

УДК 539.37:004.94

О. А. СУХАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

АНАЛИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ СФЕРИЧЕСКОЙ КОЛОДКИ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПЛИТЫ

С помощью компьютерного моделирования в среде ANSYS/LS-DYNA выполнены расчеты контактного взаимодействия полушара с упругопластически деформируемой плитой. Проведен анализ влияния скоростей сближения тел и их относительного перемещения параллельно плоскости контакта, а также радиуса полушара на пластическое деформирование плиты.

Ключевые слова: пластическое деформирование, компьютерное моделирование, динамическое контактное взаимодействие

В настоящее время все большее распространение получают программы имитационного компьютерного моделирования, которые позволяют осуществить вычислительный эксперимент по определению параметров рассматриваемой системы с целью ее оптимизации. Примером такой системы является дисковый тормоз, основная область применения которого – транспортные средства. Разработке динамических моделей дисковых тормозов посвящен целый ряд статей, где, как правило, дается оценка напряженно-деформированного состояния тормозного диска автомобиля (сплошного или вентилируемого) при силовом и температурном нагружении [1–5]. Чаще всего расчеты и эксперименты, связанные с анализом прочности элементов тормозной системы, выполняются для случая торможения при постоянной скорости скольжения и постоянной угловой скорости вращения колеса автомобиля, что соответствует неизменной силе нажатия на диск и температуре [6]. Следует отметить, что большинство коммерческих программ конечноэлементного анализа позволяют выполнять решение задач о деформировании тел и распространении тепла только по отдельности [7, 8]. Программный комплекс ANSYS разработан для решения широкого спектра задач механики деформируемого твердого тела при анализе их прочности и теплового поведения. При анализе переходных динамических процессов, таких как столкновения, удары, с точки зрения сходимости лучшие результаты показывает модуль высоконелинейных расчетов LS-DYNA.

Целью представленной работы является разработка модели контактного взаимодействия элементов тормозной системы, позволяющей оценить пластические деформации на начальной фазе соприкосновения деталей, в среде ANSYS/LS-DYNA.

После включения тормоза колодка сближается с тормозным диском и начинает перемещение по его поверхности. При этом размер зоны контакта

оказывается значительно меньшим радиуса траектории колодки. Поэтому при анализе начальной фазы контактного взаимодействия для упрощения расчетной модели и сокращения времени расчетов рассмотрим поступательное перемещение тормозной колодки, имеющей форму полушара радиусом 15 мм, относительно упругопластически деформируемой плиты, имеющей форму параллелепипеда с размерами 260×30×20 мм. Геометрическая модель рассматриваемой системы приведена на рисунке 1, а.

Материал элементов модели – сталь с модулем упругости 200 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,3. Для оценки упругопластических деформаций деталей задавался предел текучести 250 МПа и касательный модуль деформации 960 МПа. При создании конечноэлементной сетки для твердых тел использовались восьмиузловой объемный элемент SOLID164 и четырехузловой элемент SHELL163, моделирующий тонкую оболочку. Наличие оболочек связано с тем, что программа ANSYS/LS-DYNA позволяет задавать перемещения только жестких поверхностей, на которых предварительно должна быть построена конечноэлементная сетка. Оболочки были созданы на вертикальной плоскости разреза полушара и обратной поверхности параллелепипеда. Использовалась контактная пара типа «поверхность – поверхность». Значение коэффициента трения принималось равным 0,2. Общее количество элементов модели (рисунок 1, б) составило около 50000.

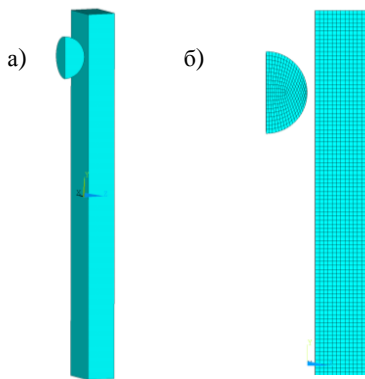


Рисунок 1 – Геометрическая (а) и конечноэлементная (б) модели системы

При расчетах полагалось, что полушар сначала перемещался по нормали к поверхности контакта, а затем, углубившись на величину 0,15 мм, продолжал движение параллельно поверхности контакта с постоянной скоростью. Поэтому в качестве граничных условий задавались законы перемещения полушара и параллелепипеда вдоль оси z (навстречу друг другу), а также смещения колодки по оси y .

В результате расчетов были определены параметры напряженно-деформированного состояния тел системы, соответствующие разным моментам времени (рисунок 2). Также выполнен анализ изменения во времени относительных пластических деформаций для разных точек поверхности параллелепипеда при различных скоростях сближения контактирующих тел и ряда скоростей относительного перемещения тел в касательной плоскости. В таблице 1 приведена информация о расположении узлов, для которых на рисунках 3 и 4 представлены результаты расчетов.

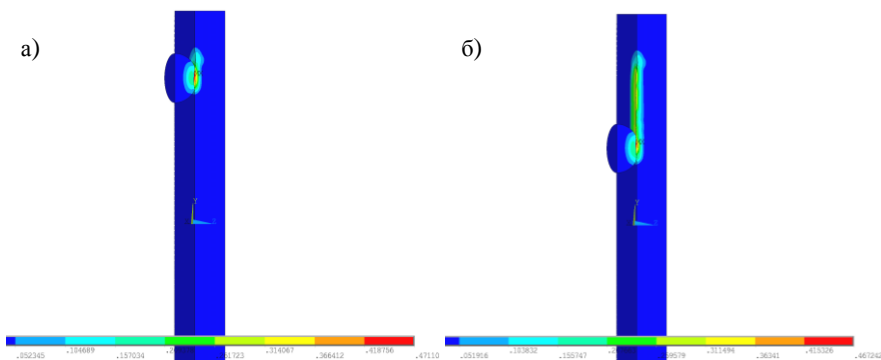


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных по Мизесу относительных деформаций в моменты времени: $a - t = 0,01$ с; $b - t = 0,03$ с

Таблица 1 – Соответствие номеров линий на рисунках 3, 4 и координат точек модели, для которых анализировались деформации

Номер линии	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер узла модели	4003	4007	4012	4017	4022	4027	4032	4037	4042
Координата y , мм	105	100	92	85	77	70	63	55	47

Проведенные вычисления показали, что динамическое воздействие, связанное с внедрением полушара в плиту, приводит к некоторому увеличению пластических деформаций в начальной области контакта. При дальнейшем вертикальном смещении полушара деформации изменяются незначительно. Такое изменение может быть связано с погрешностями численного решения.

Также по результатам расчетов получены зависимости максимальных пластических деформаций в материале от времени сближения тел (рисунок 5) и скорости движения полушара по диску (рисунок 6).

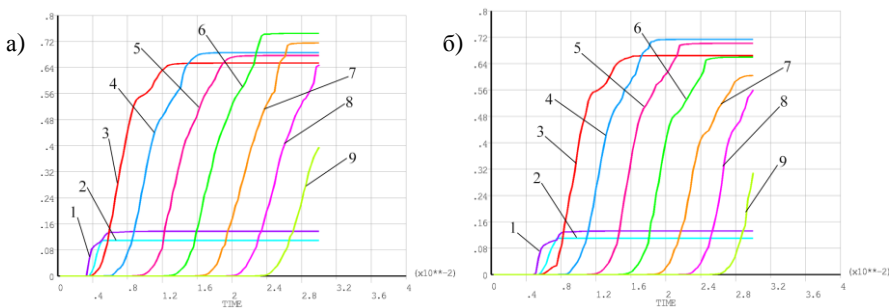


Рисунок 3 – Эквивалентные относительные пластические деформации в точках плиты при начальных скоростях сближения тел: $a - 0,09$ м/с; $b - 0,06$ м/с

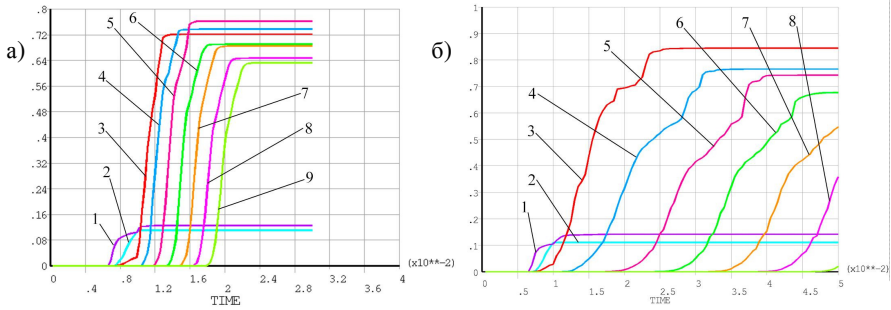


Рисунок 4 – Эквивалентные относительные пластические деформации в узлах плиты при скоростях относительного перемещения вдоль поверхности: а – 5 м/с; б – 1 м/с

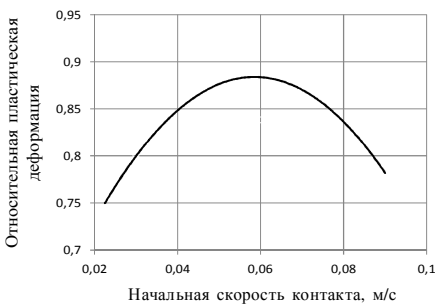


Рисунок 5 – Зависимость максимальной пластической деформации плиты от скорости соприкосновения тел (скорость движения вдоль поверхности – 2,2 м/с)

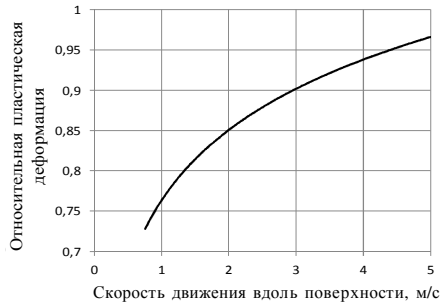


Рисунок 6 – График зависимости пластической деформации плиты от скорости движения полушара по плите (скорость сближения – 45 мм/с)

Представленные графики показывают, что максимальные пластические деформации в плите на 15–20 % превышают деформации в точках ее поверхности. Такой результат связан с известным фактом, что максимальные эквивалентные напряжения наблюдаются под поверхностью контакта на некоторой глубине [9].

Из рисунка 5 видно, что существует некоторое значение начальной скорости соприкосновения тел, при которой пластические деформации максимальны. В то же время увеличение скорости относительного перемещения тел в касательной плоскости ведет к росту максимальных пластических деформаций.

Выполненные расчеты для разных размеров полушара показали, что увеличение диаметра с 3 до 5 мм ведет к уменьшению максимальной относительной пластической деформации с 0,89 до 0,39. Такое уменьшение закономерно и связано с тем, что при увеличении диаметра увеличивается площадь области контакта.

Полученные результаты показывают, что при начальном нажатии колодок дискового тормоза возможно возникновение пластических деформаций в диске, которые в дальнейшем могут стать причиной значительного шума, а в дальнейшем – повреждения элементов тормоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Abhang, S. R.** Design and Analysis of Disc Brake / S. R. Abhang, D. P. Bhaskar // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2014. – Vol. 8, No. 4. – P. 165–167.

2 **Manjunath, T. V.** Structural and Thermal Analysis of Rotor Disc of Disc Brake / T. V. Manjunath, P. M. Suresh // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2, No. 12. – P. 7741–7749.

3 **Sowjanya, K.** Structural Analysis of Disc Brake Rotor / K. Sowjanya, S. Suresh // International Journal of Computer Trends and Technology. – 2013. – Vol. 4, No. 8. – P. 2295–2298.

4 **Belhocine, A.** Thermal analysis of a solid brake disc / A. Belhocine, M. Bouchetara // Applied Thermal Engineering. – 2012. – Vol. 32. – P. 59–67.

5 Finite Element Analysis of Disc Brake using ANSYS Workbench Software / Sh. P. Gautam [et al.] // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Vol. 6, No. 4. – P. 1954–1959.

6 **Udayakumar, R.** Computer aided design and analysis of disc brake rotors for passenger cars / R. Udayakumar, R. Ponnusamy // Proceedings of the 2013 International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT). – Sousse, 2013. – 5 p.

7 **Sheng, G.** Vehicle Noise, Vibrations and Sound Quality / G. Sheng. – Warrendale : SAE International Publishing, 2012. – 506 p.

8 **Gupta, I.** Thermal Analysis of Rotor Disc of Disc Brake of BAJA SAE 2013 Car through Finite Element Analysis / I. Gupta, G. Saxena, V. Modi // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Special Issue: International Conference on Emerging Trends in Mechanical and Electrical Engineering, 13–14 March, 2014. – P. 324–329.

9 **Шимановский, А. О.** Анализ точности и сходимости решения контактных задач с применением программного комплекса ANSYS / А. О. Шимановский, О. А. Суханова // Актуальные вопросы машиноведения. – 2016. – Вып. 5. – С. 180–183.

O. A. SUKHANOVA

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

ANALYSIS OF PLASTIC DEFORMATIONS AT SPHERICAL BODY SLIDING ALONG THE PLATE SURFACE

Using computer simulation in the ANSYS / LS-DYNA software, there were carried out the computations of the contact interaction of a hemisphere with an elastoplastic deformable plate. There were analyzed the influence of the bodies convergence velocities and their relative displacement parallel to the plane of contact, as well as the hemisphere radius on the plastic deformation of the plate.

Получено 11.10.2018