

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

© 2011 Е.О. Трофимов¹, Л.Д. Сиротенко², А.М. Ханов²

¹ ОАО «Пермский завод «Машиностроитель»

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Поступила в редакцию 11.11.2011

Предложенный метод расчета позволяет определить напряженное состояние в зоне абразивной обработки резинового теплозащитного покрытия в зависимости от заданных режимов обработки и может использоваться для разработки практических рекомендаций по оптимизации технологических параметров.

Ключевые слова: температура, абразивная обработка, деформация упругих тел, граничные условия, взаимодействие упругих тел, перемещения, напряжения, метод конечных элементов

В различных отраслях промышленности значительный интерес представляют звукопоглощающие, демпфирующие, теплозащитные свойства каучуковых покрытий, способных выдерживать многократные знакопеременные деформации, интенсивные вибрационные нагрузки и резкие колебания температур. В тоже время различные ингредиенты, вводимые в состав резиновой смеси перед вулканизацией, приводят к повышению сопротивляемости материала абразивной обработке в процессе формирования поверхности, следствием чего является недопустимый нагрев инструмента в области контакта. Известно, что температуру в зоне абразивной обработки можно снизить уменьшением усилия прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности. В тоже время чрезмерное понижение силового воздействия в области контакта приводит к низкому качеству обработки материала. В этих условиях представляет интерес определения взаимосвязи усилия прижатия абразивного инструмента с контактными напряжениями в зоне абразивной обработки. Взаимодействие отдельного зерна абразивного материала и поверхностного слоя покрытия представлено в виде расчетной схемы на рис. 1.

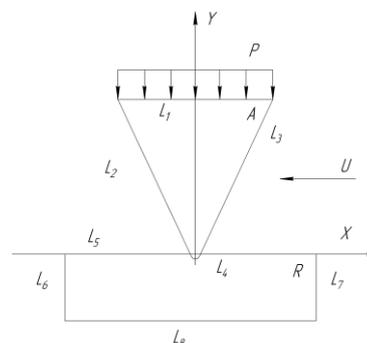


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия зерна абразивного материала и поверхностного слоя

Поверхностный слой покрытия задан прямоугольником, абразивное зерно – треугольником со скругленной вершиной. К верхней кромке зерна приложена прижимающая распределяющая нагрузка $p = 1,2$ МПа. По оси X заданы горизонтальное перемещение зерна, равное $0,1$ мм расстояния. Перемещение основания резинового покрытия по осям X и Y исключены.

Задача о напряженном состоянии в области контактного взаимодействия решается в плоской постановке в предположении, что оба взаимодействующих тела являются упругими, при этом между упругими телами в процессе контактного взаимодействия при горизонтальном перемещении зерна возникают силы трения, определяемые законом равновесия.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Деформация упругих тел может быть выражена через относительные удлинения ϵ_x и

Трофимов Евгений Олегович, заместитель начальника отдела технического контроля. E-mail: eo.trofimov@mail.ru

Сиротенко Людмила Дмитриевна, доктор технических наук, профессор. E-mail: sirotenko@pstu.ru

Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор. E-mail: unpl_mtf@pstu.ru

ε_y по направлению x , y и через относительный сдвиг γ_{xy} . Величины ε_x , ε_y , γ_{xy} определяются в свою очередь, через перемещения u и v по направлению осей x и y соответственно:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Дополнительное соотношение между ε_x , ε_y и γ_{xy} представляет условие совместности:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (3)$$

Компоненты деформации связаны с компонентами напряжений следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_x \\ \sigma_y &= \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_y \\ \tau_{xy} &= 2\mu\gamma_{xy} \end{aligned} \quad (4)$$

где $\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y$ – относительное объемное расширение, а λ и μ – коэффициенты Лямэ, выражающиеся через модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν следующим образом:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (5)$$

При постановке контактной задачи напряжения, деформации, перемещения и физическим константам ν , E присваивается индекс «1» для области A , и индекс «2» для области R . Граничные условия для напряжений на участках взаимодействующих упругих тел, лежащих вне зоны контакта, имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_v^1 &= -p(x, y) \in L_1 \\ \sigma_v^1 &= 0 \quad (x, y) \in L_1, L_2, \bar{L}_4 \\ \tau_{sv}^1 &= 0 \quad (x, y) \in L_1, L_2, L_3, \bar{L}_4 \\ \sigma_v^2 &= 0, \quad \tau_{sv}^2 = 0 \quad (x, y) \in \bar{L}_5, L_6, L_7 \end{aligned} \quad (6)$$

где σ_v и τ_{sv} – нормальные и касательные напряжения на свободных поверхностях, \bar{L}_4 и \bar{L}_5 – участки соответствующих границ, лежащие вне зоны контакта.

Граничные условия для перемещений были представлены следующим образом:

$$\begin{aligned} u^1 &= \text{const} \quad (x, y) \in L_1, L_3 \\ u^2 &= 0, \quad v^2 = 0 \quad (x, y) \in L_8 \end{aligned} \quad (7)$$

где u , v – составляющие вектора перемещений в направлениях x и y соответственно.

При определении граничных условий для напряжений на контактной границе предполагается, что в области контакта происходит скольжение взаимодействующих упругих тел, и соотношение между нормальным и тангенциальными напряжениями подчиняется закону Кулона. Кроме того, нормальное давление, действующее на первое тело вдоль площадки контакта, совпадает с нормальным давлением, которое действует на второе тело. Точно также равны по абсолютной величине и тангенциальные усилия. Обозначив через l линию контакта, представим граничные условия для напряжений на ней следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_v^1 &= \sigma_v^2 < 0 \\ |\tau_{lv}^1| &= |\tau_{lv}^2| \quad (x, y) \in l \\ |\tau_{lv}| + \rho |\sigma_v| &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Определение граничных условий для перемещений на контактной поверхности линии l производилось на основе расчетной схемы, представленной на рис. 2.

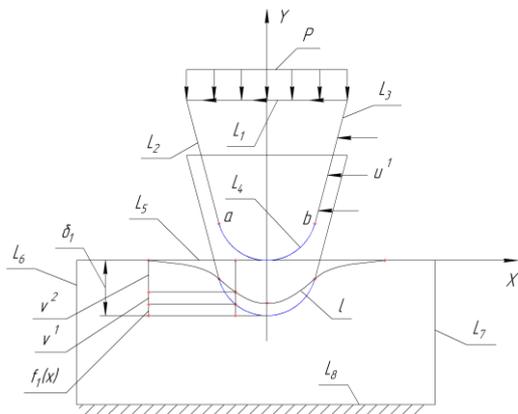


Рис. 2. Схема контактного взаимодействия для определения связи между перемещениями на контактной поверхности

Допустим, что уравнения поверхностей, ограничивающих первое и второе тела до деформации, имеют вид:

$$f_1(x) = -\left| (r^2 - x^2)^{1/2} \right| + r; \quad f_2(x) = 0 \quad (9)$$

Начало координат поместим в точку первоначального касания тел. Под действием прижимного усилия p первое тело (зерно) получит вертикальное перемещение δ_1 , при этом перемещение второго тела в силу условия закрепления основания равно нулю. Кроме того, произвольная точка предполагаемой поверхности контакта (линия l), расположенная на поверхности первого тела, и вступающая с ней в контакт точка, которая находится на поверхности второго тела, в

результате происшедшей упругой деформации получают соответственно перемещения v^1 и v^2 в направлении u . Так как координаты обеих точек, принадлежащих первому и второму телам, после вступления в контакт становятся одинаковыми, то это позволяет найти следующее условие, связывающее перемещения обоих тел:

$$v^1 + v^2 = \delta_1 - f_1(x) \quad (10)$$

Аналитические методы [2-4] позволяют эффективно решать сравнительно узкий круг контактных задач. При сложной конфигурации взаимодействующих тел и сложных краевых условиях проблема аналитического решения дифференциальных уравнений становится трудно-преодолимой. В этом случае широкое применение находят численные методы. В данной работе контактная задача взаимодействия абразивного зерна с резиновым покрытием решалась методом конечных элементов с помощью программно-вычислительного комплекса ANSYS. В качестве физических констант при решении задачи использовались следующие характеристики: для абразивного инструмента – $E_1=35$ ГПа, $\nu_1=0,3$; для резинового покрытия – $E_2=50$ МПа, $\nu_2=0,46$. Размер зерна абразивного круга составлял 0,5-0,63 мм, разрушающее напряжение резинового покрытия было принято равным 4 МПа. На рис. 3 показано распределение первых главных напряжений в поверхностном слое покрытия, контактирующего с абразивным инструментом. Контуром сверху справа показано первоначальное положение абразивного круга. Слева показано его положение после поджатия прижимной силой и перемещения влево. На данном рисунке показано, что существует область, где главные напряжения, соответствующие напряжениям растяжения, достигают значений, превышающих предел прочности материала при растяжении,

составляющих 4 МПа, что свидетельствует о начале обработки покрытия.

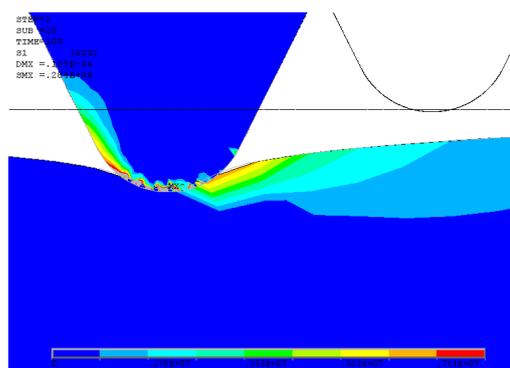


Рис. 3. Распределение первых главных напряжений в зоне контакта при абразивной обработке

Выводы: разработанный метод расчета позволяет определить напряженное состояние в зоне абразивной обработки резинового покрытия в зависимости от усилия прижатия абразивного инструмента. Он может быть использован для разработки практических рекомендаций по оптимизации технологических параметров обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Галин, Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. 304 с.
2. Айзикович, С.М. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / С.М. Айзикович, В.М. Александров. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 240 с.
3. Максимчук, А.В. Контактные задачи для слоистых элементов конструкции. – Киев: Наука думка, 1988. 280 с.
4. Александров, В.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками / В.М. Александров, С.М. Мхитарян. – М.: Наука, 1983. 488 с.

STRESS DISTRIBUTION IN THE FIELD OF CONTACT AT ABRASIVE TOOL AND MACHINED MATERIAL

© 2011 E.O. Trofimov¹, L.D. Sirotenko², A.M. Khanov²

¹ JSC «Perm Plant «Mashinostroitel»

² Perm National Research Polytechnical University

The offered method of calculation allows to define a tension in zone of abrasive machining of rubber heat-shielding covering depending on the given modes of machining and can be used for the development of practical recommendations about optimization of technological parameters.

Key words: *temperature, abrasive machining, deformation of elastic bodies, boundary conditions, interrelation of elastic bodies, relocation, pressure, finite-element method*

Evgeniy Trofimov, Deputy Chief of the Technical Control Department. E-mail: eo.trofimov@mail.ru

Lyudmila Sirotenko, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: sirotenko@pstu.ru

Almaz Khanov, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: unpl_mtf@pstu.ru