

Таким образом, предложенная методика расчета температурных полей дает возможность с достаточной точностью провести моделирование процесса шлифования и выяснить влияние теплового фактора на качество обработанной поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Синяев Г.М. Электрическое моделирование задач теплообмена во вращающихся цилиндрических телах, находящихся в тепловом контакте. Сб. "Моделирование задач теплофизики". Институт математики АН УССР, Киев, 1973.
2. Темников А.В., Гаврилов Б.М., Дилигенский Н.В. Квазианалоговые методы электромоделирования краевых задач теплообмена при относительном перемещении тел, находящихся в тепловом контакте. Сб. "Расчет физических полей методами электромоделирования". М., 1968.
3. Подзей А.В., Новиков Н.Н., Логинов В.Е. Исследование температурного поля при шлифовании "Станки и инструмент", 1957, № 1,8,10.
4. Дорфман П.А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел. М., Физматгиз, 1960.

Ф.П.Урвский, Н.В. Дилигенский, Г.М.Синяев, В.А.Барвинок,
И.А.Швидак

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ДЕТАЛЯХ ПРИ ПАЗОВОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Известно, что качество обработанной поверхности в значительной степени зависит от температуры в зоне шлифования и ее распределения по поверхности и глубине детали. Появление вредных остаточных напряжений, прижогов и микротрещин неразрывно связано с теплонпряженностью процесса. Поэтому определение температур в зависимости от условий шлифования представляет практический интерес.

В данной работе предложен метод расчета температур в деталях при обработке боковых поверхностей паза с учетом трения круга о боковую поверхность и интенсивного охлаждения.

Учитывая небольшую глубину паза по сравнению с радиусом детали, большие скорости вращения круга и изделия и интенсивное охлаждение, примем следующую модель процесса пазового врезного шлифования для определения температур в детали (рис.1).

Четвертая часть пространства движется с большой скоростью v_1 по оси X , направленной вдоль ребра паза. Ось Y направлена по радиусу к центру детали. Тепловой источник, кольцевой, плоский, ограниченный двумя концентрическими окружностями, движется со скоростью v_2 в направлении оси Z (поперечная подача).

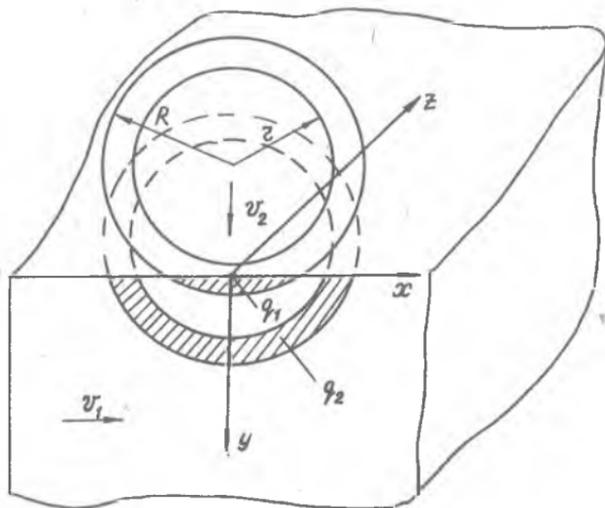


Рис.1. Положение круга и теплоисточника

На рис.1 показано положение круга и теплоисточника в произвольные моменты времени (заштрихованная часть—тепловой источник). Принимая величину теплового потока постоянной по площадке контакта, функцию, описывающую источник, запишем в следующем виде (при $z=0$).

$$\begin{aligned}
 q_{12}(x, y, \tau) = & H(\tau) \left[H \left[x + \sqrt{R^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] - \right. \\
 & - H \left[x + \sqrt{z^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] + H \left[x - \sqrt{z^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] - \\
 & \left. - H \left[x - \sqrt{R^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] \right], \quad \begin{array}{l} R - z < U_2 \tau < R; \\ 0 < y < U_2 \tau. \end{array} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Здесь R и z - больший и меньший радиус рабочей части круга
 τ - время,

$H(x)$ - функция Хевисайда.

Выражение (1) описывает теплоисточник в случае, когда круг пройдет расстояние $(R - z)$. До этого момента верхней границей источника будет поверхность $y = 0$ и функция источника упрощается

$$\begin{aligned}
 q_1(x, y, \tau) = & H(\tau) \left\{ H \left[x + \sqrt{R^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] - \right. \\
 & \left. - H \left[x - \sqrt{R^2 - (y + R - U_2 \tau)^2} \right] \right\}; \quad \begin{array}{l} 0 < U_2 \tau < R - z; \\ 0 < y < U_2 \tau. \end{array} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Задачу будем решать следующим образом: найдем решение для мгновенного точечного источника (функцию Грина) и будем интегрировать его согласно функции источника (1) и (2). Точное решение, описывающее температурное поле, будет представлять собой весьма громоздкое выражение, поэтому получим сразу его асимптотическое представление для случая больших скоростей.

Асимптотическое представление функции Грина для поверхности полупространства (при больших скоростях) имеет вид

$$E = \frac{H(x)}{\sqrt{\pi} Pe, x} \delta(\tau, y). \quad (3)$$

Температурное поле на боковой поверхности паза получим, записав свертку функции Грина (3) с функцией источника $q(x, y, \tau)$. В безразмерном виде оно имеет вид

$$\theta = \iiint_{-\infty}^{\infty} \frac{H(\xi - \xi')}{\sqrt{\pi} Pe, (\xi - \xi')} \delta(F_0 - F_0', \eta - \eta') q(\xi', \eta', F_0') d\xi' d\eta' dF_0'. \quad (4)$$

Здесь

$$\xi = \frac{x}{R}; \quad \eta = \frac{y}{R}; \quad Pe_1 = \frac{V_1 R}{a}; \quad Fo = \frac{a \tau}{R^2}; \quad \beta_1 = \frac{\gamma}{R};$$

$$q(\xi, \eta, Fo) = \begin{cases} q_1(\xi, \eta, Fo); & 0 < Pe_2 Fo < 1 - \beta_1; \\ q_2(\xi, \eta, Fo); & 1 - \beta_1 < Pe_2 Fo < 1. \end{cases} \quad (5)$$

Вычислив интеграл (4) при $q = q_1(\xi, \eta, Fo)$, получим выражение для расчета температурного поля на боковой поверхности паза на первом этапе, когда шлифующая кромка не выходит за край детали (6).

$$\theta_1 = \begin{cases} 0; & \xi < -d; \\ \frac{2Ki}{\sqrt{\pi} Pe_1} \sqrt{\xi + \sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2}}; & 0 < Pe_2 Fo \leq 1 - \beta_1; \\ & 0 < \eta < Pe_2 Fo; \\ & -d < \xi < d. \end{cases} \\ \theta_1 = \begin{cases} \frac{2Ki}{\sqrt{\pi} Pe_1} (\sqrt{\xi + \sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2}} - \\ - \sqrt{\xi - \sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2}}); & 0 < Pe_2 Fo \leq 1 - \beta_1; \\ & 0 < \eta < Pe_2 Fo; \end{cases} \quad (6) \\ \theta_1 = \begin{cases} 0; & \eta > Pe_2 Fo; \\ & \eta < 0. \end{cases}$$

Здесь:

$$Ri = \frac{q_1 R}{\gamma(t_m - t_0)}; \quad d = \sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2};$$

t_m - температура масштабная;

t_0 - температура текущая.

При $Fo < 0$ решение равно нулю. Максимальная температура будет

при $Pe_2 Fo = 1 - \beta_1$; $\eta = 0$; $\xi = \sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2}$;

$$\theta_{1 \max} = \frac{2Ki}{\sqrt{\pi} Pe_1} (\sqrt{1 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2} - \sqrt{1 - \beta_1^2})^{1/2}. \quad (7)$$

Вычислив интеграл (4) при $q = q_2(\xi, \eta, Fo)$, получим выражение для расчета температур на втором этапе процесса, когда кромка круга с радиусом γ начнет удаляться от поверхности XOZ в направлении оси Y (8).

$$\theta_2 = \begin{cases} \begin{cases} 0 & d < \xi < -d \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} \sqrt{\xi+d} & -b > \xi > -d \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} (\sqrt{\xi+d} - \sqrt{\xi+b}) & b > \xi > -d \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} (\sqrt{\xi+d} - \sqrt{\xi+b} + \sqrt{\xi-b}) & d > \xi > b \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} (\sqrt{\xi+d} - \sqrt{\xi+b} + \sqrt{\xi-b} \sqrt{\xi-d}) & \xi > d \end{cases} & \begin{cases} (1-p_1) \leq Pe_2 Fo \leq 1 \\ 0 < \eta < Pe_2 Fo - (1-p_1) \end{cases} \\ \\ \begin{cases} 0 & \eta < 0 \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} \sqrt{\xi+d} & \eta > Pe_2 Fo \\ \frac{2K_i}{\sqrt{\pi Pe_1}} (\xi+d) - \sqrt{\xi-d} & -d < \xi < d \\ & \xi > d \end{cases} & \begin{cases} (1-p_1) \leq Pe_2 Fo \leq 1 \\ Pe_2 Fo - (1-p_1) < \eta < Pe_2 Fo \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $b = \sqrt{\rho_1^2 - (\eta + 1 - Pe_2 Fo)^2}$.

В целом решение имеет вид

$$\theta = \begin{cases} \theta_1 & \text{при } 0 < Pe_2 Fo < 1 - p_1 \\ \theta_2 & \text{при } 1 < p_1 < Pe_2 Fo < 1. \end{cases}$$

В выражениях (6) и (8) d и b являются функцией η . В свою очередь пределы изменения η определяются временем $\tau(Fo)$. Поэтому расчет температур проводится для фиксированного момента времени. По значению $\eta_2 \tau$ (в безразмерном виде $Pe_2 Fo$) определяются пределы изменения η , подсчитываются d, b и подставляются в формулы (6) и (8).

По данной методике был произведен расчет максимальных температур при шлифовании изделия с диаметром $d = 100$ мм и высотой паза 30 мм из стали Эи-347Ш кругами Л12-К8-СТ1-100, Л12-Б1-100, ЭБГ6-СМ1-К7 при различных технологических режимах. Теплоисточник принимался равномерно распределенным по площадке контакта круга с изделием.

С целью оценки точности расчета температур по данной методике было проведено экспериментальное исследование. Измерение температуры проводилось с помощью полуприскусственной терморпары.

На рис. 2 и 3 представлены результаты теоретического расчета и экспериментального исследования максимальных температур детали в зоне шлифования (t), а на рис. 4 показано температурное поле в детали, рассчитанное по формуле (6) для следующих условий: обработка-

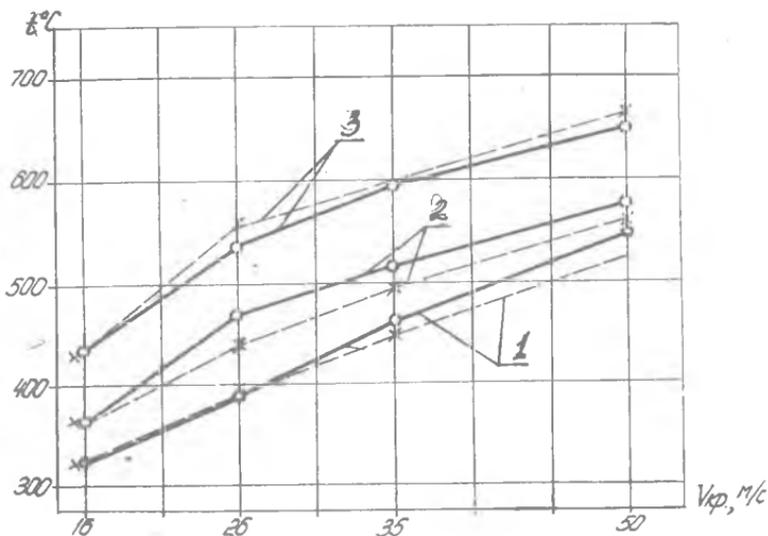


Рис.2. Влияние скорости вращения круга на максимальную температуру детали в зоне контакта круга с изделием. По расчетным (сплош.) и экспериментальным (пунктирные линии) данным. Материал: сталь ЭИ-347Ш. Режим обработки: $V_{изд} = 48$ м/мин; $S_{поп} = 0,5$ мм/мин.

1 - круг Л12-Ст1-К7-100; 2 - круг Л12-Б1-100; 3-ЭБ16СМК7

важный материал ЭИ-347Ш, круг Л12-Б1-100 $V_{кр} = 26$ м/с,
 $V_{изд} = 48$ м/мин, $V_{изд} = 48$ м/мин, $S_{поп} = 1$ мм/мин.

Из рис.2 и 3 видно, что результаты расчета хорошо согласуются с экспериментом.

Проведенными исследованиями установлено, что теплонапряженность процесса при пазовом эльборовом шлифовании стали ЭИ-347Ш ниже, чем при обычном абразивном. Максимальные контактные температуры при работе эльборовыми кругами в 1,3 - 1,5 раза меньше, чем при шлифовании стали ЭИ-347Ш обычными абразивными кругами.

Из режимов резания наибольшее влияние на максимальную контактную температуру при пазовом шлифовании оказывает поперечная подача стола. Ее изменение от 0,5 до 2,5 мм/мин приводит к росту максимальной температуры в зоне шлифования при работе обычными абразивными кругами в 2 раза, а при шлифовании эльборовыми кругами в 2,4-2,6 раза.

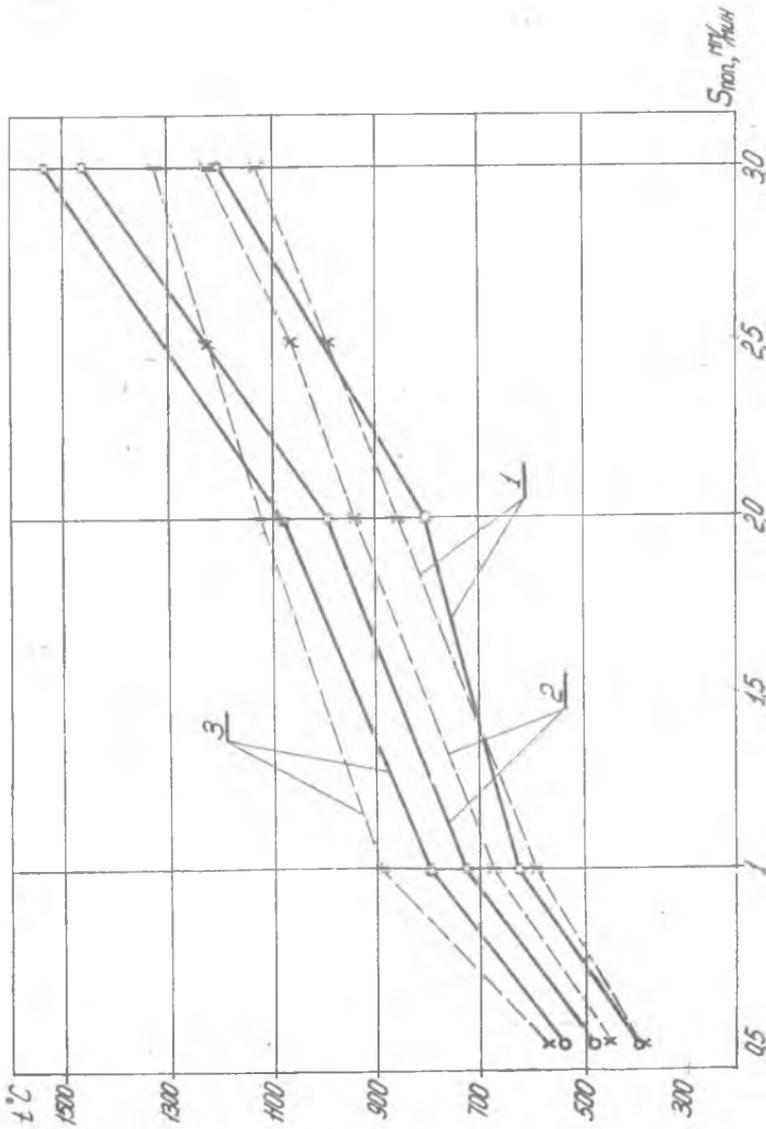


Рис.3. Влияние поперечной подачи на максимальную температуру детали в зоне контакта круга с изделием. По расчетам (сплошные) и экспериментальным (пунктирные линии) данным. Материал: сталь ЭИ-347Ш. Режим обработки: 1 - $v_k = 26$ м/сек; 2 - $v_k = 48$ м/мин; 3 - $v_k = 48$ м/мин; 1 - круг Д12-С11-К7-100; 2 - круг Д12-Б1-100; 3 - ЭБ16СМ1К7

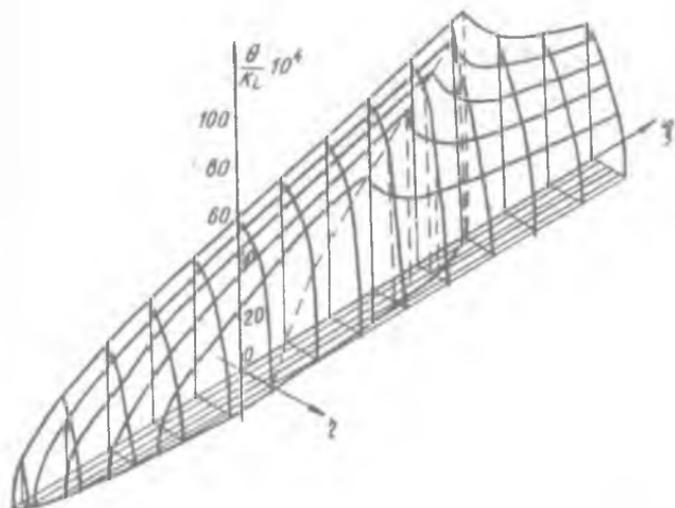


Рис. 4. Температурное поле в детали.

Материал: сталь ЭИ347Ш. Режим шлифования: $V = 26$ м/сек;
 $V_{изд.} = 48$ м/мин; $S_{поп} = 1$ мм/мин; круг Л12-Б1-100

Предложенная в работе методика позволяет рассчитывать температурные поля в изделии в зависимости от условий шлифования при работе алмазными, эльборовыми и обычными абразивными кругами и тем самым оценивать теплонапряженность процесса резания.

В.Н.Трусов, Ф.П.Урывский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ СТАЛИ ЭИ347Ш

Общеизвестно, что совмещенные электрохимикомеханические способы обработки металлов дают возможность заметно повысить производительность процессов.

С целью изучения такой возможности были поставлены эксперименты по электроалмазному шлифованию (ЭАШ) теплостойкой стали ЭИ347Ш.