

УДК 674.053

С.В. ЕРШОВ

Архангельский государственный технический университет



Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации обработки экономической информации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области лесопиления, исследования круглых пил, маркетинга, инновационного менеджмента.

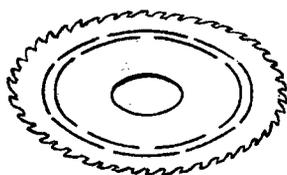
О НАГРЕВЕ КРУГЛЫХ ПИЛ НЕРАВНОМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ

Рассмотрено теоретическое распределение температуры по радиусу вращающегося диска пилы, имеющего переменную толщину, при подводе к его периферии определенной тепловой мощности; приведены примеры расчета.

The theoretical distribution of temperature has been considered along the radius of the rotating disc of variable thickness when applying some certain heat power to its circumference; the calculation examples are given.

Постановка задачи. Работа круглой пилы всегда связана с ее неравномерным нагревом. Периферия пилы, где при резании генерируется тепловая энергия, нагревается сильнее, чем центр; последний из-за большой теплоемкости пыльного вала и зажимных шайб почти не нагревается. Нагрев может привести к потере пилой плоской формы. Условия, при которых это происходит, определяются как степенью нагрева, так и формой кривой распределения температуры по радиусу пилы [5]. Распределение температуры по радиусу плоских пил (имеющих равномерную толщину) хорошо изучено [1, 2, 6, 7]. Кроме этих пил для резания древесины используют конические и строгальные пилы, которые имеют отличающуюся кривую распределения температуры по радиусу (при прочих равных условиях). Известны плоские пилы с сегментными прорезями (рис. 1), препятствующими распространению тепла в направлении центра пилы. В первом приближении зону сег-

Рис. 1. Пила с кольцевыми прорезями



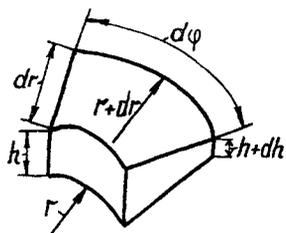


Рис. 2. Элементарный участок пилы переменной толщины

ментных прорезей можно представить кольцевой зоной равномерной уменьшенной толщины, представляющей эквивалентное прорезям сопротивление распространению тепла в диске пилы.

Для выбора параметров диска дереворежущих пил во всех перечисленных случаях может потребоваться оценка кривой распределения температуры по радиусу. Поскольку процесс распространения тепла в твердом теле хорошо изучен, для этой оценки можно использовать теоретический подход.

Обоснование расчетной модели. В основе уравнения теплопроводности лежит баланс тепла для элементарного участка диска пилы переменной толщины. Диск пилы рассматриваем в полярных координатах r , φ (рис. 2). Тепло может поступать в элементарный участок и уходить из него: через границы с соседними участками

$$dQ_1 = -\lambda \frac{d\vartheta}{dr},$$

через боковые поверхности при конвективном теплообмене

$$dQ_2 = -2 \alpha r dr d\varphi,$$

где λ – удельная теплопроводность материала пилы, Вт/(м·К);

ϑ – избыточная температура пилы, $\vartheta = T - T_0$;

T и T_0 – температура пилы и окружающего воздуха, К;

α – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К).

Большое влияние на распределение температуры по радиусу пилы оказывает коэффициент теплоотдачи α , поэтому необходимо учитывать его зависимость от радиуса пилы r . В работе [6] показано, что в пограничном слое воздуха, окружающего пилу, возможно как ламинарное, так и турбулентное его течение. По данным работы [3]

$$\alpha(r) = \frac{Nu \lambda_{\text{в}}}{r},$$

где Nu – критерий Нуссельта, $Nu = 0,36 Re^{0,5}$ – для ламинарного течения, $Nu = 0,0196 Re^{0,8}$ – для турбулентного течения;

Re – критерий Рейнольдса, $Re = \omega r^2 / \nu_{\text{в}}$; при $Re < 3 \cdot 10^5$ – режим ламинарный.

ω – угловая скорость пилы, с⁻¹;

$\nu_{\text{в}}$ – вязкость воздуха, м²/с;

$\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К).

Закон изменения толщины представим произвольной функцией радиуса пилы $h = h(r)$. Баланс тепла для элементарного участка пилы дает уравнение теплопроводности

$$\frac{d^2 \vartheta}{dr^2} + \left(\frac{1}{h} \frac{dh}{dr} + \frac{1}{r} \right) \frac{d\vartheta}{dr} - \frac{2\alpha \vartheta}{\lambda h} = 0. \quad (1)$$

Источник тепловой энергии – часть мощности резания, расходуемая на нагрев зубьев. По данным работы [6], она составляет от 1 до 6 % мощности резания. Поэтому граничным условием на внешнем радиусе диска будет условие равновесия подводимого тепла и тепла, уходящего в корпус пилы, а также тепла, уносимого конвективным теплообменом. На внутреннем радиусе пилы из-за большой теплоемкости зажимных шайб и пыльного вала избыточная температура равна нулю. С учетом изложенного граничные условия примут вид

$$\begin{aligned} \vartheta|_{r=r_0} &= 0 \\ q_w - \lambda \frac{d\vartheta}{dr} - \alpha_w \vartheta \Big|_{r=R} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где r_0 , R – радиус зажимных шайб и внешний радиус диска пилы, м;

α_w – коэффициент конвективного теплообмена на внешнем радиусе пилы, Вт/(м²·К);

q_w – поверхностная плотность поступающего через внешнюю границу теплового потока, Вт/м².

Для решения уравнения (1) с граничными условиями (2) удобно использовать метод конечных разностей [4, 5]. Для этого радиус пилы делим на n участков при помощи $(n + 1)$ узлов ($i = 0, \dots, n$). Для каждого из узлов толщину пилы h_i и коэффициент теплоотдачи α_i считаем постоянными. Заменяя производные в уравнении (1) и граничных условиях (2) соответствующими разностными выражениями, получаем систему уравнений, результатом решения которой будут значения избыточной температуры пилы ϑ_i в узловых точках.

Примеры. Для изучения влияния формы радиального сечения пилы на распределение избыточной температуры по ее радиусу рассмотрим четыре примера. Во всех примерах использовали диск диаметром 400 мм, частота вращения которого составляла 2000 мин⁻¹. Диаметр зажимных шайб 100 мм. К внешнему контуру диска непрерывно подводили тепловую мощность 200 Вт. Диск № 1 конический, его толщина на радиусе зажимных шайб 3,2 мм, на внешнем радиусе – 1,2 мм. Диск № 2 имеет форму строгальной пилы, его толщина на радиусе зажимных шайб 1,2 мм, на внешнем радиусе – 3,2 мм. Диск № 3 имеет ступенчатую толщину: кольцевая зона, ограниченная диаметрами 255 и 285 мм, толщиной 0,5 мм, остальная пила толщиной 2,2 мм. Диск № 4 имеет равномерную толщину 2,2 мм.

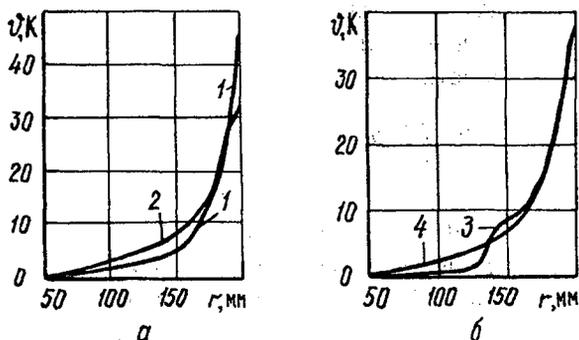


Рис. 3. Распределение температуры ϑ по радиусу диска пилы r при различных законах изменения толщины: 1 – конический диск; 2 – строгальная пила; 3 – диск ступенчатой толщины; 4 – диск равномерной толщины

Удельную теплопроводность материала пилы λ принимали равной 47 Вт/(м·К), вязкость воздуха $\nu_v = 1,561 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Количество узловых точек n для всех вариантов расчетов равно 200. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

Таким образом, полученные результаты показывают, что закон изменения толщины диска оказывает существенное влияние на форму кривой распределения температуры по радиусу пилы. Это влияние необходимо учитывать при оценке работоспособности дисков пил неравномерной толщины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Грубе А.Э., Санев В.И., Пашков В.К. К вопросу о температурном поле дисков пил для продольной распиловки древесины // Лесн. журн. - 1966. - № 3. - С. 92-104. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Гуркин Г.С. Потеря устойчивости плоской формы равновесия пыльного диска при действии температурных напряжений // Лесн. журн. - 1959. - № 1. - С. 112-126. - (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Дорфман Л.А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел. - М.: Физматгиз, 1969. - 260 с. [4]. Дьяченко В.Ф. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1972. - 120 с. [5]. Ершов С.В. О распределении температуры по радиусу круглой пилы // Лесн. журн. - 1992. - № 5. - С. 72-78. - (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Стахивев Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. - 384 с. [7]. Стахивев Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. - М.: Лесн. пром-сть, 1977. - 296 с.

Поступила 23 декабря 1998 г.