

621.833

## МОДЕЛЬ КОНТАКТА ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С УЧЕТОМ МАСЛОЕМКОСТИ В ЗОНЕ КОНТАКТА

Инж. С.А.ПАШОВКИН

*Приведена программа моделирования контакта шероховатых поверхностей по заданной высоте микрорельефа, показана модель контактного взаимодействия поверхностей полученных шлифованием и лезвийной обработкой, с определением маслоемкости в зоне контакта.*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является обеспечение необходимых эксплуатационных свойств соединений деталей машин и инструментов. В [1,2] изучалось влияние направлений следов обработки на коэффициент трения и показано, что большое влияние на процесс трения оказывают форма неровностей и их расположение относительно направления трения. Однако недостаточно исследованными остаются контактные характеристики, которые в значительной мере обеспечивают эксплуатационные свойства соединений. Это сближение шероховатых поверхностей относительно плотность контакта и объем зазоров в стыке. Они находятся в определенной взаимозависимости и определяются параметрами микрогеометрии и величиной сжимающих напряжений. При этом проведение экспериментов с целью их определения достаточно трудоемко и не дает весьма ясного представления о величине сближения, плотности контакта и объеме зазора в стыке. Поэтому при изучении контактных характеристик соединений актуально использование метода математического моделирования.

При численном моделировании шероховатость поверхности в [3] аппроксимируется матрицей  $n \times n$  элементов, значения которых представляют собой величину высоты в рассматриваемой точке относительно самой низкой, высота которой принимается равной нулю. В [3] выведена формула и для определения маслоемкости стыка шероховатых поверхностей:

$$VM = k_x \times k_y \times k_z \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((R_{1\max} - R_{1[i,j]}) + (R_{2\max} - R_{2[i,j]}) - \Delta)$$

Под маслоемкостью стыка понимается объем стыкового зазора контактирующих поверхностей. Причем, значение маслоемкости (VM) в формуле вычисляется без учета

направлений микронеровностей. Распределение параметров шероховатости по площади поверхности с учетом анизотропии направлений неровностей на основании [4] можно представить уравнением вида:

$$R_{a\alpha} = R_{a\min} + \Delta R_a \sin \alpha,$$

где  $R_{a\alpha}$  - значение параметра  $R_a$  микрорельефа, имеющего направленность под углом  $\alpha$  к направлению измерения;

$\Delta R_a = R_{a\max} - R_{a\min}$  - разность между максимальным и минимальным значениями параметров шероховатости.

Тогда формула для определения маслосъемности стыка с учетом анизотропии направлений неровностей одной из поверхностей примет вид:

$$VM = k_x \times k_y \times k_z \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((R_{a_{1\alpha}} - R_{1[i,j]}) + (R_{2\max} - R_{2[i,j]}) - \Delta),$$

где  $k_x, k_y, k_z$  - масштабные коэффициенты модели,  $R_{a_{1\alpha}}$  - значение параметра микрорельефа образца имеющего направленность под углом  $\alpha$  к оси инструмента,  $R_{2\max}$  - максимальная высота неровностей контртела,  $R_{[i,j]}$  - высоты микронеровностей в точках  $[i, j]$  матрицы,  $\Delta$  - величина сближения, отсчитываемая от исходной точки  $R_{1\max} + R_{2\max}$  в которой ни одна из вершин микронеровностей не контактирует с сопрягаемой поверхностью.

Разработанная модель позволяет представить взаимодействие двух поверхностей, одна из которых получена шлифованием с учетом анизотропии направлений неровностей, а другая лезвийной обработкой.

Среда разработки программы - Borland Delphi 6. При написании программы было создано несколько вариантов поверхностей по заданным средним значениям  $R_a$  шероховатости. Причем шлифованные поверхности создавались с учетом различных направлений следов обработки. Для каждого варианта поверхности заранее было сгенерировано около 10000 последовательностей и сохранено в файлах save 0.8, save 0.8 45, save 0.8 90, save 1.6, save 1.6 45, save 1.6 90, save 3.2, save 3.2 45, save 3.2 90, save 6.3, save 12.5, save 25. Каждая последовательность имеет определенное среднее значение. Так было создано 9 вариантов поверхностей для поверхностей полученных шлифованием со значением  $R_a$  0.8мкм, 1.6мкм, 3.2мкм в комбинации с тремя вариантами направ-

лений следов обработки ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) и 3 варианта для поверхностей полученных лезвийной обработкой (6.3мкм, 12.5мкм, 25мкм). В зависимости от выбранного среднего значения шероховатости поверхности и угла направления микронеровностей строится и отображается на экранной форме визуализация шлифованной поверхности. Визуализация поверхности полученной лезвийной обработкой строится по формуле  $y = -\cos x$ . Экранная форма полученной программы имеет вид представленный на рис. 1.

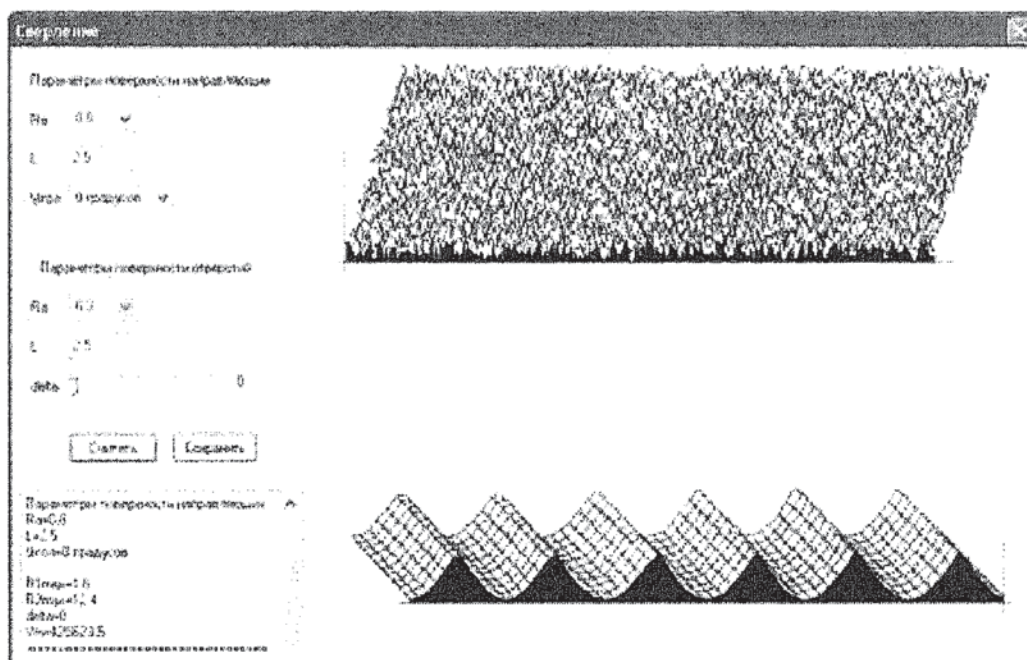


Рис. 1. Экранная форма программы моделирования

В экранной форме присутствуют элементы, с помощью которых можно выбрать: величину шероховатости поверхностей образца и контртела, величину угла наклона микронеровностей, величину переменной delta. В программу внесены функции для облегчения снятия данных. При работе программы последовательность просчитанных величин маслоёмкости заносится в текстовый файл `./save.txt`. А визуализация шероховатостей сохраняется в файл `./save.bmp`.

На рис. 2 представлен алгоритм, программы моделирования взаимодействия поверхности образцов с поверхностью контртела. Данная программа составлялась для исследования взаимодействия поверхности обрабатываемого отверстия с поверхностью направляющих элементов сверла глубокого сверления, имеющих определенные значения параметра Ra шероховатости поверхности, и действительна при следующих граничных условиях модели: - параметры шероховатости поверхности образцов выбирались из ряда  $Ra = 3,2\text{мкм}$ ,  $1,6\text{мкм}$ ,  $0,8\text{мкм}$  при угле наклона микронеровностей по отношению к

контртелу  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ; - параметры шероховатости поверхности контртела выбирались из ряда  $Ra = 25\text{мкм}, 12,5\text{мкм}, 6,3\text{мкм}$ .

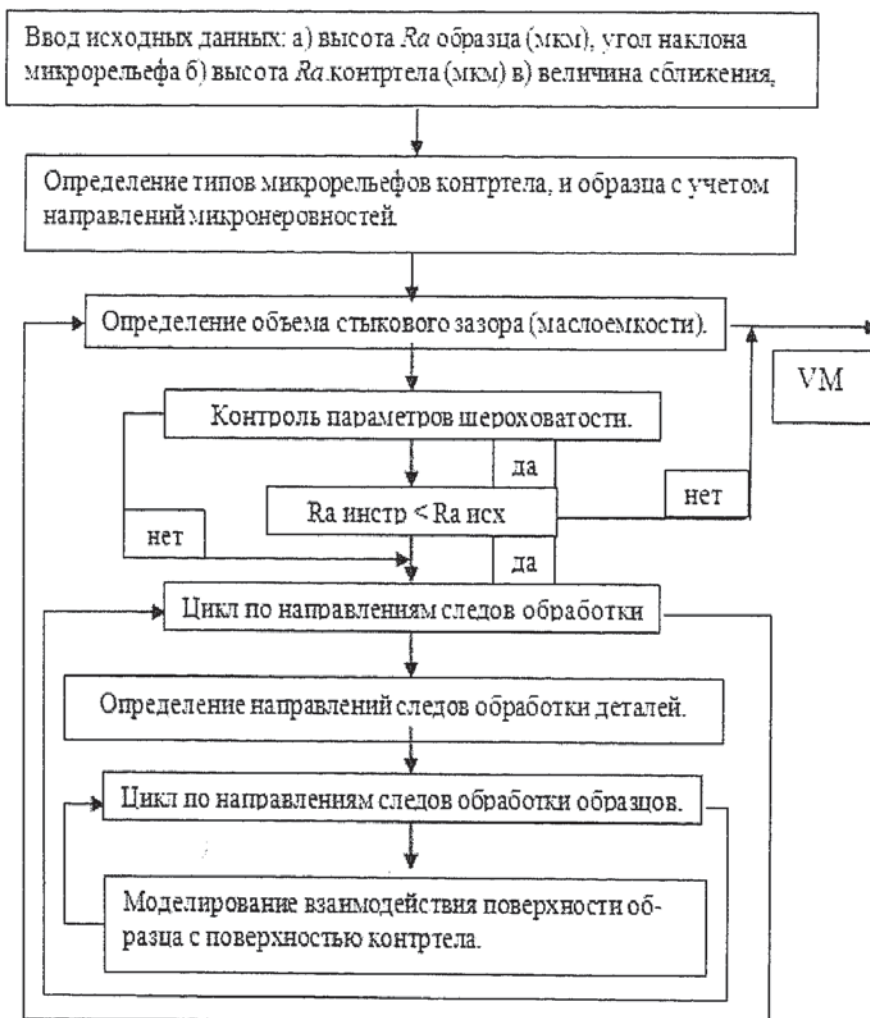
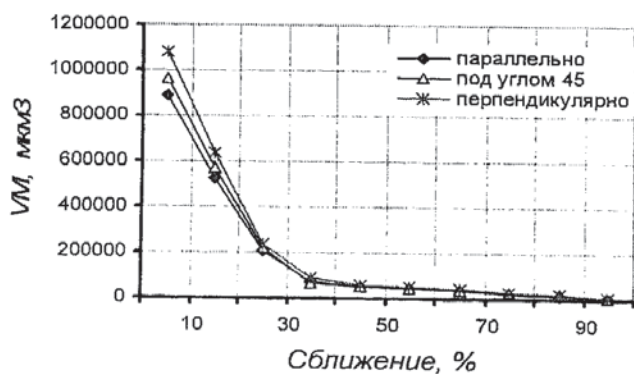
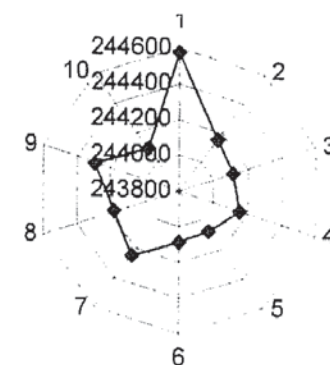


Рис. 2. Алгоритм, программы моделирования

Численное моделирование контакта двух шероховатых поверхностей позволяет представить маслоемкость стыка при контакте поверхностей с различным направлением микронеровностей (рис.3 )



а)



б)

Рис. 3. Маслоемкость стыка шероховатых поверхностей: а) образец  $Ra\ 3,2\text{мкм}$ , контртело  $Ra\ 12,5\text{мкм}$ , б) образец  $Ra\ 3,2\text{мкм}$ , направление – перпендикулярно контртело  $Ra\ 12,5\text{мкм}$ , сближение 20 %.

Анализ графиков изменения маслосъемности в зависимости от угла наклона микронеровностей и сближения показывает, что, поверхности при перпендикулярном и под углом  $45^\circ$  в виде взаимодействия микрорельефов имеют наибольшую маслосъемность стыка. В то время как параллельное взаимодействие микрорельефов характеризуется наименьшим объемом стыкового зазора. Причем, анализ вычислений маслосъемности показывает, что отклонения параллельных вычислений модели не превышают 5% (рис. 3).

Степень соответствия разработанной модели реальности проверяли раздавливанием капли масла на поверхности контртела образцом, имеющим различный вид микрорельефа (рис. 4).

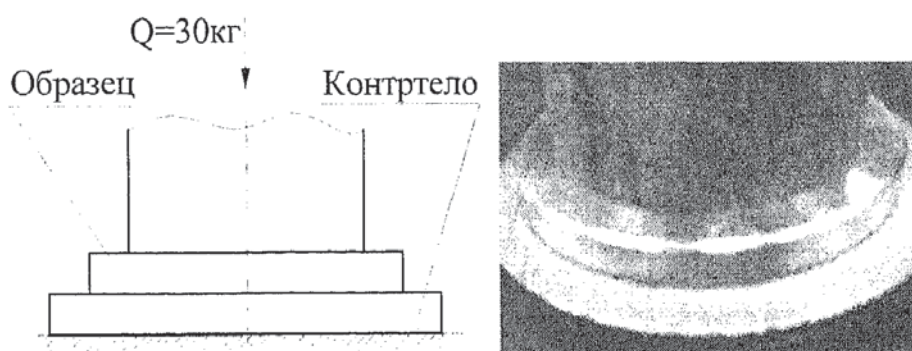


Рис. 4. Раздавливание капли масла

Обозначив площадь слоя масла через  $F$ , и приняв за:  $F_{o1}, F_{o2}, F_{o3}$  — площади слоя масла на поверхности образца, соответственно, при параллельном, наклонном под  $45^\circ$  и перпендикулярном микрорельефе,  $F_{k1}, F_{k2}, F_{k3}$  — площади слоя масла на поверхности контртела, соответственно, при параллельном, наклонном под  $45^\circ$ , и перпендикулярном микрорельефе, например для образца с высотой микрорельефа  $Ra\ 3,2\text{мкм}$  и контртела  $Ra\ 25\text{мкм}$  получим:  $F_{o1} : F_{o2} : F_{o3} = 252 : 243 : 237,8 = 1,06 : 1,04 : 1$

$$F_{k1} : F_{k2} : F_{k3} = 157 : 142,8 : 138 = 1,14 : 1,1 : 1$$

Учитывая, что объем масла, нанесенного на поверхность контртела, во всех сериях опытов был постоянным, можно сделать вывод, что толщина слоя смазки в зоне контакта различна, причем толщина тем больше, чем меньше площадь раздавленной капли (рис. 5).

Из результатов опытов следует, что при контакте поверхностей с различным типом направлений неровностей в область контакта поступает различное количество смазки. Причем при перпендикулярном и под углом  $45^\circ$  взаимодействии смазки в зоне контакта больше чем при параллельном взаимодействии микрорельефов.

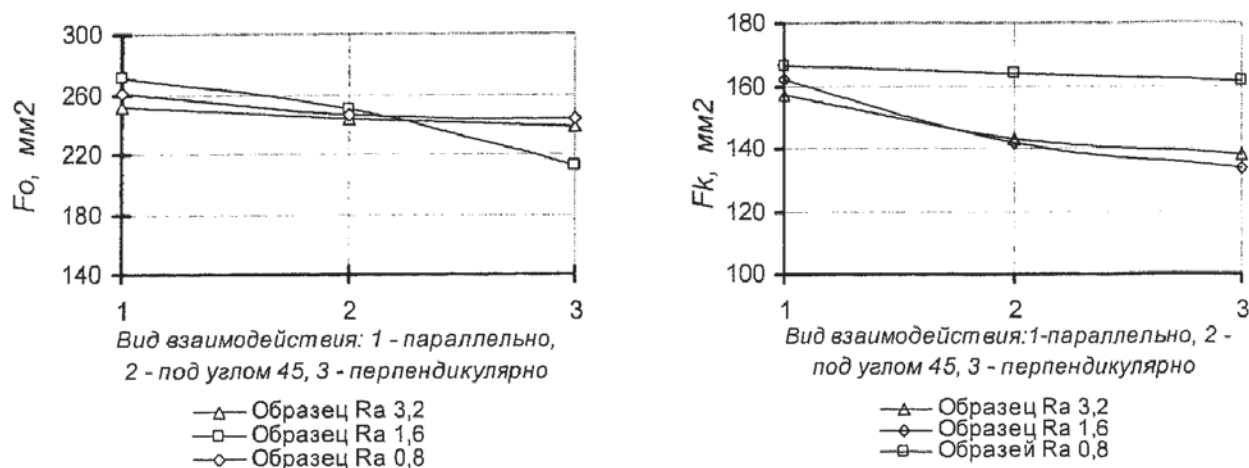


Рис. 5. Площадь раздавленной капли на поверхности образцов – слева и поверхности контртела (Ra 25 мкм) – справа, при их взаимодействии

Таким образом, можно считать подтвержденными как результаты вычислений объема стыкового зазора взаимодействующих поверхностей полученных шлифованием и лезвийной обработкой, так и теоретические положения компьютерно-ориентировочной модели позволяющей прогнозировать маслосъемность стыка контактирующих поверхностей для различных вариантов взаимодействий. Учитывая, что для поверхностей работающих в условиях интенсивного трения, толщина слоя смазки определяет условия трения и, следовательно, износостойкость и безотказность работы, из результатов опытов можно сделать вывод о целесообразности формирования на поверхности деталей наклонного или перпендикулярного, по отношению к контактирующему телу, типа направлений микронеровностей поверхности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнейдер Ю.Г. Кравцов А.Н. Влияние микрорельефа поверхностей на силы трения. / Вестник машиностроения. 1968г. № 9. стр. 36 - 37.
2. Зюзин А.А. Козлов А.М. Износостойкость поверхностей с различными направлениями неровностей. / Известия вузов. Машиностроение. 1985г. № 7. стр. 31.
3. Козлов А.М. Повышение качества и точности цилиндрических поверхностей при шлифовании. Монография. – Липецк. ЛГТУ. 2004г. – 181с.
4. Козлов А.М. Контроль шероховатости поверхности с неровностями различных направлений. / Известия вузов. Машиностроение. 1983г. № 1. стр. 154.