

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Ю. А. ЕРЁМИН, М. И. ТИМОФЕЕВ

Институт механической технологии и металловедения

Будапештского Технического Университета

Поступило 22 января 1980 г.

Представлено: проф. И. Артингер

В экспериментальной практике, а также в расчетных методах определения прочности плоских деталей и конструктивных узлов, имеющих зоны контакта со смежными деталями, весьма важно знать напряженно-деформированное состояние в этих зонах. Необходимо отметить, что корректность расчетных методов часто в решающей степени зависит от знания граничных условий в зонах нагруженного контакта таких деталей.

В то же время не всегда имеется точное решение большинства подобных контактных задач; поэтому, как правило, используются экспериментальные результаты и приближенные методы расчета (1). Наиболее часто деформации в стыке двух деталей определяют следующими способами: электромеханическими датчиками перемещений, полупроводниковыми тензорезисторами, способом малобазной электротензометрии, а также поляризационно-оптическим методом с применением фотоупругих моделей. Общим недостатком первых трех способов является их невысокая точность, а также невозможность измерять деформации в любой точке зоны контакта деталей, что весьма важно в зонах больших градиентов деформаций. Полупроводниковые тензорезисторы обладают, к тому же, большой нелинейностью своих характеристик в широком диапазоне температур. Поляризационно-оптический метод с применением фотоупругих моделей наряду со своими большими достоинствами (безбазовость измерений) не дает возможности соблюдения условия в зоне контакта, характерные для прототипа, поэтому весьма трудно перенести результаты, полученные на фотоупругих моделях, на конструкцию — прототип (сказывается различие модулей Юнга и коэффициентов Пуассона контактирующих деталей, условия смазки, зазоры и т. д.).

В данной работе для определения напряженно-деформированного состояния в зоне контакта плоских деталей предлагается метод фотоуп-

ругих покрытий. Основным достоинством этого метода является возможность определения деформаций и напряжений деталей из материала прототипа с высокой степенью точности как при упругих, так и при значительных пластических деформациях (2).

Предлагаемый способ позволяет находить деформированное состояние в зоне контакта двух плоских деталей непосредственно по данным замера параметров двойного лучепреломления в фотоупругом покрытии без привлечения обычно применяемых трудоемких способов разделения деформаций. Суть способа заключается в следующем. На боковую поверхность одной из деталей в окрестности зоны контакта наносят фотоупругое покрытие, так, чтобы контур покрытия в точности совпадал с контуром детали. Для определения деформаций в зоне контакта контактирующие детали, на боковую поверхность одной из которых нанесено фотоупругое покрытие, подвергают двукратному нагружению рабочей нагрузкой, каждый раз определяя параметры двойного лучепреломления в точках контура фотоупругого покрытия по линии контакта деталей. На рис. 1 показаны схемы нагружения деталей в зоне контакта. Определение деформаций производится следующим образом.

Поляризованный луч света 4 от источника, дважды пройдя в точке контакта деталей 1,2 нанесенное на деталь 1 фотоупругое покрытие 3 и отразившись от детали 1, разлагается на два луча 5 с разностью хода, соответствующей деформациям детали 1 в данной точке контакта.

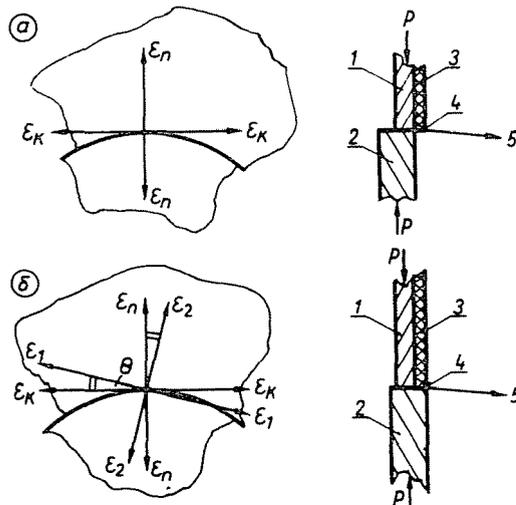


Рис. 1. Схемы нагружения деталей в зоне контакта

При первом нагружении (рис. 1,а) край фотоупругого покрытия в зоне контакта деталей остается свободным; при этом напряженное состояние на нем одноосное и оптическая разность хода Γ^* пропорциональна деформации детали с фотоупругим покрытием в направлении касательной к линии контура:

$$\varepsilon_k = \frac{\Gamma^*}{(1 + \mu_f)C_\varepsilon \cdot 2d}; \quad (1)$$

где μ_f — коэффициент Пуассона материала фотоупругого покрытия;
 C_ε — оптическая постоянная материала покрытия по деформациям;
 d — толщина покрытия.

Второе нагружение (рис. 1, б) осуществляют таким образом, чтобы фотоупругое покрытие, нанесенное на одну из деталей, вступало вместе с ней в контакт со второй деталью; при этом оптическая разность хода Γ пропорциональна разности деформаций, одна из которых совпадает по направлению с касательной к контуру контакта деталей, а вторая нормальна ей:

$$\varepsilon_k - \varepsilon_n = \frac{\Gamma}{C_\varepsilon \cdot 2d} \cdot \cos 2\Theta; \quad (2)$$

$$\gamma_{kn} = \frac{\Gamma}{C_\varepsilon \cdot 2d} \cdot \sin 2\Theta; \quad (3)$$

где Θ — угол между направлением касательной в точке контакта и ближайшим к нему направлением главной деформации (которое определяется по значению параметра изоклины в данной точке);

γ_{kn} — деформация сдвига по плоскости контакта в данной точке.

Формулы (1), (2), (3) дают возможность определить деформированное состояние в точках контакта двух деталей.

В том случае, когда по плоскости контакта двух деталей отсутствуют касательные напряжения, формулы (1), (3) принимают вид:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_1 = \frac{\Gamma^*}{(1 + \mu_f)C_\varepsilon \cdot 2d}; \quad (1')$$

$$\varepsilon_k - \varepsilon_n = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \frac{\Gamma}{C_\varepsilon \cdot 2d}; \quad (3')$$

где ε_1 — наибольшая линейная деформация в точке контакта деталей;
 ε_2 — наименьшая линейная деформация в точке контакта деталей.

После отыскания деформаций в зоне контакта напряженное состояние определяется с использованием уравнений связи напряжений и деформаций плоской задачи.

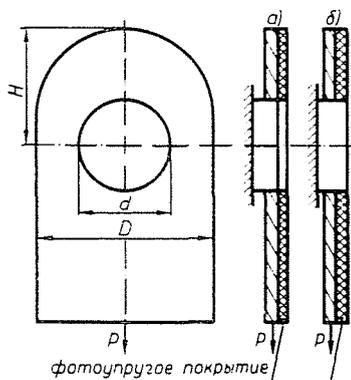


Рис. 2. Схема нагружения элементов шарнирного соединения

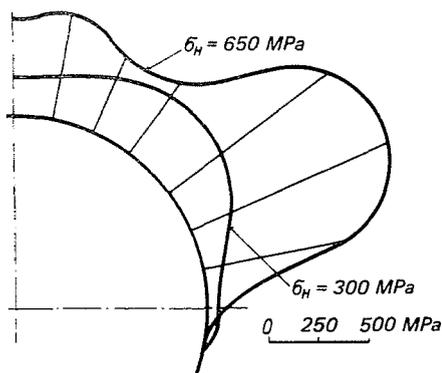


Рис. 3. Эпюры контактных давлений между проушиной и пальцем для шарнирного узла, показанного на рис. 2. Материал проушины — титановый сплав ВТ22, пальца — сталь 30ХГСНА.

Геометрические параметры проушины: $H/d = D/d = 0.5$.

σ_H — номинальное напряжение в опасном сечении проушины

В качестве примера применения описанного способа можно привести результаты исследования напряженно-деформированного состояния в зоне контакта проушины с пальцем для шарнирного соединения, показанного на рис. 2. При нагружении проушины согласно схеме рис. 2, а) контур фотоупругого покрытия, нанесенного на проушину оставался свободным, а при вторичном нагружении (рис. 2, б) входил в контакт с пальцем. На основании результатов просвечивания покрытия были найдены деформации и подсчитаны значения контактных давлений для

различных значений номинальных напряжений σ_H в опасном сечении проушины. Эпюры найденных контактных давлений показаны на рис. 3. Для сравнения на рис. 4 приведены некоторые наиболее употребительные в расчетных методах схемы контактных давлений между пальцем и проушиной. Сравнение показывает, что схемы рис. 4 не отражают фактических условий контакта в шарнирном узле.

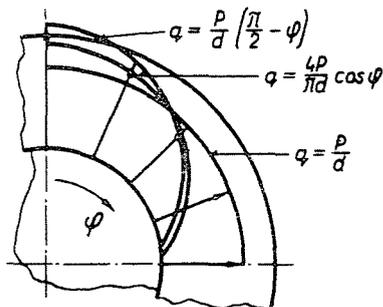


Рис. 4. Схемы приложения контактных нагрузок, применяемые в различных расчетных методиках

Резюме

Описывается способ определения напряженно-деформированного состояния в зоне контакта плоских деталей с помощью метода фотоупругих покрытий. Дано теоретическое обоснование способа и приведен пример его применения для определения контактных давлений между пальцем и проушиной в шарнирном узле.

Литература

1. И. П. Сухаров: Прочность шарнирных узлов машин. М., «Машиностроение», 1977, с. 168.
2. А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов: Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М., «Наука», 1973, с. 576.

Ю. А. Ерёмин } Куйбышевский политехнический институт,
 М. И. Тимофеев } Куйбышев