

## ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТОНКИХ ДЕТАЛЕЙ

**Якимов А.В.,** докт. техн. наук, **Новиков Ф.В.,** докт. техн. наук,  
**Якимов А.А.,** канд. техн. наук

*(Одесский Национальный политехнический университет,  
Харьковский государственный экономический университет)*

*В работе приведено аналитическое решение задачи о температурном поле в пластинке, позволяющее установить критерии, разграничивающие детали на тонкие пластины и полубесконечные тела.*

Шлифование тонких деталей представляет собой достаточно сложную проблему с точки зрения управления тепловыми процессами [1,2,3]. Тонкими деталями при шлифовании называются такие детали, в которых наличие плоскостей, ограничивающих тепловые потоки, существенно влияют на температурное поле. Такие детали нельзя считать полубесконечными, поэтому для установления закономерности поведения температурных полей требуется проведение специальных исследований, используя теоретические подходы теплофизики механической обработки [4,5,6]. Учитывая отсутствие в научно-технической литературе аналитических решений о распределении температурных полей при шлифовании тонких деталей, целью данной работы является расчет температуры при шлифовании тонких деталей и анализ путей ее уменьшения.

Для аналитического расчета температурного поля для подвижного полосового источника в тонкой пластине конечной толщины примем следующую тепловую схему. По поверхности пластины толщиной  $l_0$  с постоянной скоростью движется тепловой источник шириной  $2h$  (рис. 1). Плоскости  $X = 0$  и  $X = l_0$  не пропускают тепла. Требуется найти стационарное температурное поле в системе координат, связанной с источником.

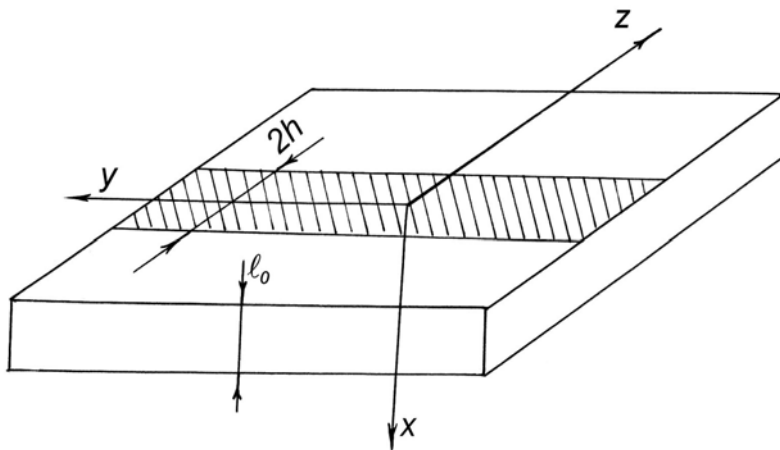


Рис. 1 Расчетная схема.

Такая задача сводится к решению

дифференциального уравнения

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + V \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

с краевыми условиями

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q = const; \quad T|_{t=0} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l_0} = 0. \quad (2)$$

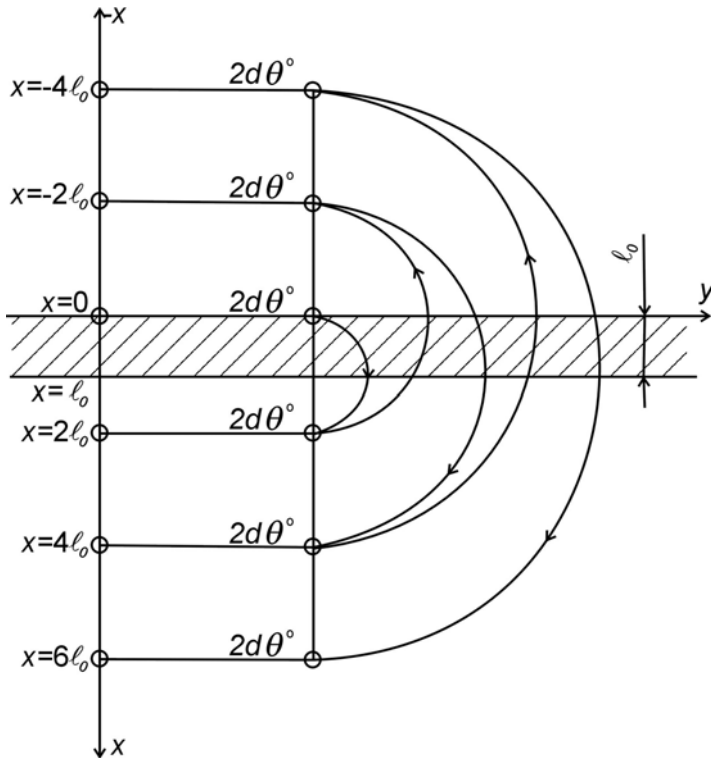


Рис. 2. Расположение тепловых источников, удовлетворяющее условию (2).

Для тепловой задачи, учитывающей наличие двух ограничивающих плоскостей, применим метод источников в дополнении с методом изображений.

Сущность метода изображений состоит в том, что для удовлетворения краевых условий (2) на плоскости, необходимо строить в этой плоскости отраженные источники (или стоки), как в плоском зеркале. На рис. 2 представлено расположение тепловых источников, удовлетворяющее условию (2).

Решение для плоского источника, движущегося по поверхности пластины в безразмерном виде, имеет вид [1]

$$\frac{\pi\lambda VT}{2qa} = \int_{z-H}^{z+H} \exp(-\xi) K_0 \left( \sqrt{X^2 + \xi^2} \right) \frac{\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} K_0 \sqrt{(X - 2Dn)^2 + \xi^2}}{K_0 \sqrt{X^2 + \xi^2}} d\xi \quad (3)$$

где  $D = \frac{Vl_0}{2a}$ ;  $X = \frac{Vx}{2a}$ ;  $\xi = \frac{V}{2a}(z - z')$ .

Обозначив в выражении (3)

$$M(X, D, \xi) = \frac{\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} K_0 \sqrt{(X - 2Dn)^2 + \xi^2}}{K_0 \sqrt{X^2 + \xi^2}}, \quad (4)$$

получим уравнение, описывающее температурное поле в пластине

$$\frac{\pi\lambda VT}{2qa} = \int_{z-H}^{z+H} M(X, D, \xi) \exp(-\xi) K_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) \cdot d\xi. \quad (5)$$

Выражение (3) отличается от известных решений для неограниченного теплопроводящего пространства лишь множителем  $M$ , характеризующим влияние границ. При  $M(X, D, \xi) = 1$  выражение (5) превращается

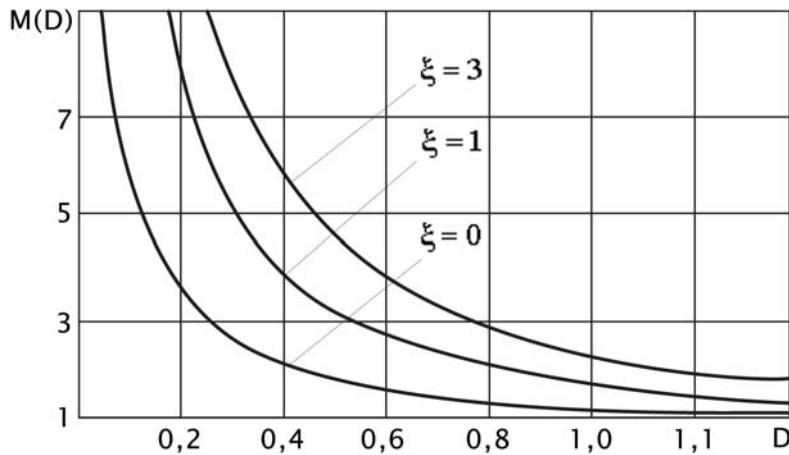


Рис.3. Зависимость множителя  $M$  от безразмерной толщины пластины.

в обычное решение для полубесконечного тела без теплообмена.

На рис. 3 представлена зависимость множителя  $M(X, D, \xi)$  от относительной толщины пластины  $D$  при значении  $X = 0$ .

При увеличении толщины пластины  $D$  для всех значений  $\xi$  множитель  $M$  стремится к единице. За-

висимость множителя  $M$  от относительной толщины пластины при значении  $X = D$  аналогична приведенной зависимости на рис. 3 при  $X = 0$ . Отличие заключается в том, что при  $D \rightarrow \infty$  множитель  $M$  стремится не к единице, а к двум.

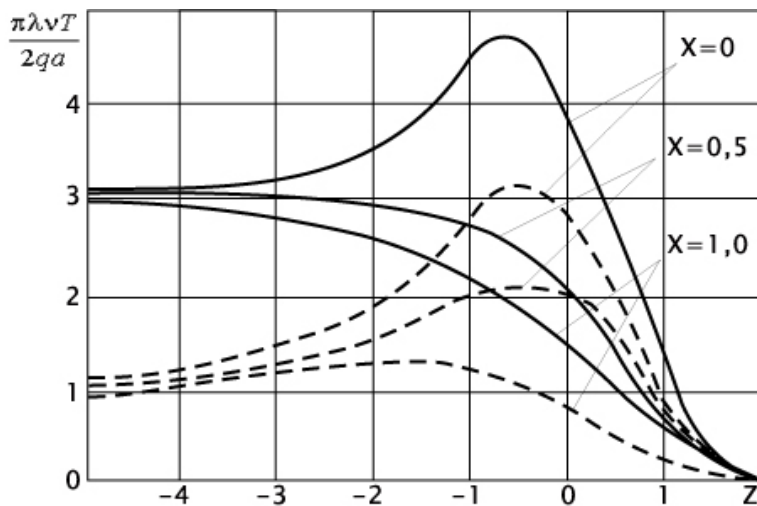


Рис. 4. Температурное поле при шлифовании тонкой пластины (сплошные линии) и полубесконечного тела (пунктирные линии).

Это значит, что при движении источника по поверхности пластины температура на противоположной поверхности будет в два раза выше, чем температура полубесконечного тела на глубине равной толщине пластины. Влияние ограниченности толщины пластины на температурное поле полосового источника показано на рис. 4.

Расчеты произведены для пластины  $D = 1,6$  при  $X = 0$ ,  $X = 0,5$ ,  $X = 1$  (сплошные кривые) и для полубесконечного тела для тех же условий (пунктирные кривые).

Следует отметить, что за источником (в области отрицательных значений  $Z$ ) происходит выравнивание температуры по всей толщине пластины. В области прилегающей к тепловому источнику температура по толщине пластины изменяется. По мере удаления от источника, разность температур между верхней и нижней плоскостями будет стремиться к нулю.

Рассмотрим температурное поле при шлифовании тонкой фрезы  $l_0 = 0,5$  мм, изготовленной из стали P18Ф2 на режиме: круг 24A25CM26K5, диаметр круга  $D = 200$  мм,  $V_0 = 3$  м/мин,  $n = 2800$  об/мин,  $t = 0,02$  мм,  $a = 0,1$  см<sup>2</sup>/с.

$$\text{Безразмерная толщина пластины } D = \frac{5,0 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,1} = 50,75.$$

Такая толщина уже существенно влияет на температуру. Например, температура поверхности пластины на задней кромке источника на 30% выше, чем температура на поверхности полубесконечного тела при тех же условиях.

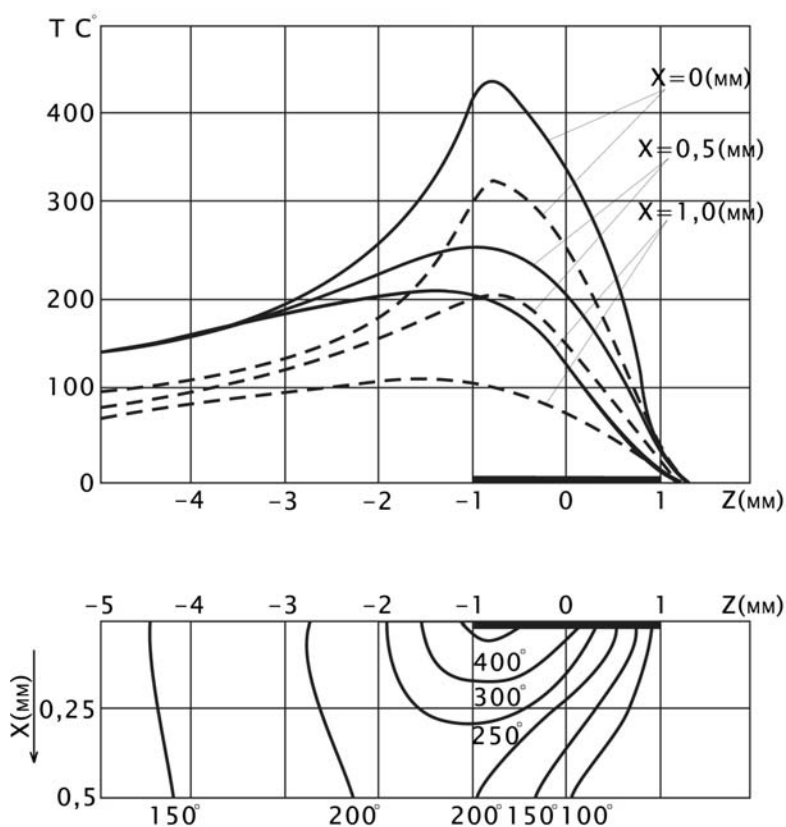


Рис. 5. Температурное поле в тонкой пластине (сплошные линии) и полубесконечном теле (пунктирные линии).

риала пластины.

Определяющим параметром, по которому судят, к какому классу следует отнести шлифуемую деталь, является относительная толщина

На рис. 5 показаны кривые распределения температуры и изотермы рассчитанные для приведенного случая.

На характер температурного поля влияет не только толщина пластины, но и режимы шлифования.

Пластины одинаковой толщины в зависимости от условий и режимов шлифования могут быть либо тонкими, либо настолько толстыми, что их можно считать полубесконечными телами. Это зависит не только от толщины пластины, но и от режимов шлифования и теплофизических свойств материала пластины.

$D = \frac{Vl_0}{2a}$ . На рис. 6 показана зависимость множителя  $N$ , характеризующе-

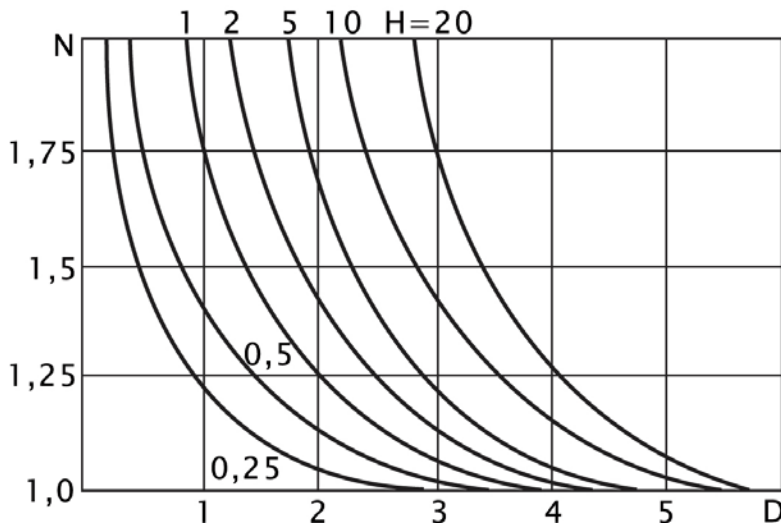


Рис. 6. Влияние относительной толщины пластины на максимальную температуру полосового источника.

го влияние ограниченности изделия на максимальную температуру полосового источника от безразмерной толщины пластины  $D$ .

Из анализа рисунка следует, что при  $D > 6$  ограниченностью изделия можно пренебречь на любом допустимом режиме шлифования. При  $D > 6$  множитель  $N$  будет близок к единице, и максимальная температура будет такой же как и

при шлифовании полубесконечного тела.

На рис. 7 представлена номограмма, с помощью которой можно заранее задавать предельную температуру, за счет подбора таких режимов, при которых увеличение температуры за счет ограниченности изделия почти не происходило. Например, требуется подобрать такой режим шлифования, чтобы повышение максимальной температуры за счет ограниченности изделия не превышало 5%. Этому режиму соответствует вся область на номограмме правее кривой, отмеченной индексом 5%.

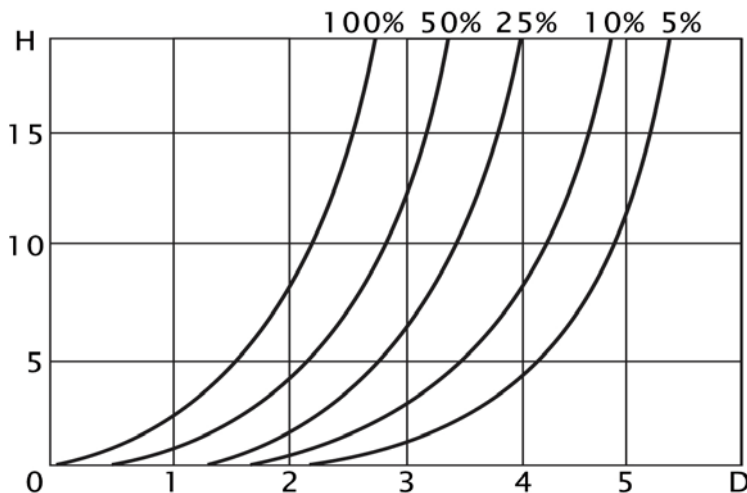


Рис. 7. Номограмма для назначения режима при шлифовании тонких пластин.

мер, если абсолютная толщина пластины из стали ( $a = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$ ) равна 1

мм, то при  $V = 10 \text{ см/с}$ ,  $D = \frac{Vl_0}{2a} = 5$ . Из номограммы (рис. 7) видно, что для этой пластины все значения  $H$ , не превышающие 14, обеспечивают такую

Соответствующий режим может быть обеспечен вариацией скорости продольной подачи и глубины шлифования. Например,

же максимальную температуру, как и при обработке массивного тела. Например, при шлифовании пластины толщиной  $l_0 = 0,3$  мм, из стали Р18Ф2 кругом  $\varnothing 200$  мм условие, ограничивающее увеличение максимальной температуры пятью процентами, будет выполняться, если глубина шлифования не будет превышать 0,04 мм.

Вывод: Кривые приведенные на рис. 6 и 7 позволяют с достаточной для практики точностью оценивать влияние ограниченности пластин на максимальную температуру шлифования.

Решение задачи о температурном поле в пластине позволяет установить критерии разграничивающие детали на тонкие пластины и полубесконечные тела. В дальнейших исследованиях важно произвести оценку теплонапряженности процесса шлифования тонких деталей с использованием прерывистых кругов и твердых смазок.

### Список литературы

1. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. –М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
3. Резников А.Н. Теплофизика резания. –М.: Машиностроение, 1969. –288с.
4. Теплофизика механической обработки: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К.: Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.
5. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин, А.А. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1998. – 272 с.
6. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 127 с.

### Анотація

#### Температурне поле при шліфуванні тонких деталей

*У роботі приведене аналітичне рішення задачі про температурне поле в пластинці, що дозволяє установити критерії, що розмежовують деталі на тонкі пластини і напівнескінченні тіла*

### Abstract

#### Temperature field at grinding thin parts

*In activity the analytical solution of a problem on a temperature field in a plate permitting to establish yardsticks, differentiating parts on thin laminas and semi-infinite bodies is adduced.*