

Анализ напряжений в зоне контакта зубьев зубчатых колес поляризационно-оптическим методом

А. А Меновщикова¹, К. В Аверков²

*Омский государственный университет путей сообщения
Омск, Россия*

Аннотация. Зубчатые передачи- самый распространенный вид механических передач. Они применяются в машиностроении, приборостроении, а также часовой промышленности. Целью данного исследования является разработка методики определения механических напряжений в зоне контакта зубьев зубчатых колес. Данная задача является одной из наиболее актуальных при проектировании зубчатой передачи. В статье предлагается способ непосредственного определения контактных напряжений с помощью поляризационно-оптического метода. Полученный результат сравнивался с аналогичным результатом, полученным с помощью метода конечных элементов. Проведенные эксперименты показали, что поляризационно-оптический метод вполне применим для анализа напряжений, возникающих в зоне контакта зубчатых колес и выявления наиболее нагруженных участков в сечении зуба. Данный метод предлагается применять при проектировании любых механизмов, содержащих зубчатые передачи. При этом предлагается изготавливать модель проектируемого механизма из поляризационно-активного материала и исследовать их под нагрузкой.

Ключевые слова: Зубчатые передачи, поляризационно-оптический метод, контактные напряжения, механические напряжения.

На сегодняшний день зубчатые передачи используются в любых механизмах, причем, часто, они являются деталями наиболее ответственных узлов. От качественной работы зубчатых передач зависит точность работы машины, ее надежность, долговечность, ремонтпригодность и пр.

Зубчатые колеса обладают высокой нагрузочной способностью, малыми габаритами, большой надёжностью и долговечностью (до 40000 ч), постоянством передаточного числа, а также, высоким КПД (до 0,97...0,98 в одной ступени), простотой в эксплуатации. Наиболее распространены зубчатые колеса эвольвентного зацепления, они обладают высокой технологичностью, простотой в изготовлении. Для изготовления зубчатых колес обычно используют следующие марки: 45, 40Х, 40ХН, 35ХМ.

Вместе с тем для зубчатых колес характерны высокие напряжения в зоне контакта зубьев. Именно эти напряжения являются основной причиной выхода из строя зубчатого зацепления. По статистике наиболее частой причиной выхода из строя зубчатых колес являются излом зубьев и выкрашивание их рабочих поверхностей. Причиной этих дефектов являются рассматриваемые в статье контактные напряжения.

Задачей данного исследования является определение механических напряжений в зоне контакта зубьев зубчатых колес, посредством непосредственного определения контактных напряжений с помощью поляризационно-оптического метода

Определение механических напряжений в зоне контакта зубьев является самой актуальной задачей при проектировании зубчатой передачи, так как именно эти напряжения определяют ресурс передачи, и передаваемый крутящий момент.

Формула [1] позволяет произвести расчет контактных напряжений в прямозубом зубчатом зацеплении:

$$\sigma_H = \frac{Z_\sigma}{a_w} \sqrt{\frac{K_H \cdot T_1 \cdot (u_\phi \pm 1)^3}{b_2 \cdot u_\phi}} \leq [\sigma]_H \quad (1)$$

σ_H – рассчитываемые контактные напряжения, МПа;

$Z_\sigma = 9600 \text{ МПа}^{1/2}$;

a_w – расстояние между осями, мм;

K_H – нагрузочный коэффициент;

T_1 – передающийся крутящий момент, Н·м;

u_ϕ – передаточное отношение;

b_2 – ширина зубчатого венца, мм;

где $[\sigma]_H$ – допускаемые напряжения, МПа.

Данная формула не берет в расчет такие факторы как:

1. в процессе зацепления с учетом коэффициента перекрытия изменяется количество зубьев колеса, контактирующих между собой;
2. из-за перемещения точки контакта зубьев вдоль линии зацепления изменяется передаваемый крутящий момент.

Ряд недостатков имеет также расчет контактных напряжений методом конечных элементов:

1. установка соответствующего программного обеспечения;
2. из-за обусловленной дискретности расчета образуется некоторая погрешность;
3. длительность расчета при уменьшении дискретности.

Для расчета контактных напряжений в зубчатом зацеплении, в данной статье, предлагается рассмотреть актуальность поляризационно-оптического метода или метода фотоупругости.

Сущность метода такова, что первоначально в изотропных твёрдых телах под действием механических напряжений возникает оптическая анизотропия. При рассмотрении образца в поляризованном свете, анизотропия проявляется в возникновении интерференционной картины. Луч поляризованного света, проходя через напряженный образец, разделяется на два луча, которые поляризуются в плоскостях совпадающих с векторами главных напряжений в рассматриваемой точке. Лучи распространяются с разной скоростью и интерферируют на выходе из образца. Чтобы судить о значении напряжений и сделать вывод о том, какие участки тела более нагружены нужно проанализировать расположение линий на интерференционной картине.

У поляризационно-оптический метода есть ряд достоинств:

1. повышенная наглядность метода;
2. все напряжения хорошо видны по глубине.

Схема установки представлена на рис. 1.

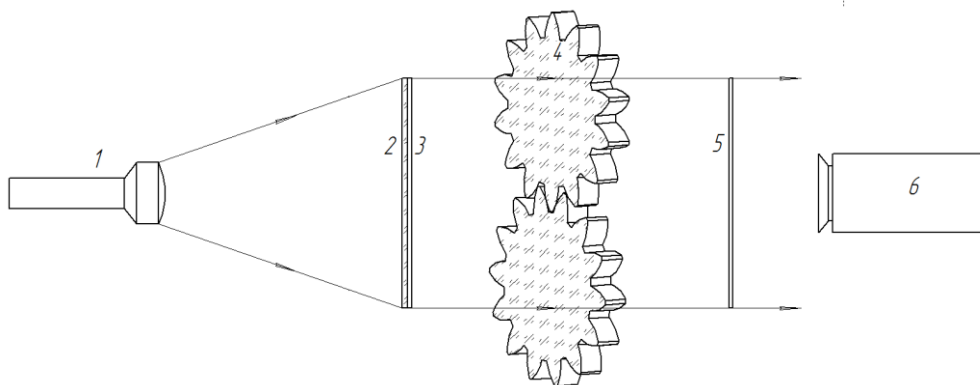


Рис. 1. Схема установки для поляризационно-оптического исследования механических напряжений в зоне контакта зубчатых колес

Свет от источника 1 попадает на экран 2, который покрыт поляризационной пленкой 3. Экран рассеивает свет и затем получается распределенный источник поляризованного света. Далее свет проходит через

находящиеся под нагрузкой образцы 4, и через поляризационную пленку 5 и попадают в камеру 6.

В ходе эксперимента были написаны программы для станка с числовым программным управлением (рис. 2).

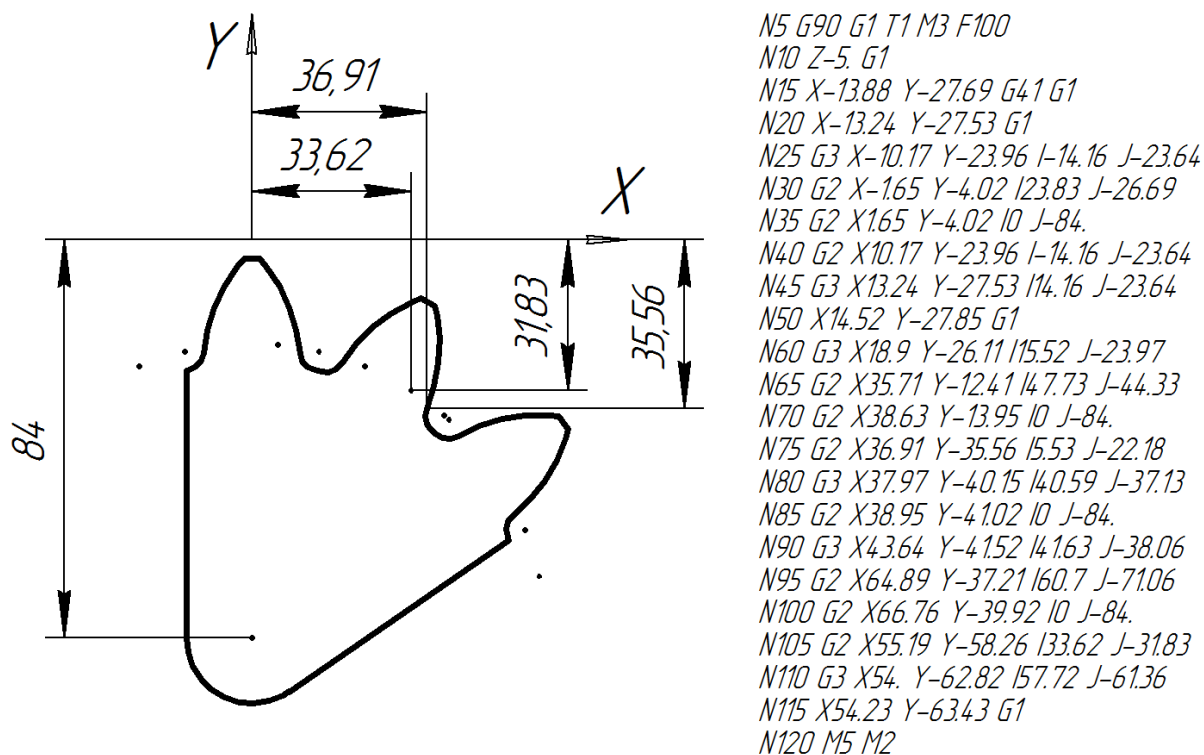
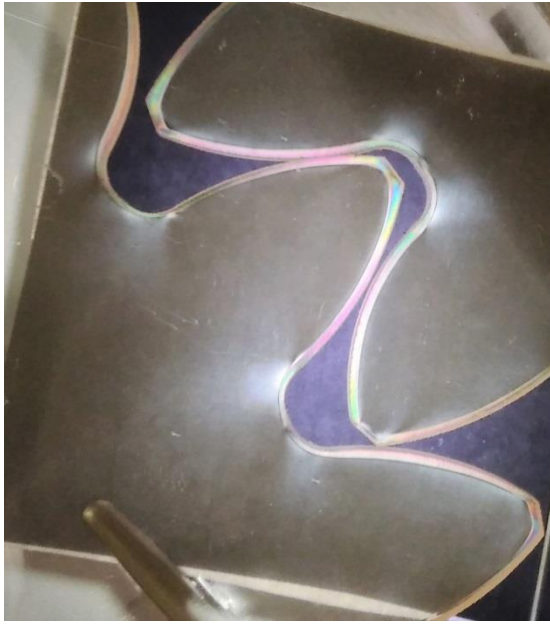


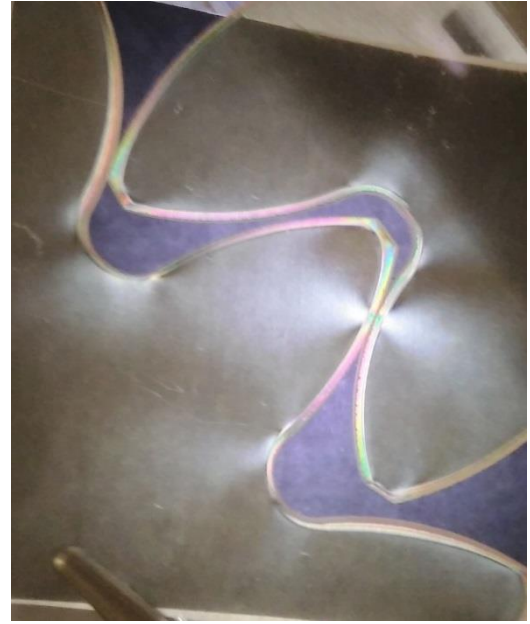
Рис. 2 Координатный эскиз и управляющая программа

С помощью полученной управляющей программы на фрезерном станке с числовым программным управлением КФПЭ-250 были изготовлены образцы из поликарбоната, так как данный материал хорошо обрабатывается без образования трещин и сколов, а также без оплавления стружки от тепла, образующегося при резании, при механических нагрузках обладает достаточно высокой оптической анизотропией и удобен для проведения эксперимента.

По вышеизложенной были получены следующие изображения, представленные на рис.3.



а)



б)



в)

Рис. 3 Испытуемые образцы под нагрузкой:
а) $M_{кр} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$; б) $M_{кр} = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}$; в) $M_{кр} = 300 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Напряжения, возникающие в зоне контакта колес, а также в основании зуба, отчетливо видны на представленных рисунках.

Исследования, которые были произведены, показали, что поляризационно-оптический метод применим для анализа напряжений, возникающих в зоне контакта зубчатых колес и выявления наиболее нагруженных участков в сечении зуба.

В статье был рассмотрен способ определения контактных напряжений с помощью поляризационно-оптического метода. Полученный результат сравнили с аналогичным результатом, полученным с помощью конечных элементов. Проведенные эксперименты показали, что поляризационно-оптический метод вполне применим для анализа напряжений, возникающих в зоне контакта зубчатых колес и выявления наиболее нагруженных участков в сечении зуба. Данный метод предлагается применять при проектировании любых механизмов, содержащих зубчатые передачи. При этом предлагается изготавливать модель проектируемого механизма из поляризационно-активного материала и исследовать их под нагрузкой.

Список литературы

1. Ионов, А.О. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ВОРОНКОЙ ДЛЯ ТОНКИХ СТЕРЖНЕВЫХ ПРЕДМЕТОВ ОБРАБОТКИ / А.О. Ионов, В.В. Прейс, В.Ю. Токарев // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2014. — № 3. — С. 3-17. — ISSN 2071-6168
2. Даньков, А.М. КАК УПРАВЛЯТЬ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ОТНОШЕНИЕМ ЗУБЧАТОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЛАВНО РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ / А.М. Даньков // Наука и техника. — 2016. — № 3. — С. 200-208. — ISSN 2227-1031
3. Губайдулин, Р.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕСФАСОНОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ УЗЛОВ / Р.Г. Губайдулин, А.К. Тиньгаев, В.А. Лупин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. — 2012. — № 15. — С. 31-36. —