

товкой.  $q_{ин}(r, \tau)$  в граничных узлах расчётной сетки, а также коэффициенты  $L(r)$  и  $q_f$ :

- на основании решения уравнения теплопроводности МКЭ (путём решения системы линейных уравнений), заполняются матрицы  $M_\tau$  и  $M_0$  и вектор правых частей  $Y(\tau)$ . В соответствии с формулой (3) записываются вычисленные значения температуры в узлах расчётной сетки  $T_i(\tau^{k+1})$ ;

- если полученное время меньше заданного, то расчёт повторяется со следующего момента времени  $\tau^{k+1}$ , увеличенного на величину шага.

Приведенный выше алгоритм позволяет вычислить температурное поле по глубине обрабатываемой поверхности заготовки, подверженной упрочняющему шлифованию при известных значениях теплового потока  $q_{ин}(r, \tau)$ .

### Определение поверхностной плотности теплового потока при упрочняющем шлифовании

Ефремов В. Д., докт. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Для определения плотности теплового потока рассмотрим схемы плоского (рис. 1а) и круглого (рис. 1б) шлифования.

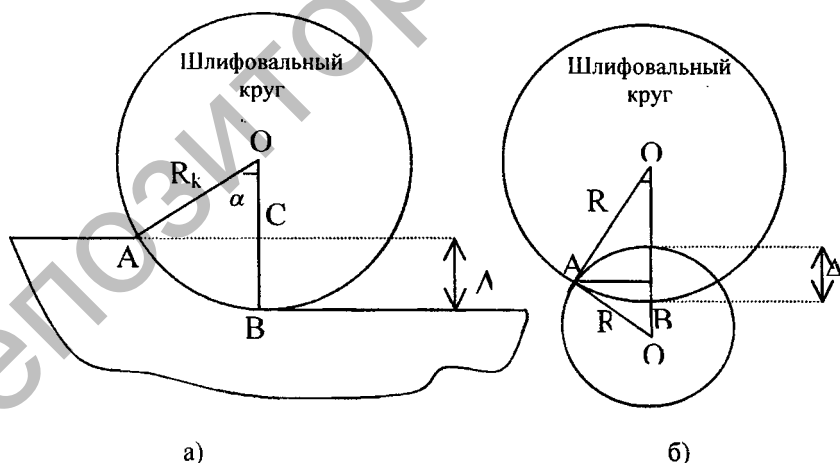


Рис. 1 Схемы расчёта длины дуги контакта при плоском (а) и круглом (б) шлифовании.

Дополнительный поток теплоты  $q(\vec{r}, \tau)$  появляется только в месте контакта шлифовального круга с деталью (дуга АВ, рис.1) и может быть выражен соотношением

$$q(\vec{r}) = \left[ \frac{F_z \cdot V_k}{L \cdot B} - q_k - q_m \right] \cdot \delta(\vec{r}, L, B) \quad (1)$$

где  $\delta = \begin{cases} 1, \vec{r} \in [\text{зона контакта}] \\ 0, \vec{r} \notin [\text{зона контакта}] \end{cases}$ ;  $F_z$  - сила резания, Н;  $V_k$  - скорость движения периферии круга ( $V_k = 2\pi \cdot R_k \cdot n$ ,  $n$  - частота вращения круга);  $L$  - длина контакта круга с деталью;  $B$  - ширина режущей кромки круга;  $q_k$  - тепловой поток, уходящий в шлифовальный круг;  $q_m$  - тепловой поток, уходящий со снимаемым металлом, а  $q_k$  не превышает нескольких процентов от тепла, выделяющегося за счёт сил резания и трения; а с учётом того, что силы резания известны только из экспериментов и с достаточно большой погрешностью (до 20%), то учитывать в явном виде  $q_k$  не имеет смысла, т.е. можно положить  $q_k = 0$ . Тепловой поток, уходящий со

$$\text{снимаемым металлом: } q_m = \frac{c_p M}{LB} (T - T_0), \quad (2)$$

где  $M = p \cdot \Delta \cdot V_p \cdot B$  - секундный объём снимаемого материала.

Сила резания  $F_z$  определяется экспериментально и используется в виде эмпирической зависимости типа:  $F_z = A \cdot \Delta^a \cdot S^b \cdot \theta_p^c \cdot \theta_k^d$ ,  $(3)$

где  $A, a, b, c, d$  - эмпирически подбираемые коэффициенты;  $S$  - площадь зоны контакта круга с деталью. Эксперименты показывают, что в диапазоне скоростей периферии круга от 15 до 35 м/с сила резания уменьшается с повышением скорости и коэффициент диаметра круга  $d \approx -0,33$ . Из физических соображений следует, что сила резания прямо пропорциональна ширине ( $B$ ), так как с ростом ширины все новые и новые зёрна вступают в работу. Этого нельзя сказать о влиянии длины зоны контакта ( $L$ ), т.к. несмотря на увеличение числа рабочих зерен возможна ситуация, когда зёрна попадают в канавки, уже прорезанные ранее идущими зёрнами. Однако, в первом приближении можно считать, что  $F_z \propto L$ , а коэффициент  $A$  включает в себя поправку на длину зоны контакта. С учётом вышесказанного,

$$\text{имеем } F_z = A \cdot \Delta^a \cdot V_p^c \cdot V_k^{-0,33} \cdot L \cdot H, \quad (4)$$

Рассмотрим длину контакта круга с металлом при плоском шлифовании

$$\text{(рис.1а) } L = |AB| = R_k \cdot \text{arcCos} \left( 1 - \frac{\Delta}{R_k} \right) \approx \sqrt{2R_k \cdot \Delta}, \quad (5)$$

тогда  $F_z \gg \Delta^{0,62}$  и  $F_z \gg V_p^{0,31}$ .

На основании вышеизложенного для расчёта поверхностной плотности можно предложить следующую формулу:

$$q(\vec{r}) = \left[ A \cdot \Delta^{0,62} V_{p'}^{0,31} \cdot V_k^{0,67} - \frac{\rho \cdot \Delta \cdot V_p \cdot C_p}{L} (T - T_0) \right] \cdot \delta(\vec{r}, L, B), \quad (6)$$

где  $T_0$  – начальная температура заготовки;  $A$  – поправочный коэффициент.

Как показали эксперименты, проведённые автором, коэффициент  $A=1,40 \cdot 10^7$ .

Таким образом, полученная зависимость (6) плотности теплового потока в зоне контакта шлифовального круга с деталью, в процессе упрочняющего шлифования позволяет управлять тепловым процессом, а соответственно и параметрами упрочнения обрабатываемой поверхности.

### Компьютерная модель теплового процесса упрочняющего шлифования

**Ефремов В. Д.**, докт. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Учёт необходимых условий и режимов обработки с возможностью широкого варьирования их пределами, оперативное вмешательство в ход расчёта и изменения исходных данных, а также наглядное представление процесса в динамике с выдачей результатов в табличной или графической форме – далеко не полный перечень преимуществ использования компьютерных моделей.

Немаловажную роль играет также простота, компактность хранения и возможность многократного использования информации.

В соответствии с математической моделью при компьютерном моделировании тепловых процессов упрочняющего шлифования необходимо задать файл с теплофизическими свойствами обрабатываемого металла, размерами заготовки и детали, а также данные для построения её характерного сечения. Задаётся величина снимаемого припуска и число проходов, а также режимы шлифования: частота вращения шлифовального круга и заготовки, продольная подача, на основе которых рассчитывается температурное поле в заданных точках изделия на поверхности и по сечению (глубине).

Предполагается возможность выбора файла другой марки стали со своими физическими параметрами, при наличии последнего в директории. Возможно, также, создание нового файла. Предусматривается просмотр параметров стали в графическом режиме. В файле задаётся число узлов расчётной сетки.