

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16104

(13) С1

(46) 2012.08.30

(51) МПК

G 06G 7/48 (2006.01)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ПЛОЩАДКИ КОНТАКТА ДВУХ УПРУГИХ ТЕЛ, НАГРУЖЕННЫХ ВНЕШНЕЙ СИЛОЙ, ДЛЯ РАСЧЕТА НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСШИХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР

(21) Номер заявки: а 20091239

(22) 2009.08.17

(43) 2011.04.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого" (ВУ)

(72) Авторы: Тариков Георгий Петрович (ВУ); Бородачев Николай Максимович (UA); Комраков Владимир Викторович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого" (ВУ)

(56) ВУ 2200 С1, 1998.

ВУ 3295 U, 2007.

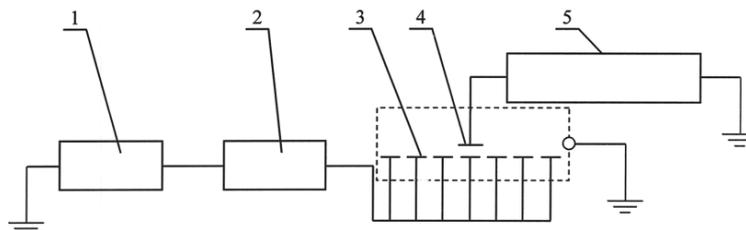
SU 1791829 A1, 1993.

US 5253189 A, 1993.

US 3866829 A, 1975.

(57)

Способ определения размеров площадки контакта двух упругих тел, нагруженных внешней силой, для расчета на контактную прочность элементов высших кинематических пар, заключающийся в том, что на токопроводящий элемент, являющийся аналогом площадки контакта двух упругих тел, нагруженных внешней силой, и выполненный в виде набора изолированных друг от друга токопроводящих пластин, подают переменное электрическое напряжение, моделирующее перемещения соответствующих участков площадки контакта, измеряют с помощью зонда величину созданного электрического поля, на основании полученного значения вычисляют значение полного поверхностного заряда токопроводящего элемента и рассчитывают величину нормальной силы, действующей на площадке контакта, отличающийся тем, что в качестве токопроводящего элемента используют набор изолированных друг от друга токопроводящих пластин, контуры которых геометрически подобны линиям пересечения поверхностей двух упругих тел при различных их сближениях; на каждую из токопроводящих пластин подают постоянное значение электрического напряжения, пропорциональное величине сближения соответствующих



ВУ 16104 С1 2012.08.30

участков площадки контакта поверхностей упругих тел; последовательно изменяют значение сближения до тех пор, пока величина рассчитанной нормальной силы, действующей на площадке контакта, станет равной внешней силе, сжимающей упругие тела; замерив геометрические размеры токопроводящего элемента и используя его геометрическое подобие площадке контакта двух упругих тел, определяют действительные размеры площадки контакта двух упругих тел.

Изобретение относится к области экспериментальных способов решения пространственных контактных задач, необходимых при расчете на контактную прочность элементов высших кинематических пар.

Известен способ, реализуемый в устройстве для моделирования пространственных контактных задач [1], при котором токопроводящий элемент представлен набором изолированных друг от друга токопроводящих пластин, расположенных в одной плоскости, на каждую из которых подают переменное электрическое напряжение, моделирующее линейное и угловое перемещение штампа, с помощью зонда измеряют величину созданного электрического поля, на основании полученных значений вычисляют плотность заряда в исследуемых точках токопроводящего элемента и, используя критерии подобия, определяют реактивное давление в соответствующих точках площадки контакта.

Вышеприведенный порядок действий позволяет решать контактные задачи при вдавливании абсолютно жесткого штампа с плоским основанием произвольной формы в плане в упругое полупространство. В этом случае основание штампа, форма и размеры которого известны, будет являться площадкой контакта. При контакте двух упругих тел в общем случае с изменением величины внешней нагрузки, действующей на них, меняется форма и размеры площадки контакта. Поэтому решить задачу о контакте двух упругих тел вышеуказанным способом невозможно.

Наиболее близким к заявляемому является способ решения пространственных контактных задач теории упругости [2], при котором токопроводящий элемент представлен набором изолированных друг от друга токопроводящих пластин в виде параллельных полос, расположенных нормально к плоскости приложения действующей на штамп внешней нагрузки, на каждую из которых подают переменное электрическое напряжение, моделирующее линейное и угловое перемещение соответствующих участков основания штампа, с помощью зонда измеряют величину созданного электрического поля, на основании полученных значений вычисляют плотность электрического заряда токопроводящего элемента и реактивное давление на площадке контакта.

Данный способ решения пространственных контактных задач теории упругости также не позволяет решать контактные задачи для двух упругих тел, так как предполагает, что форма и размеры площадки контакта известны.

Задачей предлагаемого способа является определение размеров площадки контакта двух упругих тел, что позволяет значительно расширить класс решаемых пространственных контактных задач.

В способе, заключающемся в том, что на токопроводящий элемент, являющийся аналогом площадки контакта двух упругих тел, нагруженных внешней силой, и выполненный в виде набора изолированных друг от друга токопроводящих пластин, подают переменное электрическое напряжение, моделирующее перемещения соответствующих участков площадки контакта, измеряют с помощью зонда величину созданного электрического поля, на основании полученного значения вычисляют значение полного поверхностного заряда токопроводящего элемента и рассчитывают величину нормальной силы, действующей на площадке контакта, согласно изобретению, в качестве токопроводящего элемента используют набор изолированных друг от друга токопроводящих пластин, кон-

туры которых геометрически подобны линиям пересечения поверхностей двух упругих тел при различных их сближениях; на каждую из токопроводящих пластин подают постоянное значение электрического напряжения, пропорциональное величине сближения соответствующих участков площадки контакта поверхностей упругих тел; последовательно изменяют значение сближения до тех пор, пока величина рассчитанной нормальной силы, действующей на площадке контакта, станет равной внешней силе, сжимающей упругие тела; измерив геометрические размеры токопроводящего элемента и используя его геометрическое подобие площадке контакта двух упругих тел, определяют действительные размеры площадки контакта двух упругих тел.

Задача о контакте двух упругих тел (без учета смятия микровыступов шероховатости) может быть сведена к следующему интегральному уравнению [3]:

$$\iint_{\Sigma} \frac{p(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}} = \frac{\delta - f_1(x, y) - f_2(x, y)}{\Theta_1 + \Theta_2}, \quad (1)$$

где $\Theta_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1}$, $\Theta_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2}$;

$p(\xi, \eta)$ - контактное давление;

ν_1, ν_2 - коэффициенты Пуассона первого и второго контактирующих тел;

E_1, E_2 - модули Юнга первого и второго контактирующих тел;

$f_1(x, y), f_2(x, y)$ - уравнения, описывающие поверхности контактирующих тел.

Равнодействующую сжимающих сил, действующих на каждое упругое тело, определим по формуле:

$$P = \iint_{\Sigma} p(x, y) dx dy. \quad (2)$$

Выражение для электростатического потенциала токопроводящей пластины, которая обладает электрическим зарядом Q и имеет форму Σ :

$$\iint_{\Sigma} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}} = \Psi(x, y), \quad (3)$$

где $\Psi(x, y) = \psi(x, y) 4\pi k_0 \epsilon$;

$q(\xi, \eta)$ - плотность электрического заряда на поверхности токопроводящей пластины;

$\psi(x, y)$ - электростатический потенциал;

k_0 - диэлектрическая постоянная;

ϵ - диэлектрический коэффициент среды.

Полный поверхностный заряд токопроводящей пластины:

$$Q = \iint_{\Sigma} q(x, y) dx dy. \quad (4)$$

При решении пространственной контактной задачи используется аналогия интегральных уравнений (1) и (2) контактной задачи и задачи электростатики (3) и (4), в соответствии с которой распределение давлений на площадке контакта $p(x, y)$ аналогично распределению электрических зарядов $q(x, y)$ на поверхности токопроводящего элемента соответствующей формы.

Для решения рассматриваемой пространственной контактной задачи используется переменное электрическое напряжение с частотой, обеспечивающей создание квазистационарного электрического поля токопроводящего элемента. Как известно [4], конфигурации квазистационарного и электростатического полей практически совпадают. Это позволяет моделировать одно поле посредством другого. Таким образом, задачу о распределении заряда на поверхности токопроводящего элемента можно решать с помощью квазистационарного электрического поля.

На токопроводящий элемент - аналог площадки контакта - необходимо подать переменный электрический потенциал $\Psi(x, y)$ в соответствии с правой частью уравнения (1).

Так как задать переменный электрический потенциал на сплошной токопроводящей пластине невозможно, то токопроводящий элемент выполняем в виде набора изолированных друг от друга токопроводящих пластин, являющихся аналогами соответствующих участков площадки контакта. На каждую из пластин токопроводящего элемента подаем постоянное значение электрического потенциала Ψ_i в соответствии с правой частью уравнения (1).

Рассмотрим условия, при которых правая часть уравнения (1) принимает какое-либо постоянное значение, то есть

$$\frac{\delta - f_1(x, y) - f_2(x, y)}{\Theta_1 + \Theta_2} = \text{const}.$$

Учитывая, что в знаменателе выражение $\Theta_1 + \Theta_2$ всегда принимает постоянное значение, можем записать:

$$\delta - f_1(x, y) - f_2(x, y) = \text{const}.$$

При $\delta - f_1(x, y) - f_2(x, y) = 0$ получаем линию пересечения поверхностей упругих тел при их сближении на величину δ . Отсюда следует, что во всех точках этой линии пересечения правая часть уравнения (1) принимает постоянные значения. Если построить большое количество линий пересечений, полученных при различных сближениях поверхностей упругих тел δ_i , то между двумя соседними линиями пересечения правая часть уравнения (1) будет принимать приблизительно одинаковые значения. Поэтому границами токопроводящих пластин токопроводящего элемента можно считать линии пересечения поверхностей упругих тел, построенные в геометрическом масштабе.

Известно, что контуром площадки контакта можно считать линию пересечения контактирующих поверхностей двух упругих тел, которым сообщено заданное сближение по общей нормали в первоначальной точке контакта. Однако при таком способе определения площадки контакта ее размеры будут превышать реальные [5].

При увеличении сближения δ двух упругих тел увеличиваются размеры площадки контакта, соответственно и переменное электрическое напряжение подают на большее количество токопроводящих пластин, при этом значение полного поверхностного заряда токопроводящего элемента увеличивается, и, следовательно, увеличивается значение рассчитанной нормальной силы. В случае уменьшения сближения двух упругих тел вышеперечисленные величины уменьшаются.

Последовательное увеличение или уменьшение сближения двух упругих тел проводят до тех пор, пока значение рассчитанной нормальной силы, действующей на площадке контакта двух упругих тел, не окажется равной внешней силе, сжимающей упругие тела. Затем определяют размеры токопроводящего элемента и, используя геометрическое подобие аналога площадке контакта, находят размеры последней.

На фигуре приведена блок-схема электро моделирующего устройства.

Способ осуществляется с помощью устройства для моделирования пространственных контактных задач, которое содержит источник питания 1, выход которого подключен к распределительному блоку 2. Каждый выход распределительного блока 2 подключен к отдельной пластине токопроводящего элемента 3, зонд 4 установлен над токопроводящим элементом 3 и соединен с блоком индикации 5.

Для оценки погрешности предлагаемого способа была рассмотрена задача об определении площадки контакта двух упругих тел в виде шаров различных радиусов. В этом случае линии пересечения поверхностей двух шаров - окружности, радиусы которых зависят от радиусов и величин сближения шаров. Эти линии пересечения являются контурами токопроводящих пластин. Токопроводящий элемент 3 - аналог площадки контакта двух упругих тел, представляет собой набор изолированных друг от друга, концентрично расположенных токопроводящих пластин в виде колец.

Задавали сближение двух шаров δ . Переменное электрическое напряжение подавали от источника питания 1 на распределительный блок 2. Распределительный блок 2 позволяет регулировать величину переменного электрического напряжения, подаваемого от его выходов на каждую токопроводящую пластину токопроводящего элемента 3. Значения напряжений, подаваемых на токопроводящие пластины, пропорциональны величинам перемещений соответствующих участков площадки контакта поверхностей упругих тел. С помощью зонда 4 и блока индикации 5 измеряли распределение потенциала электрического поля токопроводящего элемента. На основании полученных значений рассчитывали плотность заряда $q(x, y)$ в различных точках поверхности токопроводящего элемента. Значение полного поверхностного заряда токопроводящего элемента рассчитывали по формуле (4).

Существующая аналогия между интегральными уравнениями пространственной контактной задачи и уравнениями задачи электростатики позволяет определить значение нормальной силы, действующей на площадке контакта двух шаров $P_{пк}$ по формуле:

$$P_{пк} = \gamma_m \cdot Q, \quad (5)$$

где γ_m - критерий подобия, связывающий явления электрической и механической природы.

Сравнивали значение нормальной силы, действующей на площадке контакта $P_{пк}$ и значение внешней силы, сжимающей два шара $P_{вн}$. При $P_{пк} < P_{вн}$ увеличивали сближение двух шаров δ , а при $P_{пк} > P_{вн}$ уменьшали величину сближения шаров δ . Путем последовательных приближений добивались равенства значений нормальной силы $P_{пк}$ и внешней силы $P_{вн}$.

Замерив радиус наибольшей токопроводящей пластины, на которую подается потенциал, и используя геометрическое подобие площадки контакта и ее аналога, определяли радиус площадки контакта, соответствующий внешней силе $P_{вн}$, сжимающей шары.

Сравнение результатов, полученных аналитически и предлагаемым способом, показано в табл. 1.

Также решена задача определения площадки контакта двух цилиндров разных радиусов со скрещивающимися осями. В этом случае линии пересечения поверхностей двух цилиндров - эллипсы. Размеры полуосей эллипсов зависят от радиусов и величины сближения цилиндров, эксцентриситет эллипсов постоянный, так как зависит от соотношения радиусов цилиндров. Линии пересечения являются контурами токопроводящих пластин. Таким образом, токопроводящий элемент 3 в этом случае представляет собой набор изолированных друг от друга, концентрично расположенных токопроводящих пластин в виде эллипсов. Существует аналитическое решение рассматриваемой задачи. Численные результаты решения рассматриваемой задачи, полученные аналитическим методом и с помощью предлагаемого способа, приведены в табл. 2.

Из табл. 1 и 2 следует, что погрешность экспериментального метода не превышает 5%. Предлагаемый способ позволяет определять геометрические параметры площадок контакта произвольной формы с точностью достаточной для инженерных приложений.

Определение площадки контакта двух упругих тел с помощью электро моделирующего устройства позволяет исследовать значительное количество задач машиностроения и может применяться при расчете подшипников, конических, цилиндрических и червячных передач.

Таблица 1

Радиус первого шара, мм	Радиус второго шара, мм	Сила взаимодействия шаров, Н	Радиус площадки контакта, мм		Погрешность, %
			экспериментальные значения	аналитические значения	
50	50	100	0,2613	0,2574	1,5
50	50	200	0,3306	0,3244	1,9
50	100	100	0,2871	0,2834	1,3
50	100	200	0,3599	0,3570	0,8
50	25	100	0,2280	0,2249	1,4
50	25	200	0,2868	0,2834	1,2

Радиус первого цилиндра, мм	Радиус второго цилиндра, мм	Сила взаимодействия цилиндров, Н	Размеры площадки контакта					
			большая полуось эллипса а, мм			меньшая полуось эллипса b, мм		
			Экспериментальные значения	Аналитические значения	Погрешность, %	Экспериментальные значения	Аналитические значения	Погрешность, %
50	50	100	0,3319	0,3244	2,3	0,3319	0,3244	2,3
50	50	200	0,4161	0,4087	1,8	0,4161	0,4087	1,8
50	110	100	0,4226	0,4087	3,4	0,3367	0,3244	3,8
50	100	200	0,5298	0,5149	2,9	0,4197	0,4087	2,7
50	25	100	0,3367	0,3244	3,8	0,2664	0,2574	3,5
50	25	200	0,4193	0,4087	2,6	0,3335	0,3244	2,8

Источники информации:

1. Тариков Г.П., Бородачев Н.М. Устройство для моделирования пространственных контактных задач: А.с. СССР 570905 // Бюл. изобр. - 1977. - № 32.
2. Тариков Г.П., Россол А.И., Кенько В.М. Способ решения пространственных контактных задач теории упругости: Патент РБ 2200 // Офиц. бюл. - 1998. - № 32. - С. 144.
3. Горячева И.Г., Добычин М.Н. Контактные задачи в трибологии. - М.: Машиностроение, 1988. - С. 71.
4. Власов В.А. Макроскопическая электродинамика. - М.: Гостехтеориздат, 1955. - С. 270.
5. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. - С. 191