



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.93

А.Н. Галашев, М.А. Хвиюзов

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова

Галашев Александр Николаевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 40 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.

E-mail: galashev@list.ru



Хвиюзов Михаил Андреевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 10 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.

E-mail: mik5512@yandex.ru



РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ КРУГЛЫХ ПИЛ В ПЕРИОД ХОЛОСТОГО ХОДА

Рассмотрен вопрос об охлаждении пильного диска во время холостого хода круглопильного станка, предложен расчет времени изменения температурного перепада в зависимости от коэффициента теплоотдачи.

Ключевые слова: круглая пила, температурный перепад, время охлаждения, коэффициент теплоотдачи, пирометр, математическая модель.

Основной причиной снижения работоспособности круглых пил для продольной распиловки древесины является возникновение чрезмерного температурного перепада, который приводит к потере устойчивой плоской формы.

Многочисленными исследованиями установлено, что изменение температуры пильного диска изначально происходит в результате преобразования механической энергии, затрачиваемой на резание, в тепловую. Часть образующейся тепловой энергии накапливается и неравномерно распределяется по радиусу диска. Характер температурного перепада (положительный или отрицательный) определяется разницей температур периферийной и средней зон диска.

На сегодняшний день установлены основные причины возникновения и критические значения температурных перепадов, а также меры по предотвращению их возникновения. Основными мероприятиями по ликвидации

температурных перепадов являются принудительное охлаждение, дополнительное нагрев и совершенствование конструкции круглых пил. Следует отметить, что охлаждение пил, а следовательно, и снижение значений температурных перепадов происходит и во время холостого хода пилы круглопильного станка, т. е. во время межторцовых разрывов. Расчет времени холостого хода с позиции сохранения допустимого температурного перепада необходимо выполнять на основе закономерностей конвективного теплообмена.

Цель наших исследований – установление продолжительности холостого хода круглопильного диска в зависимости от температурного перепада в аналитическом виде с последующим экспериментальным подтверждением.

При положительном температурном перепаде считается, что теплота, поступающая в диск, концентрируется осесимметрично в периферийной зоне на величину 0,2–0,3 от радиуса диска [1, 3]. На рис. 1 представлена схема размещения кольцевой нагретой зоны пильного диска, позволяющая определить основные исходные параметры для расчета теплообмена. Будем считать, что температура периферийной зоны превышает температуру охлаждающего воздуха и температуру средней зоны (последние равны между собой).

$$R_1 = D/2 - h_3; \quad (1)$$

$$R_2 = 0,8R_1; \quad (2)$$

$$R_{cp} = 0,9R_1; \quad (3)$$

$$S = 0,2R_1; \quad (4)$$

$$F = 0,36\pi R_1^2, \quad (5)$$

где D – диаметр пилы, м;

h_3 – высота зубьев, м;

S – ширина кольца, м;

F – площадь кольца, м².

Охлаждение пилы относится к процессам нестационарной теплопроводности, так как перенос теплоты от диска происходит при изменении температуры с течением времени. Если принять, что температура во всех точках кольца нагрева с течением времени изменяется по одному и тому же закону, то режим нестационарной теплопроводности считается регулярным. Так как температура воздуха (T_b , К), теплопроводность (λ , Вт/(м·К)), температуропроводность (a , м²/с) и коэффициент теплоотдачи (α , Вт/(м²·К)) кольца являются постоянными, можно говорить о некотором темпе регулярного режима охлаждения m , который рассчитывается в зависимости от числа Би и безразмерной координаты ε_1 [6]:

$$m = \varepsilon_1^2 a / \delta^2; \quad (6)$$

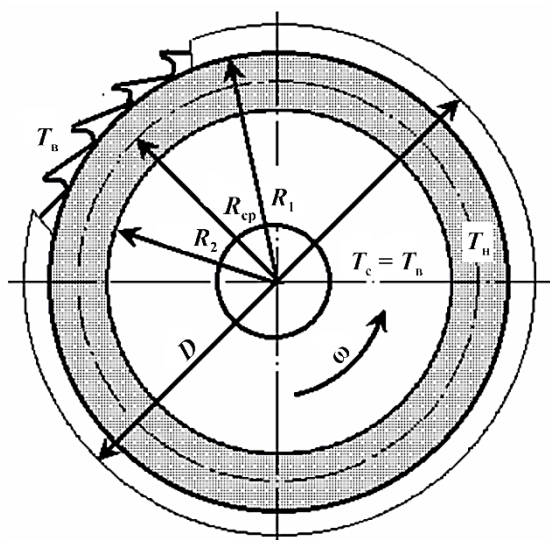


Рис. 1. Схема размещения кольца нагрева

$$\varepsilon_1 = \sqrt{Bi}; \quad (7)$$

$$Bi = \alpha\delta/\lambda. \quad (8)$$

Здесь δ – толщины диска, мм.

Используя полученное значение m , можно определить температуру кольца через время t_1 :

$$T_1 \approx T_B + T_H e^{-mt_1}, \quad (9)$$

где T_B и T_H – температура соответственно воздуха и поверхности кольца.

Формула (9) показывает приблизительное соотношение между временем охлаждения и температурой кольца. Для определения более точного значения времени охлаждения предлагается использовать аналитическое решение нестационарной задачи теплопроводности.

Если учесть, что удельное термическое сопротивление теплоотдачи $1/\alpha$ от охлаждающего воздуха к пыльному диску значительно больше удельного термического сопротивления переносу теплоты теплопроводностью внутри диска от его поверхности к центральному сечению δ/λ , т. е. $\alpha \ll \lambda/\delta$ при $\delta \approx 0,05\sqrt{2R_1}$ (R_1 – радиус окружности межзубовых впадин, м), то нагретое кольцо диска можно рассматривать в качестве термически тонкого тела. В каждый момент времени температура T_1 внутри такого тела успевает выровняться за счет интенсивного переноса теплоты теплопроводностью. Значение температуры T_1 зависит только от времени t и не зависит от координат [5].

Количество теплоты, отданное кольцом за время dt :

$$dQ_o = -c_p \rho V dT, \quad (10)$$

где c_p – удельная теплоемкость материала диска пилы, Дж/(кг·К);

ρ – плотность материала диска, кг/м³;

V – объем кольца нагрева пыльного диска, ограниченного окружностями с радиусами R_1 и R_2 , м³.

Эта теплота одновременно поступает к окружающему воздуху с температурой T_B от поверхности кольца, имеющей температуру T_H :

$$dQ_{II} = 2\alpha F(T_H - T_B)dt. \quad (11)$$

Исходя из закона сохранения энергии

$$dQ_{II} = dQ_o = 2\alpha S(T_H - T_B)dt = -c_p \rho V dt. \quad (12)$$

После преобразования получаем

$$dt = -\frac{c_p \rho b}{2\alpha} \frac{dT}{T - T_B}; \quad (13)$$

$$t = -\frac{c_p \rho c b}{2\alpha} \int \frac{dT}{T_H - T_B} = -\frac{c_p \rho c b}{2\alpha} \ln|T_H - T_B| + C. \quad (14)$$

Здесь b – толщина диска, м;

C – постоянная интегрирования.

При начальных условиях $t = 0$ рассчитаем время охлаждения кольца до температуры T_1 :

$$t = -\frac{c_p \rho_c b}{2\alpha} \ln \frac{T_1 - T_B}{T_H - T_B}. \quad (15)$$

Анализ формулы (15) показал, что при постоянных (не изменяющихся в процессе пиления) параметрах дисковой пилы и регистрируемом температурном перепаде доминирующее влияние на время охлаждения оказывает теплоотдача. Коэффициент теплоотдачи α зависит от многочисленных факторов (физические свойства охлаждающей среды, скорость движения, направление охлаждающего и теплового потоков, состояние поверхности диска и т.д.), учесть их все в полной мере практически невозможно. В связи с этим коэффициент α либо определяют по эмпирическим формулам, которые получают при обработке опытных данных на основе теории подобия, либо используют выбранный непосредственно по опытным данным для аналогичных случаев.

В целях упрощения устанавливалось примерное среднее значение коэффициента $\bar{\alpha}$ при конвективном теплообмене для сечения диска, совпадающего с окружностью внутри кольца нагрева радиусом R_{cp} :

$$\bar{\alpha} = \lambda_B \bar{Nu} / 0,9R_1, \quad (16)$$

где λ_B – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К);

\bar{Nu} – среднее значение числа Нуссельта для турбулентного режима [6],

$$\bar{Nu} = 0,037 Re^{0,8} Pr_B^{0,43} (Pr_B / Pr_c)^{0,25}; \quad (17)$$

Re – число Рейнольдса,

$$Re = \frac{0,81\omega R_1^2}{\nu_B}; \quad (18)$$

ω – угловая скорость пильного диска, c^{-1} ;

ν_B – вязкость воздуха, m^2/c ;

Pr_B, Pr_c – числа Прандтля соответственно для воздуха и стали.

Если учитывать, что теплообмен от пильного диска имеет сложный характер, т. е. одновременно с конвекцией присутствует теплоотдача излучением поверхности кольца нагрева, то в формуле (15) должен быть принят суммарный коэффициент теплоотдачи. Но предварительные расчеты показали, что ввиду малости площади кольца F (до $0,1 m^2$) и температуры нагрева (до $70^\circ C$) коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{и}$ не превышает 1 % от $\bar{\alpha}$, поэтому в инженерных расчетах его не учитывали.

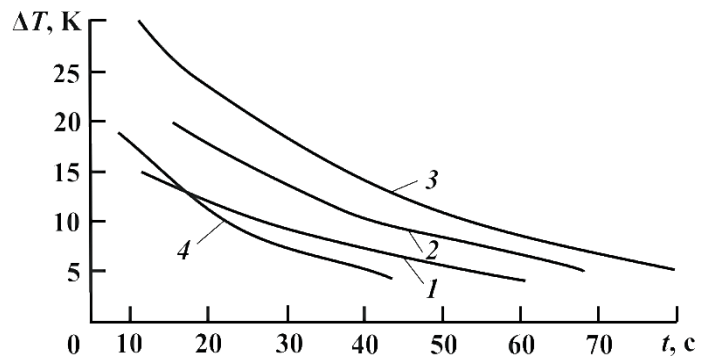
Реализация представленной математической модели была выполнена для круглопильного станка Ц6-2 со следующими входными параметрами: частота вращения пильного вала – 2900 об/мин ($\omega = 304 c^{-1}$), диаметр пилы 400 мм, толщина пилы – 2,8 мм, высота зубьев – 15 мм, материал пилы – сталь низколегированная хромованадиевая 9ХФ ($\rho = 7790 kg/m^3$, $c_p = 486 Дж/(кг·К)$, $\lambda_c = 52,3 Вт/(м·К)$, $Pr_c = 1,75$ [4]), температура воздуха – $20^\circ C$ ($\lambda_B =$

$= 0,0259 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\nu_{\text{в}} = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\text{Pr}_{\text{в}} = 0,7$). Результаты расчетов представлены в таблице.

$T_{\text{н}} - T_{\text{в}}$ К	$T_1 - T_{\text{в}}$	t , с	$T_{\text{н}} - T_{\text{в}}$ К	$T_1 - T_{\text{в}}$	t , с	$T_{\text{н}} - T_{\text{в}}$ К	$T_1 - T_{\text{в}}$	t , с
20	15	10,9	30	20	15,1	40	30	10,9
	10	26,4		15	26,3		25	17,0
	5	52,9		10	41,2		20	26,4
	4	61,0		5	68,1		15	37,4
							10	52,9
						5	79,4	

Для оценки достоверности математической модели реальному процессу были проведены экспериментальные исследования. Начальный температурный перепад составил 28 К, температуру кольца нагрева измеряли ручным инфракрасным пирометром CONDTRON IR-T2.

Рис. 2. Влияние времени охлаждения t на температурный перепад ΔT : 1 – 3 – расчетные (теоретические) кривые соответственно для $T = 20, 30$ и 40 К; 4 – экспериментальная кривая



На рис. 2 представлено изменение температуры кольца нагрева пильного диска (температурный перепад) от времени охлаждения. Как видно из рис. 2, скорость охлаждения несколько (на 6...8 %) выше расчетной. Это объясняется влиянием некоторых свойств охлаждающей среды и материала диска, которые не учитывает предложенная модель.

Таким образом, представленная модель и результаты могут быть использованы для определения времени межторцовых разрывов в целях повышения работоспособности круглопильных станков при продольной распиловке древесины [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санев В.И. Обработка древесины круглыми пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 232 с.
2. Соловьев В.В., Михайлова А.Р. Расчет на прочность дереворежущих пильных инструментов на стадии разрушения // Лесн. журн. 1983. № 6. С. 62–67. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Стахивев Ю.М.* Работоспособность круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 384 с.
4. Теплопроводность твердых тел: справ. / А.С. Охотин, Р.П. Боровикова, Т.В. Нечаева, А.С. Пушкарский; под ред. А.С. Охотина. М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.
5. Теплотехника: учеб. для вузов / А.П. Баскаков [и др.]. 2 изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.
6. *Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.* Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство МЭИ, 2005. 550 с.

Поступила 23.01.12

A.N. Galashev, M.A. Khviyuzov

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Time Calculation of Circular Saw Cooling at Idle Speed

The problem of saw blade cooling under idling is considered; calculation of time for temperature drop change depending on the heat transfer coefficient is proposed.

Key words: circular saw, temperature drop, cooling time, heat transfer coefficient, pyrometer, mathematical model.
