

РЕЖИМЫ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ ПО ТЕПЛОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛА ЛЕЗВИЙ ИНСТРУМЕНТА

Щепочкин С. В., Пашков В. К.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» Министерства образования и науки РФ. Екатеринбург, Россия (620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37), e-mail: art-sit@yandex.ru

Проведен теплофизический анализ процесса резания древесины круглыми пилами. Учитывались при назначении режима пиления по теплостойкости материала лезвий режущей части пилы: тепловая мощность в зоне их контакта с заготовкой, температура резания, коэффициенты теплоотдачи режущей части пилы, тепловая стойкость и основные технологические факторы процесса резания. Установлена существенная зависимость скорости подачи от температуры теплостойкости материала зуба пилы. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению среднего значения коэффициента теплоотдачи зуба, распределению температуры по его высоте и зависимости температуры резания от мощности резания. Значения коэффициентов теплоотдачи зубьев пилы определены методом полного факторного эксперимента. Разработаны формулы для расчета скорости подачи в круглопильных станках с учетом температуры резания для продольного и поперечного пиления древесины. Применение режимов пиления круглыми пилами по теплостойкости материала инструмента позволит уменьшить аварийный расход круглых пил, оптимизировать режимы пиления, снизить затраты на подготовку инструмента.

Ключевые слова: режим пиления, температура резания, теплостойкость, методика назначения скорости подачи.

WOOD CUTTING MODES IN CIRCULAR SAWING MACHINES DEPENDING ON HEAT RESISTANCE OF THE MATERIAL OF THE TOOL EDGES

Shchepochkin S. V., Pashkov V. K.

The Ural State Forest Engineering University, Russia, Yekaterinburg, e-mail: art-sit@yandex.ru

The heatphysical analysis of wood cutting process by circular saws has been carried out. The thermal capacity in a contact zone of saw with a work piece, cutting temperature, heatreturn factors of cutting part of saw, thermal firmness and the major technology factors of cutting process were taken in account in the appointment of wood cutting modes depending on heat resistance of edges material of the cutting part of the saws. Essential dependence of feeding speed of heat resistant temperature of a saw tooth material established. The results of pilot studies on determination of average value of tooth heatreturn factor, the temperature distribution on its height and dependence of cutting temperature on cutting capacity are given. Heatreturn factors values of saw teeth are defined by a method of complete factorial experiment. Formulas are developed for calculation of giving speed in circular saw machines taking into account cutting temperature for a longitudinal and cross-section cutting of wood. Application of cutting modes by circular saws on heat resistance of a material of the tool will allow to reduce an emergency expense of round saws, to optimize cutting modes, to lower costs of tool preparation.

Key words: cutting modes, cutting temperature, calculation method of feeding speed.

Введение

Режим пиления считается оптимальным, если удовлетворяет принятому критерию оценки. Для круглопильных станков таким критерием является максимальная производительность (или максимальная скорость подачи заготовки в станке). Ряд факторов процесса пиления накладывает технические ограничения на скорость подачи: шероховатость обработки, емкость впадины зубьев, мощность привода, частота вращения пильного вала и устойчивость диска пилы. Эти ограничения учитываются в «Руководящих технических материалах

по определению режимов пиления древесины круглыми пилами» РТМ [4]. Среди перечисленных ограничений наибольший вес имеют те ограничения, которые вызываются наличием неравномерного нагрева диска пилы по радиусу [6, 7] и температурой резания [1, 7]. Температура лезвия зуба пилы (температура резания) – еще один важный параметр процесса резания. Температура лезвия может достигать значений 400–1000 °С [1], превышающих предел теплостойкости материала лезвия, что приводит к снижению его твердости и преждевременному отказу в работе пилы. Ограничение скорости подачи по допустимой температуре лезвия для включения в РТМ требует дополнительных исследований теоретического и экспериментального характера по температурным полям зуба в зависимости от мощности, затраченной на резание.

Температура резания

Зависимость температуры резания от мощности резания рассмотрена в работе [7] и определяется выражением:

$$t_0 = \frac{\beta_n N_{рез} K_1}{z \alpha_z + K_2 \alpha_p}, \quad (1)$$

где β_n – коэффициент, учитывающий периодизацию процесса резания;

$N_{рез}$ – мощность резания, Вт;

$K_1 = 0,1 \dots 0,45$ – коэффициент доли мощности на резание, идущей на нагрев инструмента;

z – число зубьев пилы;

α_z – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы, Вт/°С;

α_p – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска, Вт/°С;

K_2 – коэффициент, равный отношению температуры на периферии диска (окружности межзубовых впадин) к температуре резания, $K_2 = 0,025 \dots 0,1$.

Коэффициент β_n , учитывающий периодизацию процесса резания определяется из выражения:

$$\beta_n = \frac{(\varphi_{вых} - \varphi_{вх})}{360}, \quad (2)$$

где $\varphi_{вх}$, $\varphi_{вых}$ – углы входа зуба в распиливаемый материал и выхода из него, град. Для практических расчетов рекомендуется принять значения коэффициентов $K_1 = 0,3$; $K_2 = 0,05$.

Расчёт среднеинтегральных коэффициентов α_z и α_p подробно рассмотрен в работах [5] и [6] соответственно.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы, Вт/°С, определяется из выражения [6]:

$$\alpha_z = 10^{-8} B^{0,7257} \beta^{0,5063} \alpha_{CP}^{0,6385} \beta_1^{0,0715} a^{0,0755} (0,014h^3 - 1,82h^2 + 82,79h + 20,05), \quad (3)$$

где B – толщина зуба (пильного диска), мм;

β – угол заострения зуба, град.;

α_{CP} – средний коэффициент теплоотдачи зубьев пил, Вт/(°С м²);

β_1 – вспомогательный угол, град., $\beta_1 \approx 165^\circ$ – для зубьев с ломаной задней поверхностью, $\beta_1 = 180^\circ$ – для зубьев с прямолинейной задней поверхностью;

a – длина задней грани зуба, мм, $a \approx 0,025D$ – для зубьев с ломаной задней поверхностью, $a \approx t$ – для зубьев с прямолинейной задней поверхностью;

h – высота зуба в направлении биссектрисы угла заострения β , мм;

γ – передний угол, град.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска, Вт/°С, без принудительного охлаждения определяется по формуле [6]:

$$\alpha_p = 1,88 \cdot 10^{-3} D^{0,96} V^{0,426} B^{0,471}, \quad (4)$$

где D – диаметр пилы, мм;

V – скорость резания, м/с;

B – толщина диска, мм.

Оценка значения коэффициента теплоотдачи режущей части пилы α_{CP}

Исследования значения среднего коэффициента теплоотдачи зубьев пил в формуле (3) α_{CP} , Вт/(°С м²) проводились методом полного факторного эксперимента ПФЭ 2^K на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 1. Диапазоны варьирования переменных факторов в эксперименте были приняты: для толщины зуба $2,2 \leq B \leq 3,6$ мм, для скорости охлаждающего воздуха $25 \leq V \leq 50$ м/с, для мощности теплового источника $10 \leq Q \leq 15$ Вт. Постоянные факторы и их уровни: угол заострения $\beta = 40^\circ$, высота зуба $h = 35$ мм, ширина контактной площадки (рисунок 2) $l_k = 3,5$ мм, материал зуба – сталь 9ХФ.

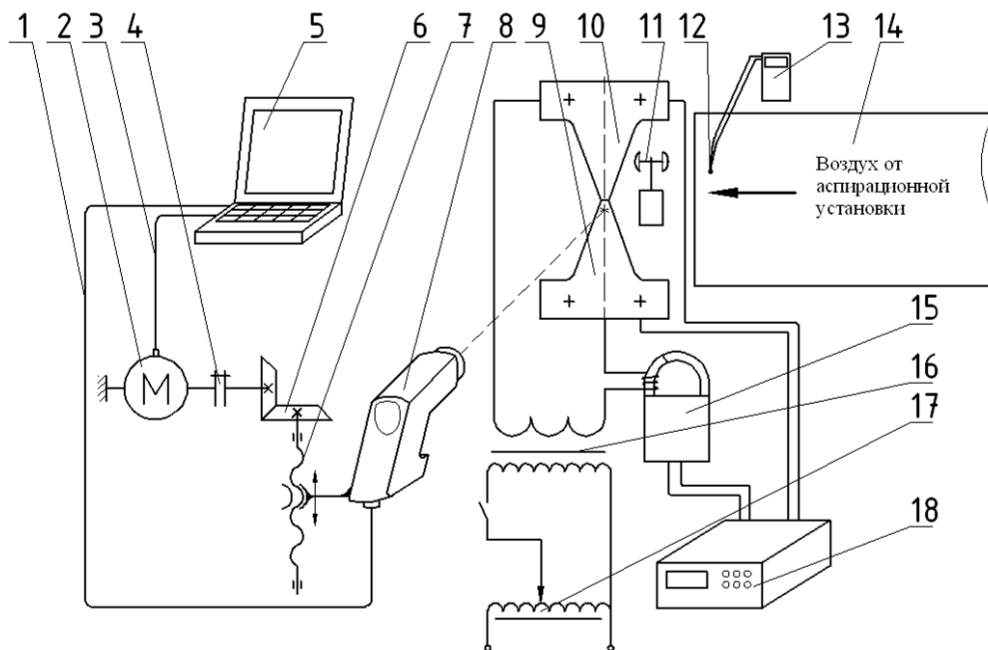


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки по определению среднего коэффициента теплоотдачи зубьев пил: 1, 3 – соединительный кабель; 2 – шаговый электродвигатель; 4 – жёсткая муфта; 5 – персональный компьютер; 6 – коническая передача; 7 – винтовая передача; 8 – инфракрасный пирометр Mikron M120; 9, 10 – исследуемые зубья пилы (модели), нижний и верхний соответственно; 11 – анемометр; 12 – термопара хромель-алюмелевая; 13 – измеритель температуры CENTER 308; 14 – патрубок от установки охлаждения; 15 – клещи токовые измерительные модели АТА-2502 (датчик Холла); 16 – трансформатор; 17 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 18 – вольтметр В7-65/2

Средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{ср}}$ рассчитывается следующим образом. По закону Ньютона–Рихмана [3] количество теплоты, передаваемой конвективным теплообменом, определяется из выражения:

$$Q = \alpha F(t - t_{\text{окр}}), \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(°С м²);
 F – площадь поверхности теплообмена, м²;
 t – температура поверхности теплообмена, °С;
 $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С.

Для определения теплоты, передаваемой зубом в окружающую среду, условно зуб пилы разбиваем на кольцевые участки радиусом x_i , с центром в точке пересечения передней и задней грани и шириной Δx (рисунок 2). Типовой график распределения температуры по высоте зуба приведен на рисунке 3.

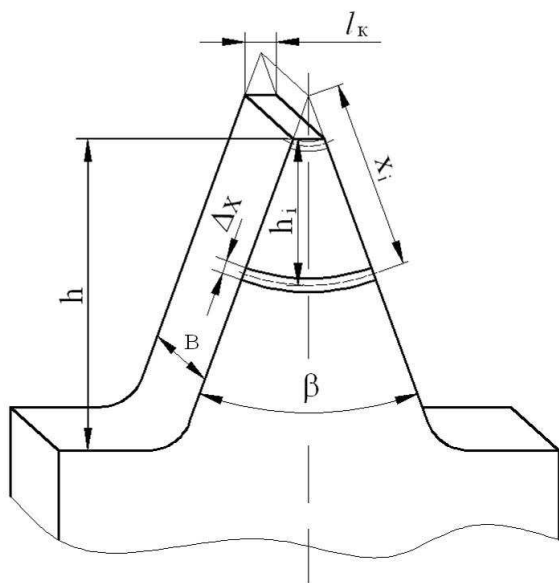


Рисунок 2. Схема разбивки зуба на кольцевые участки

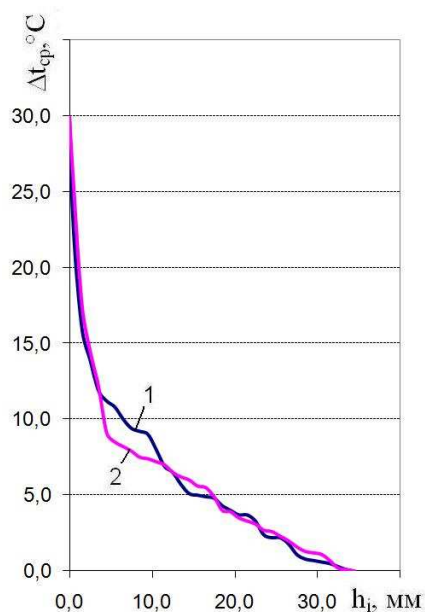


Рисунок 3. График распределения температуры по высоте зуба: 1 – верхний зуб; 2 – нижний зуб (Опыт №1: $b = 2,2$ мм, $V = 25$ м/с, $Q = 10$ Вт)

Поскольку количество выделяющейся теплоты $Q = I \cdot U$ в зоне контакта зубьев распространяется симметрично в оба зуба, то для данного случая, с учетом двух зубьев, выражение будет иметь вид:

$$Q = 2\alpha_{cp} \sum_{i=0}^n F_i \Delta t_{cpi} \quad (6)$$

где F_i – площадь поверхности теплообмена рассматриваемого участка, m^2 ;

$\Delta t_{cpi} = (t_i - t_{окр})$ – средний температурный напор рассматриваемого i -ого участка, $^{\circ}C$;

$i = 0, 1 \dots n$ – порядковый номер участка;

n – количество участков.

Средний коэффициент теплоотдачи зуба определяется по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{Q}{2 \sum_{i=0}^n F_i \Delta t_{cpi}} \quad (7)$$

По результатам эксперимента составлено уравнение регрессии, определены коэффициенты регрессии, проведена оценка значимости этих коэффициентов и адекватности математической модели.

Уравнение регрессии в натуральных обозначениях факторов имеет вид:

$$\alpha_{cp} = 538,7 + 38,7V + 13,1V \quad (8)$$

Наибольшее влияние на значение коэффициента теплоотдачи α_{cp} оказывает скорость охлаждающего воздуха V . Мощность теплового источника Q в пределах изменения фактора (от 10 до 15 Вт) существенного влияния на коэффициент теплоотдачи α_{cp} не оказывает.

Методика расчета скорости подачи по теплостойкости материала зуба пилы

Скорость подачи V_S , м/мин и мощность на резание $N_{рез}$, кВт согласно методике [4] связаны следующими выражениями [4, формулы 2.14–2.16, С. 25]. Для продольного пиления с толщиной стружки $a_c \geq 0,1$ мм:

$$V_{S(N)} = \frac{6 \cdot 10^4 N_{рез} - \frac{a_p p b_1 z n}{10^3 \sin \theta_{cp}}}{a_n a_w a_b H kb + \alpha_T H}; \quad (9)$$

где $N_{рез}$ – мощность на резание одной пилой, кВт;

a_n – коэффициент, учитывающий породу древесины, для сосны $a_n = 1$, для березы $a_n = 1,25$;

a_w – коэффициент, учитывающий влажность древесины; при влажности 8 – 12% $a_w = 1,0$; при 25 – 30% $a_w = 1,08$;

a_b – коэффициент, учитывающий вид пиления;

$a_b = 1,1$ – для попутного резания, $a_b = 1,0$ – для встречного;

a_p – коэффициент, учитывающий влияние затупления; для острых резцов $a_p = 1,0$; для затупленных $a_p = 2,0$;

$a_{\delta,\phi}$ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания и угла боковой заточки на силу резания при поперечном пилении;

p – единичная касательная сила по задней грани, Н/мм;

θ_{cp} – угол между векторами скорости резания и подачи;

l_k – длина дуги контакта зуба с древесиной, мм;

b_1 – ширина стружки, мм (для разведенных зубьев равна толщине пилы $b_1 = B$; для плоских $b_1 = b$);

b – ширина пропила, мм;

n – частота вращения пилы, мин⁻¹;

k, k_{μ} – касательное давление на стружку, Н/мм² (для толщины стружки $a_c \geq 0,1$ мм и для толщины стружки $a_c < 0,1$ мм соответственно);

α_T – коэффициент интенсивности трения стружки о стенки пропила и прессования её во впадине зуба, Н/мм² ($\alpha_T = 0,71$ Н/мм² – для разведенных зубьев; $\alpha_T = 0,57$ Н/мм² – для плоских зубьев);

H – высота пропила, мм.

Подставив мощность на резание $N_{рез}$ из формулы (1) в выражение (9), получим формулу для расчета максимально допустимой скорости подачи, м/мин, по теплостойкости материала лезвий:

при продольном пилении с толщиной стружки $a_c \geq 0,1$ мм:

$$V_{S(t)} = \frac{60[t_0](z\alpha_z + K_2\alpha_\rho) \frac{a_\rho p b_1 z n}{a_n a_w a_b H K_1 \beta_n} - \frac{a_\rho p b_1 z n}{10^3 \sin \theta_{cp}}}{kb + \alpha_T H}; \quad (10)$$

при продольном пилении с толщиной стружки $a_c < 0,1$ мм:

$$V_{S\mu(t)} = \frac{60[t_0](z\alpha_z + K_2\alpha_\rho) \frac{(a_\rho - 0,8) p b_1 z n}{a_n a_w a_b H K_1 \beta_n}}{k_\mu b + \alpha_T H}; \quad (11)$$

при поперечном пилении:

$$V_{S(t)} = \frac{2,6([t_0](z\alpha_z + K_2\alpha_\rho))^{1,1765}}{(a_n a_w a_{\delta,\varphi} a_\rho H K_1 \beta_n)^{1,1765} b^{0,59} (zn)^{0,176}}, \quad (12)$$

где $[t_0]$ – допускаяемая температура нагрева лезвий инструмента (теплостойкость), °С (таблица 1);

Таблица 1. Теплостойкость инструментальных материалов, °С [2]

Стали		Твердые сплавы			Эльбор	Алмаз
углеродистые и легированные	быстрорежущие	вольфрамокобальтовые	безвольфрамовые	минералокерамические		
160–400	550–700	800–1000	800–1000	1200	1400	700–800

Заключение

1. Режимы пиления древесины в круглопильных станках по теплостойкости материала лезвий инструмента рекомендуются в виде дополнения в «Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами», в качестве одного из ограничений.

2. Максимально допустимая скорость подачи выбирается как наименьшая из рассчитанных по пяти ограничениям: по заполнению впадин зубьев; шероховатости поверхности распиловки; мощности привода механизма резания; динамической устойчивости пилы; теплостойкости материала зубьев пил.

3. Критерий теплостойкость, при расчете скорости подачи, становится ограничивающим при увеличении высоты пропила и уменьшении числа зубьев.

4. Значения коэффициентов теплоотдачи зубьев пил α_{cp} в пределах исследованных факторов изменяются от 914 до 1384 Вт/(°С м²).

5. Увеличение скорости воздушного потока позволяет увеличить значение коэффициента теплоотдачи на производственных частотах вращения круглых пил.

Список литературы

1. Лейхтлинг Р. А. Исследование нагрева дереворежущего инструмента в процессе резания: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Красноярск, 1967 – 23 с.
2. Моисеев А. В. Износостойкость дереворежущего инструмента. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 112 с.
3. Михеев М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
4. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами / Стахийев Ю. М., Пашков В. К. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. – 74 с.
5. Пашков В. К., Щепочкин С. В. О конвективном теплообмене режущей части пилы при резании // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2006. – С. 138–143.
6. Пашков В. К., Щепочкин С. В. Определение температурных перепадов плоских круглых пил // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. трудов по итогам международной научно-технической конференции. Вып. 14. – Брянск: БГИТА, 2006. – С. 147–152.
7. Щепочкин С. В. Об оценке температуры резания при пилении круглыми пилами // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды международного евразийского симпозиума / Под ред. И. Т. Глебова. – Екатеринбург, 2006. – С. 143–146.

Рецензенты:

Гороховский Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета, г. Екатеринбург.

Уласовец Вадим Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета, г. Екатеринбург.