

Н. Б. СКРИПЧЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ КОНТАКТЕ ТЕЛ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ БЛИЗКОЙ ФОРМЫ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Для современного машиностроения характерным является широкое применение машин, в которых передача требуемых сложных видов движения и значительных рабочих усилий осуществляется посредством контакта сложнопрофильных деталей. В силу этого между контактирующими телами возникают значительные контактные давления, во многих случаях определяющие несущую способность машиностроительных конструкций. В работе поставлена и решена задача о влиянии изменения геометрических размеров контактирующих тел на распределение контактных давлений и размеры контактной площадки в сопряжении тел конечных размеров. Осуществлена параметризация задачи относительно геометрических размеров контактирующих тел. Получены значения максимальных контактных давлений и длины полуосей контактного пятна.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, напряженно-деформированное состояние, модель Герца, метод конечных элементов, геометрический синтез, сложнопрофильное тело, кинематически генерируемая поверхность, контактное давление, контактные площадки, контакт тел близкой формы.

Введение. В конструкциях машин, оборудования и оснастки для осуществления связанных движений и усилий сопряжения традиционно применялись различные виды подвижных соединений. Однако тенденции усложнения кинематических схем, а также интенсификация условий нагружения приводят к неприменимости как известных конструктивных решений, так и методов их расчета. Для современного машиностроения характерным является широкое применение машин, в которых передача требуемых сложных видов движения и значительных рабочих усилий осуществляется посредством контакта сложнопрофильных деталей. Это, например, передача технологических усилий в штампах различного типа, закрепление и базирование заготовок при механообработке на разнообразных металлорежущих станках, передача рабочих нагрузок между зубчатыми колесами в редукторах, усилия сопряжения поршней в гидрообъемных передачах, усилия опирания механизма наклона дуговых сталеплавильных печей и т. п. В силу этого между контактирующими телами возникают значительные контактные давления, во многих случаях определяющие несущую способность машиностроительных конструкций.

Кроме того, характер распределения контактных давлений обуславливает величины и картины распределения перемещений точек взаимодействующих деталей как гладких или шероховатых упругих тел. Это, в свою очередь, влияет на жесткость исследуемого узла, что влечет за собой, например, обеспечение или необеспечение точности выполнения технологической операции. Соответственно, при проектировании таких элементов машин важным является определение напряженно-деформированного состояния в сопряжении упругих деформируемых тел с

учетом их контактного взаимодействия [1].

Общий подход к решению задачи. Ставится задача анализа контактного взаимодействия тел конечных размеров по поверхностям близкой формы при варьировании их геометрических размеров в плане.

Одним из направлений решения поставленной задачи является подход, предложенный в работе [2]. Основными источниками проблем при исследовании контактного взаимодействия тел конечных размеров с близкими по форме поверхностями являются следующие факторы: на начальной стадии проектирования необходим умеренно точный, но очень оперативный инструмент определения напряженно-деформированного состояния; на этапе оптимизации конструкции необходим точный метод определения контактных нагрузок в локальной области контакта и оперативный инструмент определения напряженно-деформированного состояния (НДС) во всем объеме.

Предлагается новый подход, состоящий в том, что для решения задач анализа контактного взаимодействия привлекается общая локальная или вариационная постановка. Для дискретизации получаемых задач используются методы конечных элементов и граничных элементов, реализуемые как в универсальных комплексах типа ANSYS, так и в оригинальных авторских программах [2]. Далее для определенного класса тел исследуется путем численного анализа влияние тел или иных факторов. Это дает возможность, во-первых, строить аппроксимационные зависимости для определения контактных зон и контактных давлений, а, во-вторых, получать базовую информацию для оценки адекватности и точности результатов, получаемых с применением других моделей и методов.

В данной статье будет описано решение задач анализа распределения контактных давлений при контакте тел конечных размеров при варьировании их геометрических размеров в плане.

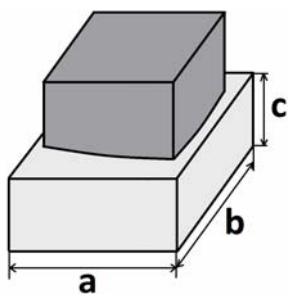


Рис. 1 – Расчетная схема модельной задачи

Следует заметить, что частично основные элементы математических моделей (Герц, МКЭ, МГЭ) для данных объектов описаны в [2]. В связи с этим в данной статье основное внимание будет уделено постановке, решению и анализу численных результатов, полученных при решении тестовых задач.

Тестовая задача. Решается задача о контакте плоского тела с частью параболоида. Расчетная схема модельной задачи представлена на рисунке 1. Размеры тел: $a = 0.015$ м, $b = 0.015$ м, $c = 0.01$ м. Радиусы кривизны: $R_1 = 50$ м и $R_2 = 5\,000$ м. Величина прижимающего усилия: $F = 400$ Н. Материал: $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0.3$. Тела – гладкие. Напряженно-деформированное состояние симметрично относительно вертикальных плоскостей. В связи с этим рассматривается 1/4 конструкции.

Варьируемым параметром является величина размера c , которая изменялась в диапазоне $1,5 \cdot 10^{-2}$ - $0,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Поскольку, как указывалось выше, среди существующих методов анализа нельзя выделить однозначного лидера (все применяемые методы имеют свои рамки применения, характеризуются различной степенью точности и требовательностью к затрачиваемым ресурсам), для решения задачи контактного взаимодействия предлагается использовать как аналитический метод (модель Герца [3]) так и численный (метод конечных элементов (МКЭ) [4,5]).

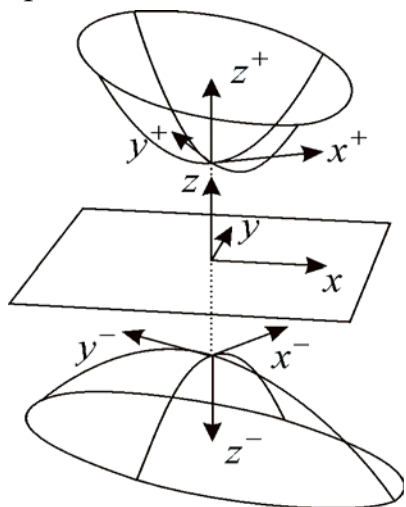


Рис. 2 – Контакт двух параболоидов

Модель Герца (см. рис. 2) дает возможность определить распределение контактных давлений для случая контакта двух параболоидов по эллипсу с полуосями a, b и их максимальные значения, а также длины полуосей контактных пятен:

$$\sigma_{\max} = \frac{3P}{2\pi ab} \quad (1)$$

Здесь P – величина прижимающего усилия; a, b – большая и меньшая длина полуоси контактного

пятна соответственно:

$$a = 1.109 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot R_1}{E}}, \quad b = 1.109 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot R_2}{E}}, \quad (2)$$

где R_1, R_2 – радиусы кривизны параболоида в двух главных направлениях.

Численное решение по МКЭ проводилось в программном комплексе ANSYS Workbench. С использованием построенной конечно-элементной модели были получены зависимости максимальных контактных давлений P (рис. 3) и максимальных эквивалентных напряжений (рис. 4) от изменения величины стороны c .

Во время проведенного исследования были получены зависимости значений длин контактного пятна a' и b' от изменения величины стороны a (рис. 5). Здесь a' – значение длины контактного пятна, направленное вдоль варьируемого размера a ; b' – вдоль размера b соответственно (см. рис. 1, 2).

Аналитическим методом Герца по соотношениям (1,2) и численным методом конечных элементов были получены формы распределения контактных давлений при изменении величины размера c (см. рис. 6). На представленных зависимостях видно, что если не учитывать численную составляющую форм, то распределения контактных давлений, полученных аналитическим и численным методом, имеют одинаковый характер поведения функции распределения контактных давлений. Например, для модели с величиной размера $c = 0,6 \cdot 10^{-2}$ м отличие составило около 8%.

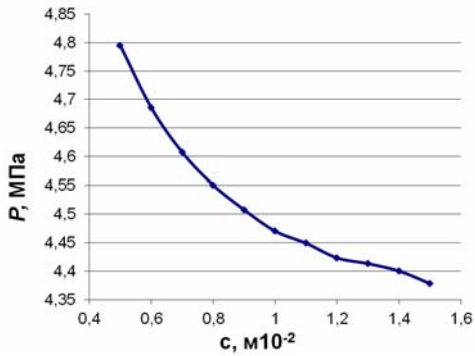


Рис. 3 – Зависимости максимальных контактных давлений P от изменения величины стороны c

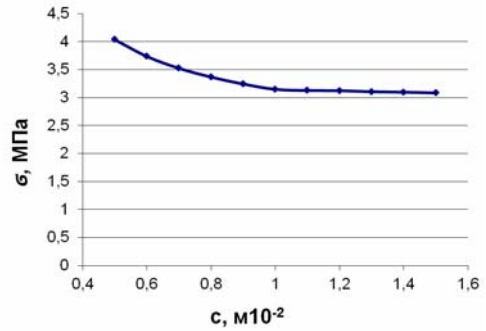
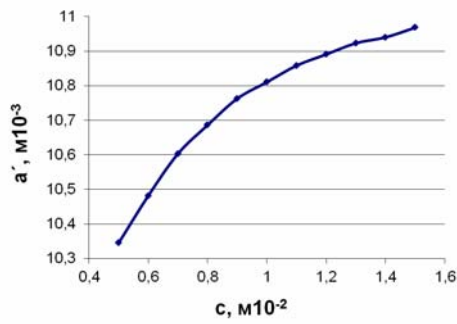
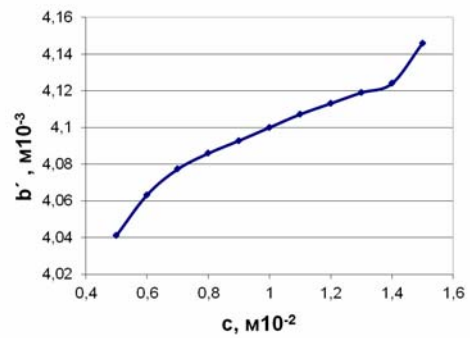


Рис. 4 – Зависимости максимальных эквивалентных напряжений σ от изменения величины стороны c

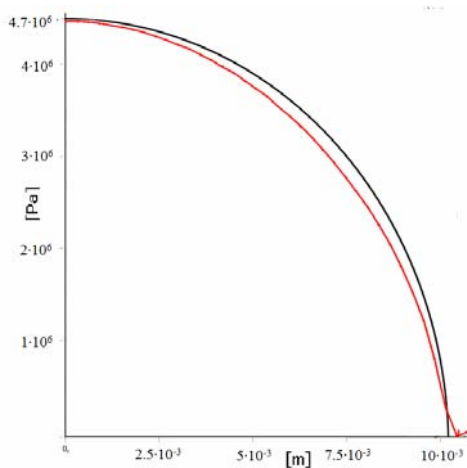


a

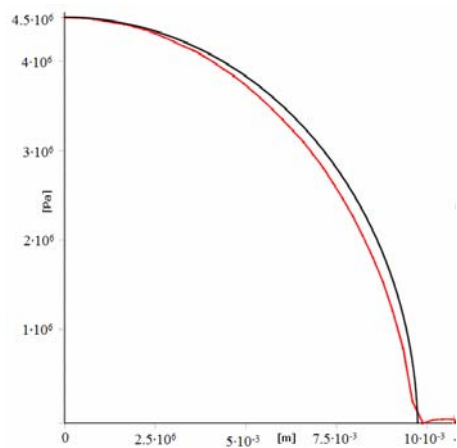


б

Рис. 5 – Зависимости длин сторон контактного пятна от изменения величины размера c : a – пятна a' ; $б$ – пятна b' .



a



б

Рис. 6 – Формы распределения контактных давлений от изменения величины размера c : $a - c = 0,6 \cdot 10^{-2}$ м; $б - c = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Выводы. В статье описаны результаты исследования распределения контактных давлений для случая контакта тел с близкими радиусами кривизны при изменении размера тел, находящихся в контакте.

На модельных задачах проиллюстрировано, что уменьшение размера тел в плане слабо влияет на формы распределения контактных давлений.

Однако следует учитывать, что разница между численными значениями максимальных контактных давлений, полученных с помощью модели Герца и МКЭ, составляет около 20%. Главным образом, это обусловлено ограничениями для применимости модели Герца (соизмеримость площади пятна контакта с размерами поверхностей контакта, близость формы контактирующих тел и ограниченность их высоты).

Список литературы: 1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 509 с. 2. Ткачук Н. Н. Анализ контактного взаимодействия сложнопрофильных элементов машиностроительных конструкций с кинематически сопряженными поверхностями: дисс. кандидата техн. наук: 05.02.09 / Ткачук Николай Николаевич. – Харьков, 2010 – 203 с. 3. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper. Math.. – 1881. – Vol. 4. Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 pp. 5. Стренг Э. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир, 1977. – 349 с.

Bibliography (transliterated): 1. Dzhonson K. Mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija. – M.: Mir, 1989. 2. Tkachuk N. N. Analiz kontaktnogo vzaimodejstvija slozhnoprofil'nyh jelementov mashinostroitel'nyh konstrukcij s kinematicheski soprjazhennymi poverhnostjami: diss. kandidata tehn. nauk: 05.02.09. Tkachuk Nikolaj Nikolaevich. – Har'kov, 2010 – 203 s. 3. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper. Math.. – 1881.. 4. Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. 5. Streng Je. Teorija metoda konechnyh jelementov. – Moscow: Mir, 1977.

Поступила (received) 01.04.2014