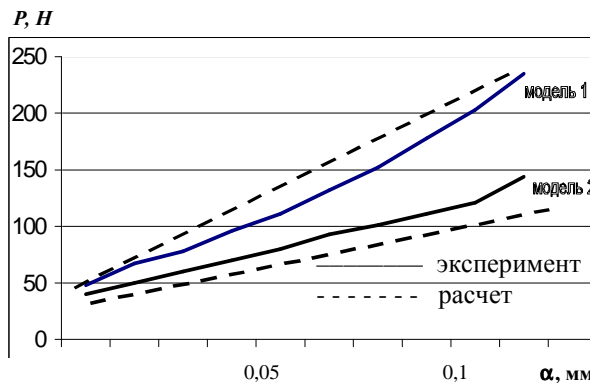


Рисунок 2 – Нагрузочные характеристики

1 - система «Al-Al₂O₃-CrC», 2 – система «основа – упруговязкий материал – алюминиевый сплав - оксидокерамика».

Как показали проведенные исследования с использованием предложенной методики, применение реологических моделей позволяет установить корреляционную связь между структурно-механическими свойствами (упругость, вязкость, пластичность), физико-химической структурой и конструкцией композиционной системы, оценить их прочностные и нагрузочные характеристики на стадии проектирования подшипниковых узлов и опор скольжения, а также повысить точность прогнозирования напряженно-деформированного состояния покрытий при различных условиях их нагружения. Экспериментальная проверка подтвердила адекватность разработанных реологических моделей путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Погрешность не превышала 10-15%.

Путем сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований были установлены допустимые удельные контактные давления для систем «металлическая основа – алюминиевый сплав – оксидокерамика – карбид хрома» и «стальная основа – вязкоупругий материал – сплав алюминия – оксидокерамика». Для композита «металлическая основа - сплав алюминия – оксидокерамика – карбид хрома» допустимые удельные контактные давления составили 2,5 – 3,0 ГПа, для системы, включающей вязкоупругий материал, – до 1,0 – 1,5 ГПа. В результате исследований установлено, что на прочностные и нагрузочные характеристики многоэлементных реологических систем существенное влияние оказывают толщины и конструкционные схемы чередования их элементов, а также физико-механические свойства материалов слоев.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ

В работе [23] отмечено, что к наиболее характерным частотам колебаний узлов и машин можно отнести колебания в диапазоне 0,5-7,0 кГц. Для их снижения, в ряде случаев, целесообразно применение композиционных виброизолирующих элементов, сконструированных с использованием жестких, демпфирующих и пористых материалов, к которым, как правило, предъявляются повышенные требования к технологичности, жесткости, нагрузочной способности и величинам остаточных деформаций при многократных циклических нагрузках. Исследования, проведенные в ИНДМАШ НАН Беларуси [8-11, 12-18] показали, что многоэлементные упруговязкопластичные системы на основе оксидокерамики вполне удовлетворяют всем вышеперечисленным требованиям.

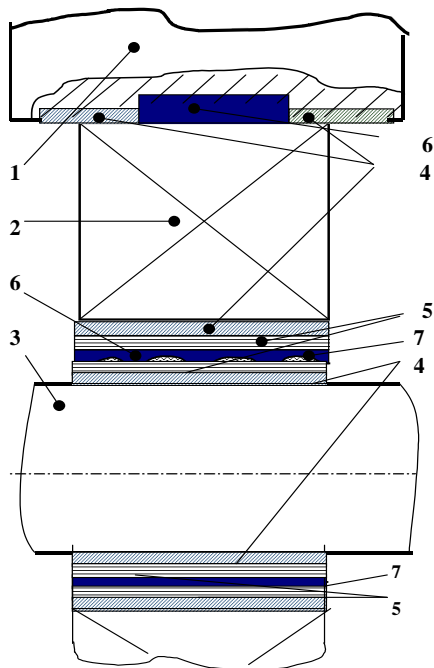


Рисунок 3.

1 – корпус, 2 – подшипник качения, 3 – вал, 4 – оксидокерамические кольцевые покрытия, 5 – сплав алюминия, 6 – полимер в упруго напряженном состоянии, 7 – периодический профиль.

С целью исследования виброизолирующих свойств композиционных систем на основе оксидокерамики был создан модернизированный редуктор с цилиндрическими зубчатыми колесами. Виброизоляция подшипниковых узлов качения (рис. 3) осуществлялась посредством специальных втулок, устанавливаемых на вал и имеющих в радиальном сечении многослойное строение на основе композиционной системы «оксидокерамика - сплав алюминия – полимер– сплав алюминия – оксидокерамика», а также кольцевого полимерного элемента, устанавливаемого в предварительно напряженном состоянии в проточку корпуса между кольцевыми керамическими покрытиями на корпусе редуктора, взаимодействующими с прилегающими к торцам участками наружной обоймы подшипника.

Контроль виброакустических параметров осуществлялся ВШВ-003 с октавными фильтрами. Виброускорения, генерируемые зубчатой передачей на корпусе редуктора, измерялись в диапазоне частот 63-8000 Гц. При этом выделялись наиболее характерные зубцовые и кратные им частоты.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал следующее (рис.4).

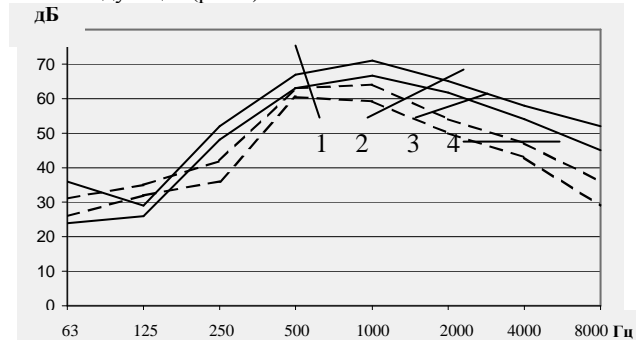


Рисунок 4 – Амплитудный спектр виброускорений на корпусе редуктора.

1,2 - серийное исполнение; 3,4 - модернизированный узел, 1,3 – номинальное нагружение, 2,4 – холостой ход.

Использование в конструктивном исполнении оксидокерамики, имеющей повышенные коэффициенты сухого трения обеспечивает надежное крепление наружной и внутренней обойм подшипника на валу и в корпусе, а введение в конструктивное исполнение упруговязких полимерных материалов – эффективную виброизоляцию корпуса редуктора от колебаний, генерируемых зубчатым зацеплением. Упруговязкие полимерные кольцевые элементы позволяют эффективно демпфировать колебания в диапазоне частот от 700Гц до 8,0 кГц. За счет многоэлементной и неоднородной структуры виброизолирующего элемента достигается дискретное, многоступенчатое поглощение вибраций. При этом обеспечиваются высокие прочностные характеристики системы в целом.

Применение разработанных конструктивных решений позволило снизить виброускорения на корпусе редуктора на 5-7 Дб и более по сравнению с серийным исполнением. Наибольший эффект достигался на зубцовых частотах, причем с увеличением частоты колебаний эффективность использования виброизолирующих элементов возрастала.

В тяжело нагруженных подшипниковых узлах полимерный элемент может быть дополнительно армирован проволоочной спиралью из алюминиевого сплава, имеющей на поверхности оксидокерамическое покрытие [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов проведенных исследований показал высокую эффективность многослойных композиционных систем «основа – демпфирующий упруговязкий материал – сплав алюминия - оксидокерамика», обладающей повышенными вибродемпфирующими, виброизолирующими и прочностными свойствами.

Для анализа напряженно-деформированного состояния разработанной системы на стадии проектирования подшипникового узла может быть использована разработанная и экспериментально апробированная методика расчета созданных с использованием реологических моделей, позволяющих учесть комплекс структурно-механических свойств (упругость, вязкость, пластичность), структуру и конструкцию системы.

Установлено, что варьирование толщинами и исходными свойствами материалов слоев при формировании многослойной композиционной системы с использованием комбинированных методов обработки, включающих газотермическое напыление и микродуговую обработку, обеспечивает значительное расширение возможностей управления виброизолирующими и прочностными свойствами подшипниковых узлов и опор скольжения. При этом различное сочетание материалов и геометрических параметров слоев позволяет создать экономически целесообразными методами композиты с технически обоснованным частотным диапазоном наиболее эффективной виброзащиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Защита от вибраций и ударов. / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1987г., 456с.
2. Popp Matthias. //Schweiz Maschinenmarkt/ №29-30, 1995, р.96.
3. Шульман З.П., Ковалев Я.Н., Зальцгендлер Э.А. Реофизика конгломератных материалов. Мн.: «Наука и техника», 1978, 240с.
4. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987, 288с.
5. Патент ФРГ № 3934141. F 16 C 33/12, опубл. 1990
6. Патент ФРГ № 4038139. F 16 C 33/10, опубл. 1990
7. Новые технологии и материалы восстановления и ремонта деталей машин. /под. ред. проф. Афанасьева А.П. – М.: Наука, 1988, 430с.

8. Пат. 20356 RU, МПК F 16 H 1/48. Редуктор / О.В.Берестнев, В.Л.Басинюк, М.В.Кирейцев, А.И.Комаров. № 2000124701; Заявл. 1.12.1999; Опубл. 3.05.2000 // Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы. – 2000. – №21(6). – С.54
9. Пат. 424 BY, МПК C 23 C 28/00. Редуктор / М.А.Белоцерковский, В.Л.Басинюк, А.В.Федаравичус, М.В.Кирейцев. № 200110142; Заявл. 12.06.2001; Опубл. 12.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь: Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысловыя узоры. / Дзярж. Пат. Ведамства Рэсп. Беларусь. – 2001. – №28(4). – С.67
10. Пат. 425 BY, МПК F 16 C33/26. Композиционная опора скольжения / М.А.Белоцерковский, В.Л.Басинюк, М.В.Кирейцев, А.В.Федаравичус. № 200110143; Заявл. 12.06.2001; Опубл. 12.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь: Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысловыя узоры. / Дзярж. Пат. Ведамства Рэсп. Беларусь. – 2001. – №28(4). – С.67
11. Пат. 251 BY, МПК F 16 H 1/48. Редуктор / О.В.Берестнев, В.Л.Басинюк, М.В.Кирейцев. № 20000116; Заявл. 26.07.2000; Опубл. 31.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь: Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысловыя узоры. / Дзярж. Пат. Ведамства Рэсп. Беларусь. – 2001. – №48. – С.47
12. Kireitseu M.V. and Basenuk V.L. Study of Load Rating of CrC–Al₂O₃–Al Composite Coating. // Proc. of 2001 TMS Fall Meeting: “2nd Int. symposium on modeling the performance of engineering structural materials (MPESM – II)”, Ed. Dr. Lesurer. – 18-21 October, Akron, OH, USA, 2001. – P. 355 – 364.
13. Kireitseu M.V. and Basenuk V.L. Investigation of tribomechanical properties of Al–Al₂O₃ and Al–Al₂O₃–CrC composite coatings based on the oxide ceramics. // Proc. of 2001 TMS Fall Meeting: “2nd Int. symposium on modeling the performance of engineering structural materials (MPESM – II)”, Ed. Dr. Lesurer. – 18-21 October, Akron, OH, USA, 2001. – P. 365 – 377.
14. Басинюк В.Л., Кирейцев М.В., Белоцерковский М.А. Металло–полимерно–керамические композиции и технологии для восстановления и ремонта изношенных поверхностей опор скольжения. // Сб. научн. статей МНТК “Упрочнение, восстановление и ремонт”. – Новополоцк, 2001. – С.110–113
15. Басинюк В.Л., Кирейцев М.В., Чернюк Н.П., Якимович И.А.. Композиционные покрытия для восстановления и повышения работоспособности насосов хим. производства. // Сб. научн. статей МНТК “Упрочнение, восстановление и ремонт”. – Новополоцк, 2001. – С.348–352
16. Kireitseu M.V. and Yerakhavets L.V. Composite bearing based on metal–polymer–soft metal–ceramics composition. // Proc. of the 104th Annual Meeting & Exposition of The American Ceramic Society. – 29-30 April, St. Louis, Missouri, USA, 2002. – P. 275–284.
17. Кирейцев М.В., Мардосевич Е.И., Макаревич Г.В. Работоспособность динамически нагруженных сопряжений композитов на основе системы карбид хрома – оксидокерамика. // В сб. материалов 54-й научн.–техн. конф. профессор, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА в 10–ти частях. – Минск, 2000. – Ч. 6. – С.47.
18. Basenuk V.L., Kireitseu M.V., and Yerakhavets L.V. Fatigue of composite coatings based on hard oxide ceramic and chrome carbide. // Proc. of the International Conference On Metallurgical Coatings And Thin Films - ICMCTF. Ed. Dr. B. Sartwell. – 22 – 26 April, San Diego, California, USA, 2002. – P. 145–154.
19. Р е и н е р М. Деформация и течение. М., 1963, 450с.
20. Р е и н е р М. Реология. М., 1965, 540с.
21. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. 1958, 320с.
22. Басинюк В.Л., Кирейцев М.В., Макаревич Г.В. Расчет подшипников скольжения на основе композита «карбид хрома – оксидокерамика – алюминий». // В сб. материалов 54-й научн.–техн. конф. профессор, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА в 10–ти частях. – Минск, 2000. Ч. 6. – С.41.
23. Минаев А.Е., Альбер В.Г. Виброакустическая диагностика и свойства деталей машин. М: “Машиностроение”, 1974, 350с.

УДК 621.891

Басинюк В.Л.

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени, несмотря на интенсивное развитие различных модификаций электроприводов, передачи зацеплением остаются одним из наиболее распространенных элементов трансмиссий, работающих как в режиме редуцирования, так и режиме мультипликации. Производство редукторов на их основе относится ко второй, по объемам и значимости, отрасли машиностроения индустриально развитых стран мира. При этом, в процессе создания новых и существенной модификации существующих конструктивных решений и технологических схем их изготовления, зубчатые передачи испытывают в составе отдельных узлов и трансмиссий на стендах, полигонах и в эксплуатации. До настоящего времени этот процесс остается одним из наиболее трудоемких, длительных и дорогостоящих этапов подготовки изделия к серийному производству.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

К основным факторам, определяющим надежность и виброакустическую активность зубчатых передач, при рациональных подходах к их проектированию и использованию

технически обоснованных и экономически целесообразных схем изготовления, можно отнести соответствие между расчетными или априорно принятыми при разработке новых технических решений и реальными параметрами функционирования, включая:

- нагруженность зубьев, различия между расчетной и реальной величинами которых может быть обусловлена как конструктивными особенностями трансмиссии, во многом определяющими вибрационные, инерционные, жесткостные характеристики и деформации основных элементов, которые в свою очередь связаны с динамической составляющей нагрузки, а также равномерностью распределения нагрузки по длине контактных линий и между зубьями, так и технологическими особенностями изготовления, оказывающими существенное влияние на генерируемые передачей шумы, точностные и прочностные параметры взаимодействующих элементов, в том числе усталостную прочность и износостойкость рабочих поверхностей взаимодействующих элементов;
- характер смазывания взаимодействующих элементов и свойства смазочного материала.