

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗОНЕ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗИНОВЫХ ПОКРЫТИЙ

© 2011 Л.Д. Сиротенко¹, А.М. Ханов¹, Е.О. Трофимов², Л.П. Шингель¹¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет²ОАО «Пермский завод «Машиностроитель»

Поступила в редакцию 11.11.2011

Предложенный метод расчета позволяет определить температуру в зоне абразивной обработки резинового теплозащитного покрытия и может использоваться для разработки практических рекомендаций по оптимизации технологических параметров.

Ключевые слова: абразивная обработка, температура, теплопроводность, зона контакта, теплообмен

Среди полимерных материалов, применяемых в качестве теплозащитных покрытий, резиновые смеси на основе каучука занимают особое место благодаря присущей им высокой эластичности и возможности формирования требуемых физико-механических свойств за счет добавления различных ингредиентов. Одним из рациональных способов достижения точности геометрических параметров и качества поверхности резиновых покрытий является абразивная обработка после каландрования резиновой смеси и ее вулканизации. В процессе абразивной обработки почти вся механическая энергия, затрачиваемая на деформацию, разрушение и трение, переходит в тепловую [1, 2], вызывая нагрев на границе зерна и покрытия до температуры, превышающей значения, допустимые для абразивного материала.

Цель работы: исследование процесса теплообразования в зоне контакта абразивного зерна и резинового покрытия, предполагающее определение направления и интенсивности тепловых потоков, градиентов температур и характеристик температурного поля в контактной области.

Распределение температуры в зоне абразивной обработки определялось на основе расчетной схемы, представленной на рис. 1, где стрелками показаны направления тепловых потоков, сопровождающих процессы трения при абразивной обработке. Область А, представляющая собой абразивное зерно, ограничена прямыми линиями $L_2, L_3, L_{10}, L_{11}, L_{12}$, при

этом линии L_2 и L_3 соединены частью окружности L_4 с радиусом, равным радиусу скругления режущей кромки на абразивном зерне. Область В представляет собой фрагмент резинового покрытия, находящийся в области контакта с абразивным зерном.

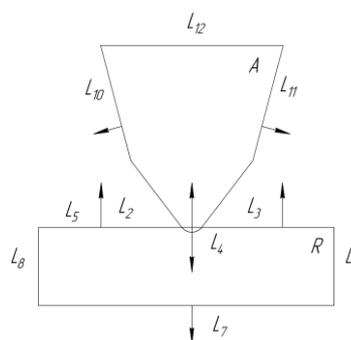


Рис. 1. Расчетная схема для определения распределения температуры в зоне абразивной обработки

Предполагается, что в процессе вращательного движения абразивного круга при механической обработке покрытия в зоне контакта происходит циклическое возникновение тепловых потоков, продолжительность действия которого определяется временем контакта зерна с резиновым покрытием t_r , после чего зерно выходит из зоны контакта и находится вне зоны воздействия тепловых потоков до момента окончания i -го цикла $t_{ци}$ перед очередным контактом зерна и покрытия. Уравнение нестационарной теплопроводности для абразивного зерна и резинового покрытия имеют вид:

$$K_1 \left[\frac{\partial^2 T_1(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1(x, y, t)}{\partial y^2} \right] = c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial t}; \quad (1)$$

$$t > 0; (x, y) \in A;$$

$$K_1 \left[\frac{\partial^2 T_2(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2(x, y, t)}{\partial y^2} \right] = c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial t}; \quad (2)$$

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

Трофимов Евгений Олегович, заместитель начальника ОТК. E-mail: eo.trofimov@mail.ru

Шингель Леонид Петрович, доцент кафедры «Конструирование машин и сопротивления материалов»

$$t > 0; (x, y) \in R,$$

где T_1, T_2 – температура (здесь и далее индекс «1» означает принадлежность к абразивному зерну, индекс «2» к резиновому покрытию), c_1, c_2 – теплоемкость, $c_1=930$ Дж/(кг·К), $c_2=1900$ Дж/(кг·К); ρ_1, ρ_2 – плотность, $\rho_1=3,9 \cdot 10^3$ кг/м³, $\rho_2=1,2 \cdot 10^3$ кг/м³.

Задача определения температурного поля в зоне контакта при абразивной обработке решалась в двумерной постановке, при этом было принято, что размеры областей A, R в направлении z равны единице. Граничные условия, отражающие выделение теплового потока q на линии контакта абразивного зерна с покрытием вследствие трения, имеют вид:

$$K_1 \left[\frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{x1} + \frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{y1} \right] + q = 0; \quad (3)$$

$$K_2 \left[\frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{x2} + \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{y2} \right] + q = 0; \quad (4)$$

$$t_{wi} < t \leq t_{wi} + t_r \quad (1 \leq i \leq N);$$

$$(x, y) \in L_4;$$

$$K_1 \left[\frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{x1} + \frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{y1} \right] = 0; \quad (5)$$

$$K_2 \left[\frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{x2} + \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{y2} \right] = 0; \quad (6)$$

$$t_{wi} + t_r < t \leq t_{w(i+1)};$$

$$(x, y) \in L_4,$$

где l_{x1}, l_{y1} – направляющие косинусы нормалей к линии L_4 , направленные внутрь области A ; l_{x2}, l_{y2} – направляющие косинусы нормалей к линии L_4 , направленных внутрь области R ; t_{wi} – время начала i -го цикла контакта абразива с резиновым покрытием, t_r – время контакта в каждом цикле ($t_r = \text{const}$).

Тепловой поток q , выделенный в результате трения зерна и покрытия на площадке единичной ширины, след которой представлен линией L_4 , характеризуется следующим выражением:

$$q = \tau v \quad (7)$$

где τ – максимальное значение контактных напряжений от сил трения на линии L_4 , определяемое из соответствующей контактной задачи теории упругости при заданном усилии прижатия абразивного круга, $\tau=1,77$ МПа; v – окружная скорость абразивного круга, $v=4,52$ м/с. Время взаимодействия зерна с покрытием составляет $t_r=0,0083$ сек; время одного оборота абразивного круга $t_{wi}=t_{w(i+1)} - t_{wi} \quad (1 \leq i \leq N)=0,125$ сек. Условия теплообмена с окружающей средой на границе областей A и R :

$$K_1 \left[\frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{xL_j} + \frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{yL_j} \right] + h_1 [T_1(x, y, t) - T_c] = 0; \quad (8)$$

$$t > 0; (x, y) \in L_2, L_3, L_{10}, L_{11}, L_{12};$$

$$K_2 \left[\frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{xL_j} + \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{yL_j} \right] + h_2 [T_2(x, y, t) - T_c] = 0; \quad (9)$$

$$t > 0; (x, y) \in L_5, L_6;$$

$$K_2 \left[\frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial x} \cdot l_{xL_7} + \frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial y} \cdot l_{yL_7} \right] + h_3 [T_2(x, y, t) - T_c] = 0; \quad (10)$$

$$t > 0; (x, y) \in L_7;$$

где l_{xL_j}, l_{yL_j} – направляющие косинусы внешней нормали к линии L_j , h_1, h_2, h_3 – коэффициенты теплоотдачи, $h_1=h_2=130$ Вт/(м·К), $h_3=30$ Вт/(м·К).

При решении задачи принимается, что теплообмен на линиях L_8, L_9 отсутствует.

$$\frac{\partial T_2(x, y, z)}{\partial x} \cdot l_{xL_j} + \frac{\partial T_2(x, y, z)}{\partial y} \cdot l_{yL_j}; \quad (11)$$

$$t > 0; (x, y) \in L_8, L_9$$

Начальная температура рассматриваемых областей составляет $T_0=20^0\text{C}$:

$$T_1(x, y, 0) = T_0 \quad (x, y) \in A \quad (12)$$

$$T_2(x, y, 0) = T_0 \quad (x, y) \in R$$

Задача, описываемая выражениями (1)-(12), решалась методом конечных элементов с использованием программно-вычислительного комплекса ANSYS. Результатом вычислений является определение контактных напряжений τ от сил трения при взаимодействии абразивного зерна с покрытием при условии, что рабочая температура абразивного зерна не должна превышать $100-120^0\text{C}$. Результаты расчета температуры на границе зерна и покрытия при найденном значении τ в процессе абразивной обработки приведены на рис. 2, 3.

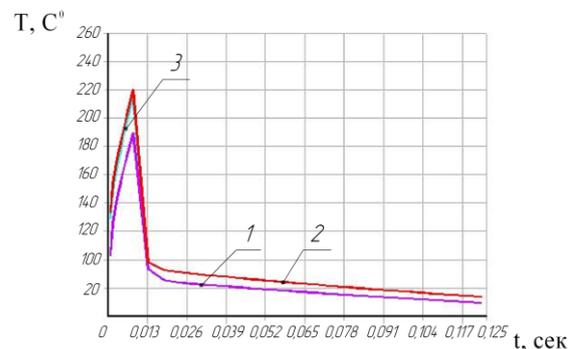


Рис. 2. Зависимость температуры на границе зерна и покрытия от времени при абразивной обработке покрытия:
1 – график температуры зерна вблизи границы зерна и резины, 2 – график температуры на границе зерна и резины, 3 – график температуры резины вблизи границы зерна и резины

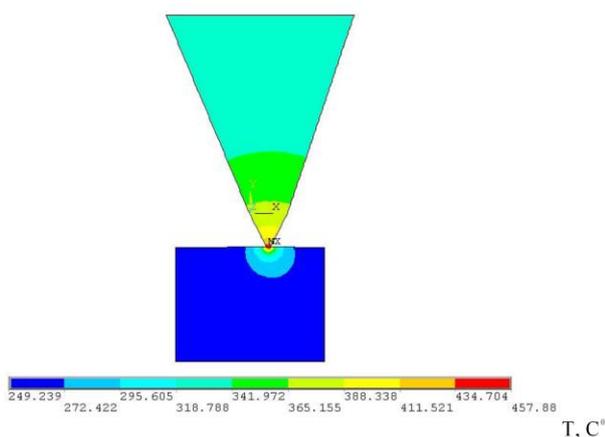


Рис. 3. Распределение температуры в зерне и поверхностном слое покрытия при $t=5,47$ сек

Вывод: полученные результаты позволяют оптимизировать режимы обработки при заданной скорости вращения абразивного круга посредством изменения усилия его прижатия к обрабатываемому покрытию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. 381 с.
2. Трофимов, Е.О. Оценка тепловых процессов при абразивной обработке резин / Е.О. Трофимов, Л.П. Шингель // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2011. Т.13, № 1. С. 15-19.

CALCULATION OF TEMPERATURE-FORCE CHARACTERISTICS IN THE ZONE OF ABRASIVE MACHINING OF RUBBER COVERINGS

© 2011 L.D. Sirotenko¹, A.M. Khanov¹, E.O. Trofimov², L.P. Shingel¹

¹ Perm National Research Polytechnical University

² JSC «Perm Plant "Mashinostroitel"»

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

Key words: *abrasive machining, temperature, heat conduction, contact zone, heat exchange*

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

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

Leonid Shingel, Associate Professor at the Department "Machinery Design and Resistance of the Materials"