

чаются вероятность поломок инструмента, которые характерны для схемы попутного фрезерования (в силу этого попутное фрезерование по "корке" не применяется).

2. Износ инструмента при обработке по "корке" при встречном фрезеровании в 1,6 раза больше, а шероховатость поверхности несколько ниже, чем при попутном фрезеровании без "корки".
3. Учитывая, что при встречном фрезеровании титановых штампованных заготовок не требуется предварительной обработки для удаления альфированного слоя, схема встречного фрезерования при определенных условиях может быть рекомендована для практического применения.

### Л и т е р а т у р а

1. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов / Под ред. К р и в о у х о в а В.А.—М.:Машгиз, 1961.
2. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник.—М.: Машиностроение, 1976.
3. М а к а р о в А.Д. Оптимизация процессов резания.—М.:Машиностроение, 1976.
4. В и к а р с к и й М.С., Л у р ь е М.В. Планирование эксперимента в технических исследованиях.—Киев: Техника, 1975.

УДК 621.791.947.001.57:518.61

Л.А.Ушомирская, Л.Д.Казмина, Е.И.Глузберг

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

### ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОТРЕЗКЕ

Процесс электроконтактной отрезки (ЭКО) характеризуется высокими температурами и температурными градиентами в заготовке. Оптимизация процесса ЭКО требует исследования температурных полей в заготовке.

Температурное поле в заготовке рассматривается в сложной по форме области, определяемой сечением заготовки и размерами диска-инструмента. В заготовке имеется вырез шириной  $2b$  и глубиной  $h$  (последняя величина увеличивается по мере перемещения диска-инструмента:  $h = vt$ , где  $v$  — скорость перемещения, м/с;  $t$  — время от начала отрезки, с).

Наибольший интерес представляет температурное поле у дна выреза. Хотя различные точки сечения располагаются в плоскостях, наклоненных друг к другу под некоторым углом, тем не менее температурное поле можно считать плоским, т.е. зависящим от двух координат  $X$  и  $Y$  (рис. I).

Считая рассматриваемое температурное поле симметричным относительно оси  $OX$ , можно решать задачу о распространении тепла, например, для области, расположенной правее оси  $OX$ .

При выбранной системе координат и указанных выше упрощениях температурное поле описывается дифференциальным уравнением [I]

$$c\gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(\theta) \operatorname{grad}(\theta)) \quad \begin{matrix} (0 < X < h, Y \geq \delta; \\ X \geq vt, Y > 0) \end{matrix}, \quad (1)$$

с начальным условием

$$\theta|_{t=0} = \theta_0 \quad \begin{matrix} (0 < X < h, Y \geq \delta; \\ X \geq vt, Y \geq 0) \end{matrix}, \quad (2)$$

с граничными условиями

$$\frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{Y=0} = 0; \quad (X \geq vt), \quad (3)$$

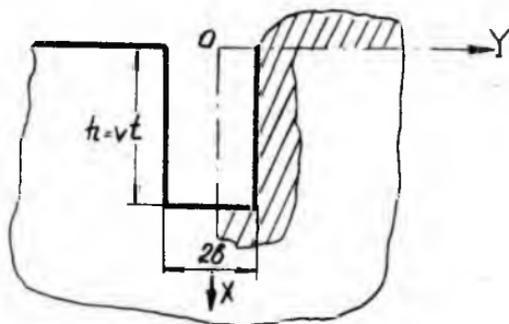
$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=vt} = 0; \quad (0 \leq Y \leq \delta). \quad (4)$$

$$\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{Y=\delta} = \alpha_1(\theta - \theta_\delta); \quad (0 \leq X \leq vt). \quad (5)$$

$$\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} = \alpha_2(\theta - \theta_0), \quad (Y \geq \delta), \quad (6)$$

где  $\theta$  - текущая температура,  $K$ ;

$\theta_0$  - начальная температура заготовки, принимаемая равной температуре среды, соприкасающейся с внешней поверхностью заготовки,  $K$ ;



Р и с. I. К постановке задачи (I)-(6)

$\theta_f$  - температура среды в вырезе, которая может быть принята линейно меняющейся по глубине выреза от температуры кипения воды до температуры  $\theta_0$ , и вычисляется по формуле,

$$\theta_f = \theta_0 - \frac{K}{vt} (100 - \theta_0) X;$$

$\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты внешней теплоотдачи на боковой поверхности выреза и на внешней поверхности заготовки соответственно, Вт/(м·К);

$c$  - удельная теплоемкость материала заготовки, Дж/кг;

$\gamma$  - плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$q$  - плотность теплового потока на поверхности реза, Вт/м<sup>2</sup>.

После введения подвижной системы координат

$$x = X - vt, \quad y = Y$$

и линеаризующей подстановки

$$G = \int_{\theta_0}^{\theta} \lambda(\theta) d\theta$$

задача (I) - (6) приводится к виду

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \bar{a} \left( \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \right) + v \frac{\partial G}{\partial x}, \quad (7)$$

$$G|_{t=0} = 0; \quad \left( \begin{array}{l} -vt \leq x \leq 0, \quad y \geq b; \\ x \geq 0, \quad y \geq 0 \end{array} \right),$$

$$\left. \frac{\partial G}{\partial y} \right|_{y=0} = 0; \quad (x=0). \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial G}{\partial x} \right|_{x=0} = q; \quad (0 \leq y \leq b). \quad (9)$$

$$\left. \frac{\partial G}{\partial y} \right|_{y=b} = \alpha_1 \left[ \frac{G}{\lambda} - (100 - \theta_0) \left( 1 + \frac{x}{vt} \right) \right]; \quad (-vt \leq x \leq 0). \quad (10)$$

$$\left. \frac{\partial G}{\partial x} \right|_{x=-vt} = \alpha_2 \frac{G}{\lambda}, \quad (y \geq b). \quad (11)$$

где

$$\bar{a} = \frac{\bar{\lambda}}{c\gamma}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\theta_{пл} - \theta_0} \int_{\theta_0}^{\theta_{пл}} \lambda(\theta) d\theta,$$

где  $\theta_{пл}$  - температура плавления материала заготовки.

Если  $h$  достаточно велико, то перемещение границы  $x = vt$  оказывает незначительное влияние на температурное поле дна выреза. Поэтому, зафиксировав  $h = vt = const$ , задачу можно рассматривать как стационарную (квазистационарную). В этом случае уравнение (7) запишется в виде

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} - \frac{v}{a} \frac{\partial G}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

и решается при граничных условиях (8) - (11).

При решении задачи (12) с граничными условиями (8) - (11) был использован метод установления [2].

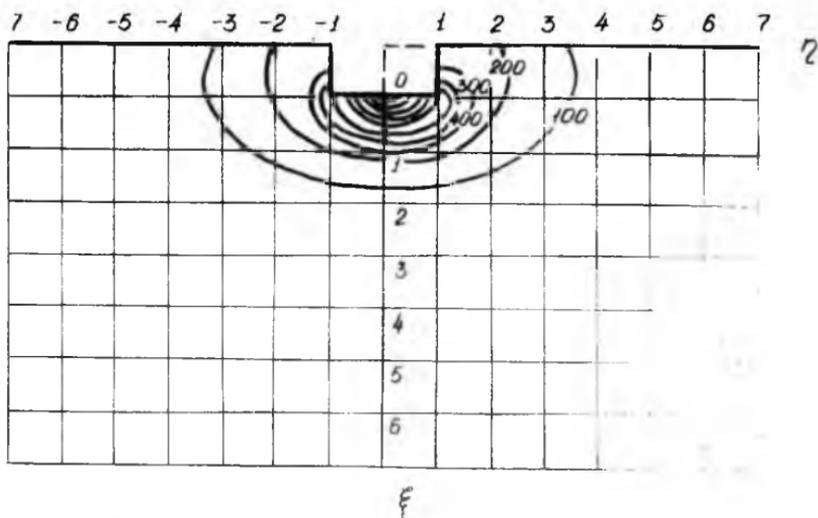
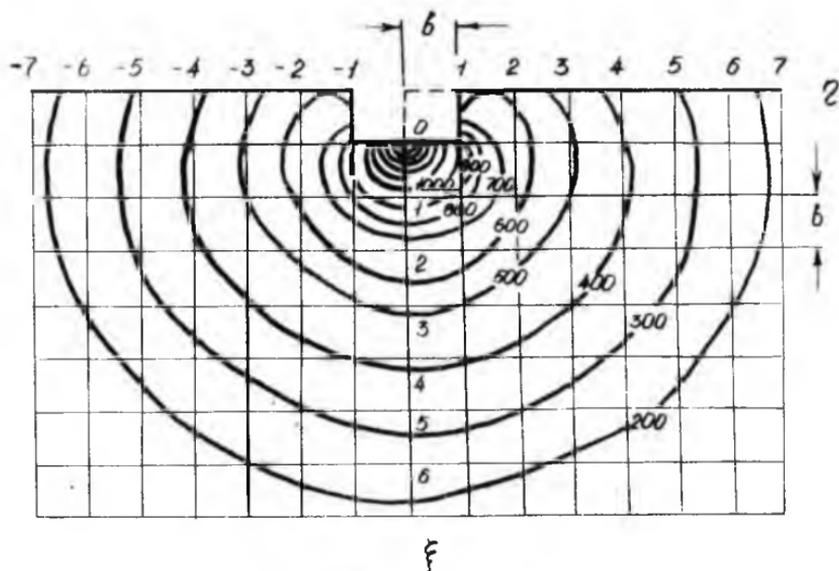
На рис.2 приведены температурные поля в безразмерной системе координат  $\xi \eta$ , где  $\xi = \frac{x}{b}$ ,  $\eta = \frac{y}{b}$ , полученные в результате решения на ЭВМ ЕС-1022 с параметрами, применительно к стали ИХ18Н9Т при скоростях перемещения диска-инструмента  $v = 3 \cdot 10^{-4}$  м/с и  $v = 3 \cdot 10^{-3}$  м/с и соответствующими этим скоростям плотностями теплового потока  $Q = 1,4 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> и  $Q = 2,8 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>. Коэффициенты внешней теплоотдачи приняты  $\alpha_1 = 1304$  Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $\alpha_2 = 1355$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [3,4], ширина выреза  $2b = 4 \cdot 10^{-3}$  м при  $h = 2 \cdot 10^{-3}$  м.

Анализ результатов численного решения и построенных на их основании изотерм позволяет сделать следующие выводы.

Увеличение скорости перемещения диска-инструмента и связанный с этим рост потребляемой энергии существенно влияют (при рассматриваемых скоростях перемещения  $v < 3 \cdot 10^{-3}$  м/с) на температурное поле в заготовке. Так, например, при скорости перемещения  $v = 3 \cdot 10^{-4}$  м/с изотерма  $\theta = 1400$  К находится на расстоянии  $3,2 \cdot 10^{-4}$  м от дна выреза, при скорости  $v = 3 \cdot 10^{-3}$  м/с - на расстоянии  $4 \cdot 10^{-5}$  м, т.е. градиент  $\frac{\partial \theta}{\partial x}$  для нее в 8 раз больше. Смещаются и другие изотермы.

Особенно существенное влияние изменение скорости перемещения оказывает на области с высокими температурами.

Из графиков температурных полей видно, что наибольшие температурные напряжения создаются в углах между дном выреза и его боковыми стенками, где изотермы как бы сходятся в одной точке. Так как в процессе отрезки эти углы перемещаются вдоль всей вновь образованной



Р и с. 2. Температурное поле в осевом сечении заготовки:

а -  $V = 3 \cdot 10^{-4}$  м/с,  $Q = 1,4 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>;

б -  $V = 3 \cdot 10^{-3}$  м/с,  $Q = 2,8 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>

поверхности заготовки, то на последней может оказаться дефектный поверхностный слой с пониженными прочностными свойствами.

Из полученных результатов вытекают следующие практические рекомендации:

1. При выборе оптимальных скоростей перемещения диска-инструмента следует учитывать влияние последних на температурное поле заготовки.

2. Для уменьшения температурных градиентов на вновь образованной после отрезки поверхности необходимо уменьшить теплоотдачу с этой поверхности. Это может быть достигнуто за счет уменьшения зазора между боковой поверхностью диска и поверхностью выреза.

### Л и т е р а т у р а

1. Лыков А.А. Теория теплопроводности. -М.:Высшая школа, 1967.
2. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. -М.: Наука, 1973.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А. Теплопередача. -М.: Энергия, 1975.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. -М.: Энергия, 1977.

УДК 621.789

В.И.Лепилин, В.В.Чернякин, В.Д.Смолин

### ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩИХ РЕЗЦОВ

Одним из эффективных путей повышения стойкости инструмента, снижения расхода дефицитных инструментальных материалов, повышения производительности и качества механической обработки является лазерное упрочнение.

Известно, что поверхностное упрочнение режущей части инструментов с помощью лазера связано с весьма сложными процессами, происходящими в металле, зависящими от химического состава металла, его поверхностной пленки и окружающей среды; от теплофизических свойств металла; от поглощающих и отражающих свойств поверхности инструмента, ее расположения по отношению к оптической оси излучения и от всех параметров лазерного излучения, важнейшими из которых являются: