

Если угол γ равен нулю, то приведенные выше уравнения представляют собой уравнения поверхностей зубьев с окружностью в торцовом сечении. При этом радиус кривизны профилей выпуклых участков зубьев должен находиться на основной винтовой линии, а радиус профилей вогнутых участков зубьев – сдвинут от оси симметрии (основной винтовой линии) по линии угла давления на величину ΔR , которую выбирают исходя из допусков на возможное отклонение межосевого расстояния передачи.

Уравнения (15)...(18) описывают круговинтовые поверхности зубьев на колесах глобоидно-цилиндрической передачи с двумя линиями зацепления Новикова.

Выводы. Зубчатые глобоидно-цилиндрические передачи с двумя линиями зацепления обладают более высокими показателями нагрузочной способности в сравнении с другими передачами, зубья в которых нарезаны методом огибания. В передаче с зацеплением Новикова глобоидно-цилиндрическим колесом лучше условие смазки и меньше трение скольжения за счет перекатывания зубьев друг по другу. В результате эти передачи смогут успешно работать в качестве силовых.

Список литературы: 1. Новиков М.Л. Зубчатые передачи с новым зацеплением / М.Л. Новиков. – М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1956. – 186с. 2. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова / А.В. Павленко, Р.В. Федякин, А.В. Чесноков. – Киев: Техніка, 1978. – 144с. 3. Теория зацепления Новикова / Н.Н. Краснощеков, Р.В. Федякин, А.В. Чесноков. – М.: Наука, 1976. – 174с.

Поступила в редколлегию 21.04.12

УДК 539.3: 621.897

С.В. ШИЛЬКО, к.т.н., доц., зав. отделом ИММС НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н., доц., главный научный сотрудник ИММС НАН Беларуси;

Е.М. ПЕТРОКОВЕЦ, научный сотрудник ИММС НАН Беларуси;

Д.А. ЧЕРНОУС, к.т.н., доц., старший научный сотрудник ИММС НАН Беларуси

ДВУХУРОВНЕВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

Рассмотрена проблема повышения точности расчетного определения деформационно-прочностных характеристик деталей машин и элементов конструкций на основе полимерных композитов. Показано применение двухуровневого метода расчета на прочность для выбора оптимального содержания дисперсного наполнителя при изготовлении композитных зубчатых колес. Установлено оптимальное значение объемного содержания наполнителя, обеспечивающее требуемую прочность при заданной геометрии и нагрузочном режиме зубчатой передачи.

Розглянута проблема підвищення точності розрахункового визначення деформаційно-міцнісних характеристик деталей машин і елементів конструкцій на основі полімерних композитів. Показано застосування дворівневого методу розрахунку на міцність для вибору оптимального змісту дисперсного наповнювача при виготовленні композитних зубчастих коліс. Встановлено оптимальне значення об'ємного вмісту наповнювача, що забезпечує необхідну міцність при заданій геометрії і навантажувальному режимі зубчастої передачі.

The problem of accuracy improvement of machine part and elements of structures stress-strain design based on polymer composites has been considered. For optimization of disperse filler content in composite gear, two-level method of strength calculation has been used. Optimal filler content providing required gear strength at preset geometry and loading conditions has been calculated.

Введение. Существующие методы расчета элементов приводов на прочность, жесткость и износостойкость базируются на компактных зависимостях, полученных в рамках аналитических решений задач теории упругости и сопротивления материалов благодаря ряду упрощающих допущений. Во многих случаях они позволяют получить приемлемую точность определения требуемых характеристик и широко используются в практике инженерных расчетов.

Однако для проектирования деталей и конструкций сложной геометрической формы из структурно неоднородных и физически нелинейных материалов (например, полимерных композитов), точность названных методов недостаточна. Более адекватны оценки деформационно-прочностных характеристик с использованием пространственной дискретизации конструкции конечными и граничными элементами, позволяющей снять геометрические ограничения аналитических методов, учесть нелинейные и краевые эффекты и тем самым минимизировать погрешность определения напряжений и перемещений [1].

Однако и при использовании численных методов прочностного анализа деталей машин и элементов конструкций из полимерных композитов, существует проблема получения исходных данных в виде модулей упругости, вязкости, пределов прочности, параметров скоростной чувствительности и т.д. для различных соотношений компонентов.

Весьма актуальной также является обратная задача – оптимизации состава материала, (главным образом, содержания армирующего наполнителя) композитных зубчатых колес по условию прочности исходя из заданной геометрии и условий нагружения. По нашему мнению, реализация такого подхода дополнила бы обычно практикуемый экспериментальный поиск оптимальных составов композиционных материалов по общим критериям [2, 3], что далеко не всегда учитывает специфику работы конкретных деталей.

С целью решения указанных проблем применительно к прочностному расчету композитных зубчатых колес, в настоящем сообщении описывается применение развиваемого авторами двухуровневого расчетного метода см. рисунок 1.

На 1-м (мезомеханическом) уровне постулируется повторяющийся и минимальный по размеру структурный элемент (ячейка периодичности) материала, при этом в основном характеризующий свойства исследуемого материала. Для структурного элемента записываются определяющие соотношения, учитывающие свойства отдельных компонент и структуру композита (размеры и форму армирующих включений, толщину межфазного слоя, плот-

ность микродефектов и т.д.). Определенные на 1-м уровне эффективные механические характеристики используются в качестве исходных данных для макроскопического анализа (2-го масштабного уровня), т.е. прочностного расчета реальной конструкции, как правило, численными методами, некритичными к геометрической форме детали.

Предлагаемый метод проиллюстрируем на примере оптимизации состава дисперсно-армированного материала зубчатых колес. Это мотивируется тем, что, армирование полимерной матрицы неориентированными высокопрочными и высокомодульными частицами или короткими волокнами, в т.ч. наноразмерного уровня, весьма эффективно и технологично и обеспечивает однородность и изотропию свойств. Так, результаты расчетов [1] композитных зубчатых колес из стекло- и углепластиков показывают кратное повышение ресурса зубчатой передачи за счет одновременного повышения прочностных и триботехнических характеристик.

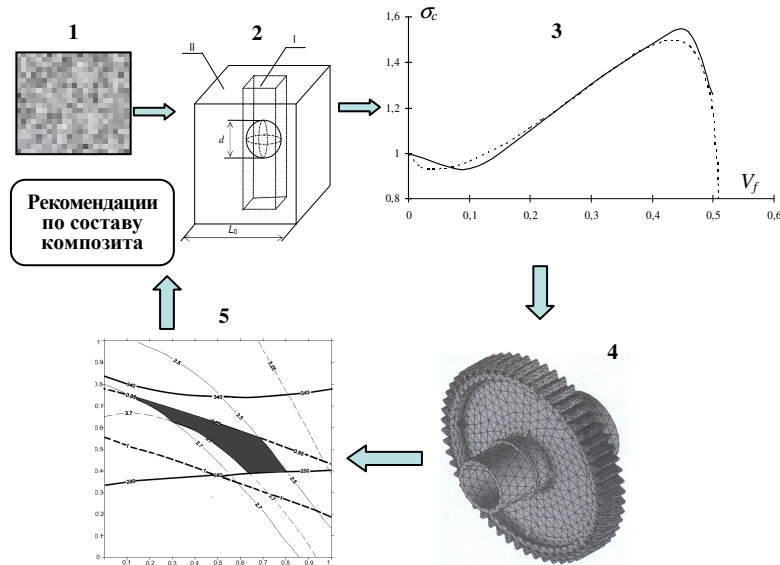


Рисунок 1 – Схема двухуровневого расчета на прочность:

1) расчет механических характеристик композитного материала: структура дисперсно-армированного композита (1), структурный элемент (2), расчетная зависимость характеристики от содержания наполнителя (3); 2) прочностной расчет изделия: КЭ модель зубчатого колеса (4) и область значений параметров компонент (5) для получения заданных эффективных характеристик композита позволяет корректировать модель 1-го уровня

1. Мезомеханический уровень (определение деформационно-прочностных характеристик композитного материала).

Исходные данные для расчета по методике [4,5] определения деформационно-прочностных характеристик дисперсно-армированного композита с учетом деформируемого межфазного слоя (матрица – полиамид, наполнитель – стекловолокно): модуль Юнга материала матрицы $E_m=2$ ГПа; коэффициент Пу-

ассона материала матрицы $\nu_m=0,45$; предел текучести материала матрицы $\sigma_m=50$ МПа; модуль Юнга материала наполнителя $E_f=70$ ГПа; коэффициент Пуассона материала наполнителя $\nu_f=0,2$; параметр анизотрии частиц наполнителя $\chi=0,1$; объемная доля наполнителя $V_f=0,05 \div 0,35$; модуль Юнга материала межфазного слоя $E_f=1$ ГПа; коэффициент Пуассона материала межфазного слоя $\nu_f=0,4$; предел текучести материала межфазного слоя $\sigma_f=100$ МПа; относительный объем межфазного слоя (отношение объема слоя к объему наполнителя) $q=0,001$. Результаты мезомеханического расчета модуля упругости, коэффициента Пуассона и предела текучести композита приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты мезомеханического расчета

| V_f | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,70 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_c , ГПа | 2,4 | 2,8 | 3,3 | 3,8 | 4,4 | 5,0 | 5,6 | 13,9 |
| ν_c | 0,445 | 0,439 | 0,433 | 0,426 | 0,421 | 0,415 | 0,409 | 0,369 |
| σ_c , МПа | 45,3 | 45,4 | 45,8 | 46,3 | 46,8 | 47,4 | 48,0 | 52,7 |

Можно заметить существенное влияние армирования на упругие характеристики композита E_c и ν_c ; в меньшей степени армирование влияет на предел текучести σ_c . Вычисленные параметры используются в качестве исходных данных для последующего расчета параметров напряженно-деформированного состояния зубчатого колеса, схема зацепления и геометрия зуба которого показаны на рисунках 2 и 3 соответственно.

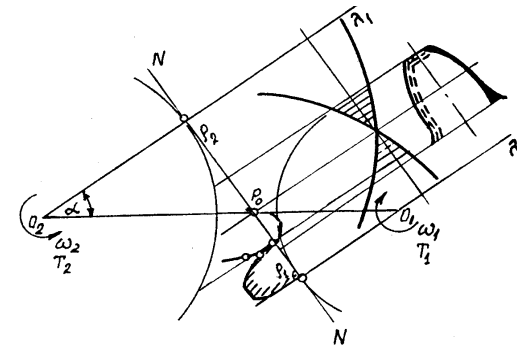


Рисунок 2 – Схема зубчатого зацепления

жесткость сопряженных колес отличается на 1-2 порядка).

Расчетные значения нормальных и касательных контактных напряжений, проскальзывания и эквивалентных напряжений, возникающие при контактом взаимодействии в зоне вершины, приведены в таблице 2 для различного объемного содержания наполнителя.

Используя в качестве условия прочности критерий Мизеса, были сопоставлены расчетные значения эквивалентного напряжения и предела текучести (рисунок 4), что позволило выбрать оптимальное объемное содержание упрочняющего наполнителя. В рассмотренном примере оптимальным является содержание наполнителя $V_f=0,35$.

Исходные данные:

| Точка профиля | Координаты точки, мм | |
|---------------|----------------------|----------|
| | x | y |
| M | 0,0 | 18,542 |
| E2 | -0,36866 | 18,53833 |
| CE2-E1 | -0,36108 | 18,15741 |
| RE2-E1 | 0,381 | |
| E1 | -0,66612 | 18,38569 |
| CE1-2 | 8,58062 | 11,46567 |
| RE1-2 | 11,54941 | |
| 2 | -1,50998 | 17,08427 |
| C2-3 | 4,80495 | 13,56802 |
| R2-3 | 7,22789 | |
| 3 | -2,21621 | 15,28432 |
| C3-4 | 3,40058 | 13,91131 |
| R3-4 | 5,78217 | |
| 4 | -2,34953 | 14,51932 |
| C4-L | -0,89698 | 14,36573 |
| R4-L | 1,46065 | |
| L | -2,33828 | 14,12873 |
| L1 | -2,33280 | 14,09566 |
| CL1-F | -3,71560 | 13,86681 |
| RL1-F | 1,40161 | |
| F | -3,35284 | 12,51296 |

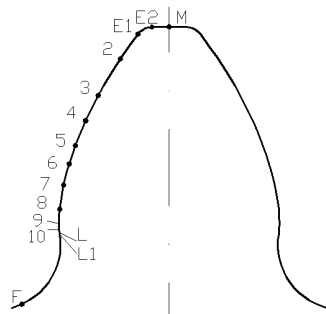


Рисунок 3 – Расчетная модель зубчатого колеса

Таблица 2 – Результаты конечноэлементного расчета на прочность зубчатого колеса

| | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V_f | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,70 |
| p , МПа | 0,31 | 0,34 | 0,38 | 0,41 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,85 |
| τ , МПа | 0,006 | 0,004 | 0,006 | 0,010 | 0,016 | 0,019 | 0,022 | 0,060 |
| u , мм | 0,066 | 0,080 | 0,096 | 0,128 | 0,127 | 0,154 | 0,164 | 0,170 |
| σ_{eqv} , МПа | 0,39 | 0,47 | 0,57 | 0,67 | 0,76 | 0,86 | 0,96 | 2,11 |

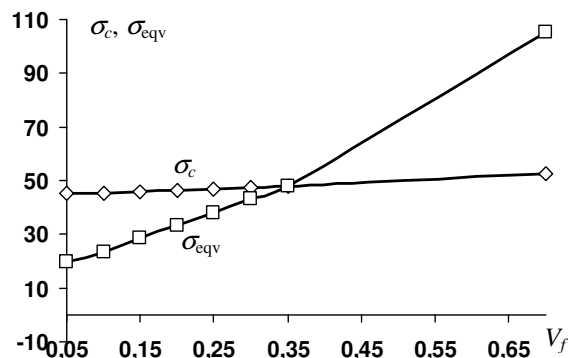


Рисунок 4 – Зависимости эквивалентного напряжения и предела текучести дисперсно-армированного композита от содержания наполнителя

Заключение. Показано применение двухуровневого метода расчета на прочность для выбора оптимального содержания дисперсного наполнителя при изготовлении композитных зубчатых колес. Таким образом, реализуется концепция компьютерного дизайна материалов. Это позволяет расширить использование микро- и нанокомпозитов для изготовления ответственных деталей машин и элементов конструкций, повысить эффективность проектирования и новых технических решений в машиностроении.

Список литературы: 1. Старжинский В.Е., Шалобаев Е.В., Шилько С.В. и др. Элементы привода приборов. Расчет, конструирование, технологии / Под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. – Минск: Белорусская наука. – 2012. – 784с. 2. Буря А.И., Молчанов Б.И. Трение и изнашивание полиамида-6 и углепластика на его основе // Трение и износ. – 1992. – Т.13, №5. – С.900-904. 3. Сытар В.И., Кузьев И.М., Буря А.И. и др. Оптимизация состава композиции по комплексу триботехнических характеристик // Трение и износ. – 2004. – Т.25. – №2. – С.219-222. 4. Черноус Д.А., Шилько С.В., Панин С.В. Анализ механического поведения дисперсно-армированного нанокомпозита. Метод расчета эффективных упругих характеристик // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т.13, №4. – С.85-90. 5. Шилько С.В., Черноус Д.А., Панин С.В. Анализ механического поведения дисперсно-армированного нанокомпозита. Ч.2. Оценка локальной прочности включения, межфазного слоя и приграничного объема матрицы // Физическая мезомеханика. – 2011. – Т.14, №1. – С.67-73.

Поступила в редколлегию 30.04.12

УДК 621.833

В.П. ШИШОВ, д.т.н., профессор каф. машинознaвства СНУ ім. В. Даля, Луганськ;
П.М. ТКАЧ, к.т.н., доцент каф. машинознaвства СНУ ім. В. Даля;
Т.Є. ЖУРАВЛЬОВА, аспірант каф. машинознaвства СНУ ім. В. Даля;
О.Ю. ЧАЛА, асистент каф. прикладної математики СНУ ім. В. Даля

ГЕОМЕТРИЯ ТВІРНОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОСОЗУБИХ ПЕРЕДАЧ ЗМІШАНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

В статті проведено теоретичне дослідження внутрішньої геометрії твірної поверхні, спрофілюваної несиметричним вихідним контуром, для циліндричних косозубих передач змішаного зачеплення. У загальному вигляді отримано рівняння поверхонь зубців інструментальної рейки, за допомогою яких розглянуто основні характеристики цієї твірної поверхні, а саме квадратичні форми і нормальні кривизни в заданих напрямках.

В статье проведено теоретическое исследование внутренней геометрии производящей поверхности, спрофилированной несимметричным исходным контуром, для цилиндрических косозубых передач. В общем виде получены уравнения поверхностей зубьев инструментальной рейки, с помощью которых рассмотрены основные характеристики этой образующей поверхности, а именно квадратичные формы и нормальные кривизны в заданных направлениях.

In a paper theoretical research of internal geometry of a produced surface, delineated by an asymmetrical initial contour, for cylindrical transmissions with a helical tooth is executed. In a general view the equations of surfaces of tool with which help the basic performances of this produced surface surveyed, namely quadratic forms and normal curvatures in the given directions are obtained.