

01;05

## **Изучение особенностей формирования контакта шероховатых поверхностей на основе метода частиц**

© В.Е. Рубцов, С.Г. Псахье, А.В. Колубаев

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Поступило в Редакцию 28 августа 1997 г.

На основе метода частиц предлагается модель шероховатой поверхности твердого тела. Несмотря на то, что в работе размер частиц выбран произвольно, эволюция фактической площади касания и изменение напряжения в пятнах контактов достаточно хорошо согласуются с представлениями, которые вытекают из экспериментальных исследований. Эксперименты показывают, что при сближении двух поверхностей давление на контактах значительно выше номинального, это приводит к пластической деформации поверхностных слоев, которая оказывается много больше объемной деформации. В данной модели наглядно показывается, от чего это зависит и как формируется напряженное состояние поверхностного слоя. Модель позволяет рассматривать взаимодействие поверхностей не только в стационарном случае, но и при их относительном перемещении.

При моделировании процессов трения и изнашивания, а также при решении задач тепло- и электропроводности контакта шероховатых поверхностей возникает необходимость определения реальной площади контакта, распределения напряжений и структурных изменений в приповерхностных слоях. Кроме того, для материалов, которые могут испытывать фазовые превращения, необходимо учитывать изменения фазового состава поверхностных слоев. Реально оценить контактное взаимодействие с учетом данных физико-механических и химических свойств шероховатых поверхностей в рамках численных методов механики сплошной среды представляется весьма затруднительным. Одним из подходов к решению такого рода задач может стать использование физических представлений, развитых в методе частиц.

В рамках метода частиц [1,2] моделируемая система представляется набором элементов, обладающих заданными свойствами и взаимодействующих по определенным законам. Реальная структура внутри самого

элемента, как правило, явно не учитывается, а вводится в модель через законы взаимодействия и свойства элементов. Таким образом, поведение конденсированной среды определяется свойствами составляющих ее элементов, характером их взаимодействия, а также начальными и граничными условиями.

В настоящей работе процесс формирования контакта двух шероховатых поверхностей при нормальном сближении моделировался на основе метода частиц в двумерной постановке. Проведено исследование процесса формирования контакта двух поверхностей с разной степенью шероховатости.

В предложенной модели материал представлялся набором элементов одного сорта и размера. Для описания взаимодействия между элементами внутри объема материала при сжатии применялся потенциал Ленарда–Джонса. При растяжении полагалось, что материал после достижения предела текучести деформируется упругопластически. Взаимодействие элементов разных поверхностей полагалось упругим до достижения предела текучести и упругопластическим за пределом текучести. Площадь контакта выбиралась равной площади сечения, образованного геометрическим пересечением профилей микронеровностей при их относительном сближении.

Микрогеометрия поверхности учитывалась следующим образом:

каждому элементу поверхности контактирующего слоя ставилась в соответствие неровность в виде сферического сегмента (радиус сегмента полагался равным радиусу скругления вершин неровностей для данной шероховатости);

шаг микронеровностей задавался размером элементов;

волнистость задавалась изменением координат элементов поверхностного слоя (считалось, что волна представляет собой синусоиду и характеризуется периодом и высотой);

шероховатость задавалась изменением высот неровностей (координат соответствующих элементов в поверхностном слое) относительно волны (при этом считалось, что высоты распределены по нормальному закону в определенном интервале  $\Delta h$  и центр распределения совпадает со средним значением высоты микронеровностей для данной шероховатости).

Предложенная модель предоставляет следующие возможности:

- 1) в явном виде задавать микрорельеф поверхности.
- 2) задавать любой закон деформирования неровности под нагрузкой.

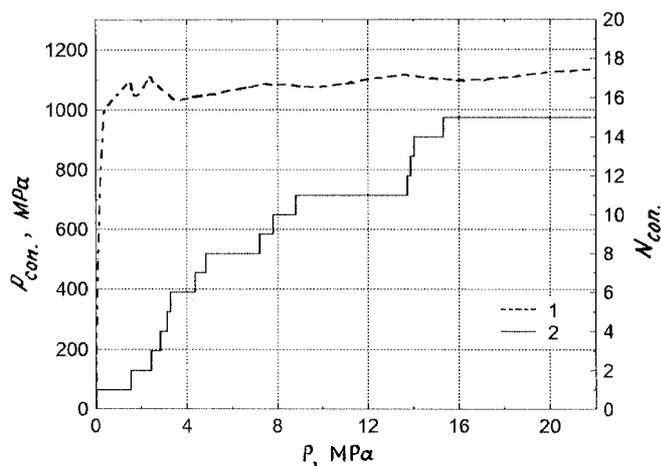


Рис. 1.

3) определять число контактирующих неровностей, деформацию и площадь каждого контакта.

4) учитывать изменение распределения вершин неровностей по высоте, которое происходит за счет деформирования всей поверхности.

Кроме того, метод частиц позволяет изменять свойства отдельных элементов в процессе моделирования и исследовать влияние возможных фазовых превращений.

Моделируемая система состояла из образца и контртела. Образец был закреплен на жестком основании, верхний слой контртела двигался с постоянной скоростью 10 см/с. Боковые стороны образца и контртела полагались свободными. Моделируемый образец содержал в поверхностном слое 100 элементов, контртело — 72, размер которых был 40 и 55  $\mu\text{m}$  соответственно. Выбранные параметры микрогеометрии соответствовали шлифованным поверхностям [3,4].

Параметры материала образца и контртела примерно соответствовали характеристикам конструкционной стали средней прочности: плотность — 7800  $\text{kg/m}^3$ , модуль упругости 200 ГПа, модуль упругости при упругопластическом деформировании — 7 ГПа, максимальная упругая деформация — 0.5 %.

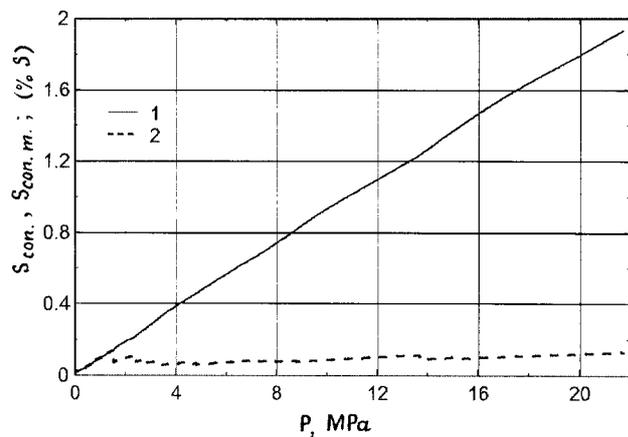


Рис. 2.

При сближении поверхностей определялось число контактов, рассчитывались деформации и давления на пятнах касания, фактическая площадь касания и номинальное давление, под которым понималось отношение силы сопротивления сближению ко всей площади образца (номинальной площади) [5].

На рис. 1 приведены зависимости среднего давления на пятнах контакта  $P_{con}$  (кривая 1) и числа контактирующих неровностей  $N_{con}$  (кривая 2) от номинального давления  $P$ . На начальной стадии сближения, когда сформировалось только одно пятно контакта, хорошо виден переход от упругого к упругопластическому деформированию. Давление на единичном контакте быстро растет, и после перехода к упругопластическому деформированию рост давления замедляется. Дальнейшее сближение приводит к увеличению числа микроконтактов, а также к переходу все большей части контактирующих неровностей от упругой к упругопластической деформации.

При вступлении в контакт каждой новой неровности происходит увеличение фактической площади касания и, как следствие, при небольшом числе взаимодействующих неровностей наблюдаются пульсации среднего контактного давления. С увеличением числа контактов эти пульсации сглаживаются и среднее давление на микроконтакте остается

приблизительно постоянным. Реальная площадь контакта взаимодействующих поверхностей  $S_{\text{con}}$  линейно возрастает с увеличением нагрузки (рис. 2, кривая 1), в то время как средняя площадь касания единичной неровности  $S_{\text{con-т}}$  остается практически постоянной (рис. 2, кривая 2). Таким образом, рост реальной площади контакта происходит главным образом за счет увеличения числа взаимодействующих неровностей.

Все представленные выше результаты хорошо согласуются с современными представлениями о механике контактирования шероховатых поверхностей [3–5], несмотря на то что они получены на основе достаточно простой реализации метода частиц, учитывающей только центральное взаимодействие элементов. В дальнейшем предполагается развитие модели для более адекватного описания процесса пластической деформации и взаимодействия между поверхностями, что позволит моделировать трение скольжения с учетом адгезии и шероховатости поверхностей.

## Список литературы

- [1] Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
- [2] Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.
- [3] Крайгельский И.В., Добычин М.Н., Камбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
- [4] Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1970. 227 с.
- [5] Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.Я. Буяновский и др. / Под ред. А.В. Чичинадзе: Учебник для технических вузов. М.: Центр "Наука и техника", 1995. 778 с.