



по повышению износостойкости инструмента необходимо знать термические характеристики инструмента. В данной статье тепловая задача резания исследовалась применительно к фрезерованию древесины острым инструментом — процессу, характерному для начального этапа резания древесины.

Общая теплофизическая обстановка для острого фрезерного инструмента может быть задана источником тепла по передней поверхности резца и стоком тепла в окружающую среду посредством теплоотдачи. Действием источника тепла по задней поверхности для острого резца можно пренебречь. Как показывают расчеты, влияние этого источника на значение средних температур резца незначительно и не превышает 5 % [2].

Закон распределения интенсивности источника тепла по передней поверхности резца определяется фрикционными характеристиками этой поверхности. На основе анализа напряженного состояния инструмента в зоне резания [3] и значения сил трения [1] источник тепла может быть представлен как равномерно распределенный.

Средняя температура на площадке контакта резца с древесиной при резании определяется по формуле [2]

$$\theta_{\text{ср}} = K_{\text{с}} L_{\text{с}} \theta, \quad (1)$$

где  $\theta_{\text{ср}}$  — средняя температура по передней поверхности резца, К;  $\theta$  — температура поверхности полупространства при действии источника тепла, К;  $K_{\text{с}}$  — коэффициент формы источника тепла;  $L_{\text{с}}$  — коэффициент формы тепла.

Для условия решаемой задачи скорость подачи равна 12 м/мин, диаметр фрезы — 120 мм, частота вращения фрезы — 3000 мин<sup>-1</sup>, количество резцов — 2, толщина снимаемого слоя — 4 мм, угол резания — 60°, задний угол — 15°, порода — сосна, материал инструмента — сталь ХВГ. Из принятого закона распределения интенсивности источника тепла значение коэффициентов  $K_{\text{с}} = 1,0$ ;  $L_{\text{с}} \approx 1,0$  [2].

Температура поверхности полупространства при действии равномерно распределенного источника тепла рассчитывается по формуле [2]

$$\theta(0, t) = \frac{2qb^*\sqrt{\omega}}{\lambda\sqrt{\pi}} \sqrt{t},$$

где  $\theta(0, t)$  — температура поверхности полупространства, К;  $q$  — интенсивность источника тепла, Вт/м<sup>2</sup>;  $\omega$  — коэффициент температуропроводности материала резца, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала резца, Вт/(м·К);  $b^*$  — безразмерный коэффициент, характеризующий долю тепла, распространяемого в тело резца;  $t$  — время действия источника тепла, с.

Интенсивность источника тепла  $q$  определяется той долей тепловой мощности резания, которая является следствием преобразования в тепло механической работы адгезионной составляющей силы трения. С учетом механического эквивалента тепловой энергии интенсивность источника тепла определяется по формуле

$$q = 1 \cdot 10^6 \tau v.$$

где  $\tau$  — среднее касательное напряжение молекулярной составляющей силы трения, Н/м<sup>2</sup>;  $v$  — скорость резания, м/с.

Для рассматриваемого случая  $\tau = 5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> [1].

Безразмерный коэффициент  $b^*$  зависит от условий резания и теплофизических характеристик материала резца и древесины, его рассчитываем по формуле [2]

$$b^* = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \frac{\lambda_d}{\lambda_p} \sqrt{Pe_d Fo_p}},$$

где  $\lambda_d$  и  $\lambda_p$  — коэффициенты теплопроводности соответственно древесины и материала резца, Вт/(м·К);  $Pe_d$  — критерий Пекле;  $Fo_p$  — критерий Фурье.

Для заданных условий задачи значение безразмерного коэффициента  $b^* = 0,65$ .

Подставив данные в формулу (1) и сделав необходимые вычисления, получим уравнение для расчета средней температуры (°С) передней поверхности инструмента при действии источника тепла  $q$ :

$$\theta_{(0,t)} = 5986,5 \sqrt{t}.$$

Фрезерование с точки зрения теплофизики резания состоит из двух последовательно чередующихся периодов: резания, когда инструмент находится в контакте с древесиной, и перерыва процесса резания, когда контакт с древесиной отсутствует. Источник тепла действует лишь во время первого периода. После окончания очередного реза и выхода инструмента из взаимодействия с древесиной подвод тепла от источника прекращается, происходит остывание инструмента. Последнее при решении тепловой задачи может быть учтено введением в систему дополнительного стока тепла такой же интенсивности, как и у источника  $q$ , с началом функционирования в момент времени  $t_1$ , равным времени окончания первого периода фрезерования.

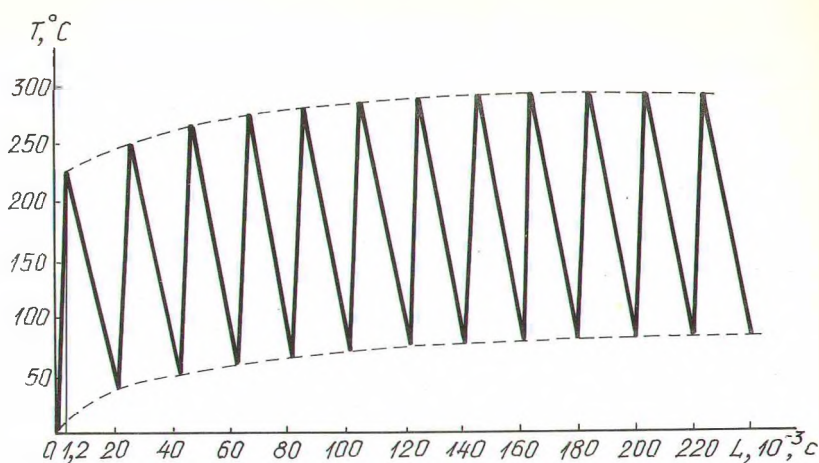
Снижение температуры инструмента в результате отдачи части тепла в окружающую среду может быть учтено путем расчета температуры  $\theta_T$  по формуле [2]

$$\theta_T = \frac{a \theta_n F}{C \rho V} t,$$

где  $\theta_T$  — снижение температуры резца за счет теплоотдачи в окружающую среду, К;  $\theta_n$  — средняя температура поверхности тела, К;  $F$  — площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $C$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $a$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — объем, м<sup>3</sup>;  $t$  — время, с.

Определение температуры резца в каждый момент времени сводится к решению балансовой задачи, учитывающей взаимовлияние на нагрев инструмента действия источников и стоков тепла.

В результате решения тепловой задачи построен график изменения средней температуры передней поверхности резца в процессе обработки древесины сосны (рис. 1). Теплодинамика нагрева инструмента характеризуется макси-



Р и с. 1. Динамика нагрева дереворежущего инструмента при фрезеровании древесины

мальными и минимальными средними температурами, которые стабилизируются уже через 0,2 с резания. Максимальная средняя температура передней поверхности резца составляет 287 °C, минимальная — 81 °C; перепад температур за  $1,2 \cdot 10^{-3}$  с — 206 °C.

При обработке более твердых древесных пород для березы  $\theta_{\max}$  составила 317 °C,  $\theta_{\min}$  — 89, перепад температур — 228 °C; для дуба соответственно  $\theta_{\max}$  — 373,  $\theta_{\min}$  — 105, перепад температур — 268 °C.

По данным анализа полученных результатов, средняя температура контактных поверхностей инструмента при резании древесины достаточно высока. Это вызывает снижение твердости инструмента и может послужить причиной его повышенного изнашивания. Разрушение инструмента на начальном этапе затупления может также вызвать действие внутренних напряжений в результате резкого перепада температур за один оборот инструмента.

#### Литература

1. Клименко П.П., Красногоров Ю.А. Трение и тепловые явления при резании древесины // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. Мн., 1986. Вып. 1. С. 98—99.
2. Резников А.Н. Теплофизика резания. М., 1969.
3. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Мн., 1985.

УДК 674.051

А.П.КЛУБКОВ

### КОМПОЗИЦИОННЫЙ РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК ЩИТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕБЕЛИ

Износостойкость дереворежущего инструмента зависит от химического состава и структуры металла, физико-механических и фрикционно-усталостных характеристик поверхностного слоя, макро- и микрогеометрических