

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аганин В. И. Исследование скалывающих напряжений в узлах деревянных конструкций при приложении усилий на части торца сопрягаемых элементов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.—М., 1976.—21 с. [2]. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. / Под ред. Б. Н. Уголева.—М.: Лесн. пром-сть, 1989.—296 с. [3]. ГОСТ 21554.7—78 (СТ СЭВ 2022—79). Пиломатериалы и заготовки. Метод определения предела прочности при смятии поперек волокон.—Введ. 01.01.80.—М., 1978.—5 с. [4]. Иванов Ю. М. О деформациях и напряжениях в древесине как неоднородном материале: Тр. Ин-та леса.—М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.—Т. IV.—С. 195—218. [5]. Иванов Ю. М. Основные принципы испытания клееных деревянных конструкций // Деревообработ. пром-сть.—1974.—№ 2.—С. 10—12. [6]. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. Основные уравнения. Плоская теория упругости. Кручение и изгиб.—М.: Изд-во АН СССР, 1954.—647 с. [7]. Орлович Р. Б. Решение плоской контактной задачи для анизотропного тела МКЭ // Конструкции из дерева и пластмасс.—Л.: ЛИСИ, 1983.—С. 91—96. [8]. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК.—М.: Стройиздат, 1981.—40 с. [9]. СНиП II-25—80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования.—М.: Стройиздат, 1982.—65 с. [10]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.—М.: Лесн. пром-сть, 1979.—246 с. [11]. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США / Пер. с англ. Я. П. Горелика, Т. В. Михайловой. Под ред. С. Н. Горшина.—М.: Лесн. пром-сть, 1979.—544 с. [12]. Хухрянский П. Н. Прочность древесины.—М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955.—151 с.

Поступила 1 июня 1990 г.

УДК 674.053

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАМНЫХ ПИЛ

В. В. СОЛОВЬЕВ

Архангельский лесотехнический институт

Существующие методы оценки работоспособности дереворежущих пил, основанные на детерминистических подходах по классическим теориям прочности или с учетом процесса разрушения, дают осредненные значения показателей надежности, которые не позволяют учитывать во всей полноте обширный комплекс факторов, имеющих в основном случайный характер. В связи с этим представляется необходимым решить задачу оценки надежности пил в вероятностном аспекте.

Опыт эксплуатации рамных, ленточных и круглых пил показывает [6], что возникновение аварийного состояния происходит из-за развития трещин. При этом процесс разрушения — длительный, что определяет необходимость оценки работоспособности инструмента с позиций механики разрушения. В детерминистической постановке такой подход развивался в работах [4, 6].

Условие безопасной работы пилы выглядит следующим образом:

$$l \leq \delta, \quad (1)$$

где l — длина трещины к концу периода стойкости;
 δ — толщина снимаемого при заточке слоя.

Суть соотношения (1) состоит в том, что работоспособность пилы будет обеспечена во время эксплуатации до полного ее износа с определенной вероятностью в случае, когда в любой из периодов стойкости не возникает трещины, опережающей нормальный расход пилы.

Полагая, что во все периоды стойкости создаются одинаковые условия эксплуатации с равными характеристиками рассеяния факторов, вызывающих процесс разрушения, и пренебрегая эффектом старения материала, надежность работы пилы H на всем периоде ее эксплуатации представляем в виде:

$$H = v (\delta > l). \quad (2)$$

Здесь $v (\delta > l)$ — вероятность того, что l не превысит толщину снимаемого при заточке слоя δ (вероятность безотказной работы) в любой период стойкости.

Таким образом, задача оценки надежности пилы сводится к рассмотрению одного периода стойкости и заключается либо в определении вероятностных характеристик момента времени t , при котором длина трещины в процессе роста первый раз превзойдет опасный уровень δ , либо в нахождении вероятности того, что в течение времени t процесс $l = l(t)$ ни разу не перейдет за опасный уровень. В дальнейшем δ будем рассматривать как случайную величину, а $l(t)$ — случайную функцию, определяемую комплексом случайных параметров.

Следуя работе [3], вводим понятие резерва прочности $R(t)$:

$$R(t) = \delta - l(t). \quad (3)$$

При этом под отказом понимаем переход функции $R(t)$ через нуль в область отрицательных значений. Находим характеристики распределения случайной функции $R(t)$ при отсутствии корреляционной связи между δ и $l(t)$:

$$\begin{aligned} \bar{R}(t) &= \bar{\delta} - \bar{l}(t); \\ S_R &= S_\delta + S_l. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь S_R , S_δ , S_l — дисперсии случайных величин. (Символом с черточкой обозначены математические ожидания соответствующих случайных величин).

Учитывая, что пересечения $R(t)$ допустимого уровня представляют собой редкие события, для определения их вероятности можно применить теорию выбросов. Плотность распределения выбросов в область отрицательных значений представляем следующим выражением:

$$u(0) = - \int_{-\infty}^0 p(0, \omega) \omega d\omega, \quad (5)$$

где $p(0, \omega)$ — совместное распределение плотности резерва прочности и его первой производной;

ω — среднее значение скорости изменения резерва прочности.

Так как изменение резерва прочности во времени происходит медленно, по сравнению со скоростью выбросов, то можно полагать, что функции $R(t)$ и $\omega = \omega(t)$ взаимно независимы. При этом $p(0, \omega) = p_R(0) p_\omega(\omega)$.

Функцию $\omega(t)$ определим по условию

$$\omega(t) = \frac{dR(t)}{dt} = - \frac{dl(t)}{dt}. \quad (6)$$

Следовательно, выражение (5) принимает вид

$$u(0) = p_R(0) \bar{\omega}, \quad (7)$$

где $p_R(0)$ — интегральная функция распределения резерва прочности при $t = 0$.

Находим надежность пилы с учетом вероятности в начальный момент времени:

$$H = [1 - p_R(0)] \exp \left[- \int_0^T u(0) dt \right]. \quad (8)$$

Рост трещины происходит под воздействием напряжений, обусловленных рядом факторов, основными из которых являются силы резания P_k , отжима P_n и натяжения полотна E . Первые два фактора переменные, действующие с регулярной частотой. Их можно рассматривать как поток дискретных независимых случайных воздействий. Именно эти факторы создают переменную составляющую напряженного состояния пилы и определяют рост трещины в усталостном режиме. Величину напряжений в опасной точке σ с учетом реальной геометрии зубчатой кромки можно найти методом конечных элементов [5]. Исходя из принципа независимости действия сил, имеем

$$\sigma = f_1 P_n + f_2 P_k + f_3 F, \quad (9)$$

где f_i — детерминированные коэффициенты, определенные методом конечных элементов и соответствующие конкретно взятым геометрическим параметрам зуба.

Полагая случайные величины P_n , P_k , F нормально распределенными, для σ также получаем нормальный закон распределения. Для случайной величины σ и ее дисперсии имеем

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= f_1 \bar{P}_n + f_2 \bar{P}_k + f_3 \bar{F}; \\ S_\sigma &= f_1^2 S_{P_n} + f_2^2 S_{P_k} + f_3^2 S_F. \end{aligned} \quad (10)$$

Расчетную длину трещины в момент времени t принимаем по закону скорости разрушения [2]. В исследованиях [4] показано, что для дорезающих пил в широком диапазоне длин трещин скорость их распространения наиболее полно описывается уравнением, предложенным в работе [7]. В рассматриваемом случае при малых длинах трещин возникает возможность использования более простой зависимости

$$\frac{dl}{dN} = CK^n, \quad (11)$$

где N — число циклов нагружения, в данном случае $N = t/\bar{t}$;
 \bar{t} — время цикла нагружения;
 C, n — характеристики трещиностойкости материала, определяемые по результатам лабораторных исследований ($n = 3$ для сталей 9ХФ и 9ХФМ);
 K — максимальный за цикл коэффициент интенсивности напряжений.

При малых длинах трещин коэффициент интенсивности напряжений может быть вычислен по уравнению

$$K = 1,12\sigma\sqrt{\pi l}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (11) и выполняя интегрирование, находим длину трещины в произвольный момент времени:

$$l(t) = \frac{l_0}{\left[1 - \sqrt{l_0} C (m\sigma)^{3t}/(2t)\right]^2}, \quad (13)$$

где l_0 — начальная длина трещины;
 $m = 1,12\sqrt{\pi}$.

Дисперсию случайной величины вычисляем методом статистической линеаризации:

$$S_l = \left(\frac{\partial l(t)}{\partial \sigma}\right)^2 S_\sigma, \quad (14)$$

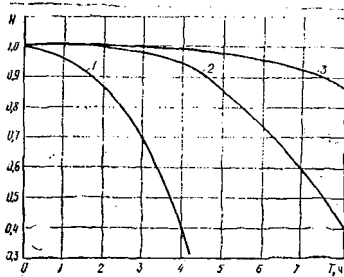
где
$$\frac{\partial l(t)}{\partial \sigma} = 3\sqrt{l(t)} C m^3 \sigma^2 t / \bar{t}. \quad (15)$$

Математическое ожидание $l(t)$ рассчитываем по формуле (13) при средних значениях параметров. Предполагая, что δ и $l(t)$ распределены по нормальному закону, имеем для резерва прочности также нормальный закон распределения. При этом временную плотность выбросов определяем по уравнению

$$u(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S_R}} \sqrt{l(t)^3} C(m\sigma)^3 \frac{1}{t} e^{-R^2/(2S_R)} \quad (16)$$

Рассмотрим пример расчета при следующих исходных данных. Параметры зуба пилы: шаг z_0 мм, высота 18 мм, задний угол 15° , угол заострения 47° . Следовательно, $f_1 = 0,096$; $f_2 = 0,235$; $f_3 = 1,620$. Начальная длина трещины принимается равной глубине риски, получаемой в процессе заточки инструмента. По нормативным данным $l_0 = 0,06$ мм, а при наблюдаемом в практике качестве подготовки пил $l_0 = 0,1$ мм. Толщина снимаемого при заточке слоя 0,2; 0,3; 0,5 мм с коэффициентом вариации на каждом уровне 10 %. Значения сил резания и отжима для различных посылок Δ взяты по данным работы [1], P_H и P_K , отнесенные к ширине полотна, и их дисперсии приведены в таблице. Номинальное натяжение полотна $F = 266$ МПа и $S_F = 707$ МПа получены экспериментально путем измерения сил натяжения полотен оборудования предприятий ассоциации «Северолесэкспорт». Характеристика трещиностойкости материала пил $C = 2,4 \cdot 10^{-11}$.

Показатели	Численные значения показателей при Δ/H				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
P_H , кН/м	24,2	42,4	60,5	83,3	111,5
P_K , кН/м	65,8	125,6	187,4	250,9	356,8
S_{P_H} , (кН/м) ²	5,9	4,4	235	367	1189
S_{P_K} , (кН/м) ²	49	423	529	784	1273



Зависимость надежности рамных пил H от продолжительности работы T при различных значениях параметров: 1 — $l_0 = 0,1$ мм, $\delta = 0,3$ мм (мерзлая древесина); 2 — $l_0 = 0,1$ мм, $\delta = 0,5$ мм; 3 — $l_0 = 0,06$ мм, $\delta = 0,5$ мм

Результаты расчета представлены на рисунке. Они свидетельствуют о том, что при нормативных значениях шероховатости затачиваемых поверхностей надежность пилы составляет не менее 95 % в течение 7 ч эксплуатации ($\delta = 0,5$ мм), а при некачественной обработке поверхностей ($l_0 = 0,1$ мм) и прочих равных условиях лишь в течение 4 ч. Уменьшение толщины снимаемого слоя при заточке во всех случаях приводит к снижению надежности работы пилы. Работоспособность пилы с надежностью 95 % ($\delta = 0,3$ мм) сохраняется только 2,5 ч. По мере увеличения посылки Δ в 1,6 раза и прочих равных условиях через 3 ч работы вероятность отказов возрастает на 6 %, а через 4 ч — на 13 % (см. таблицу). При пилении древесины в зимний период возрастают усилия резания и надежность пил резко снижается. Так, при $l_0 = 0,1$ мм и $\delta = 0,3$ мм через 2 ч работы вероятность отказов составляет 14 %, а через 3 ч — 42 %. Это подтверждено практикой эксплуатации пил.

Итак, работоспособность пилы с обеспеченностью 95 % в зимний период в течение 1/3 смены может быть достигнута либо увеличением толщины слоя стачивания до 0,5 мм, либо повышением качества заточки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Боровиков Е. М. Влияние величины подачи на силы резания при распиловке древесины на лесопильных рамах // Лесн. журн.—1970.— № 4.— С. 65—71.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Ковчик С. Е. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов.— Киев: Наук. думка, 1977.— 279 с. [3]. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность.— М.: Стройиздат, 1987.— 240 с. [4]. Соловьев В. В., Михайлова А. Р. Расчет на прочность дереворежущих пильных инструментов по стадии разрушения // Лесн. журн.—1983.— № 6.— С. 62—67.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Соловьев В. В., Михайлова А. Р., Семенова Л. П. К вопросу исследования напряженного состояния зубьев пильных инструментов методом конечных элементов // Лесн. журн.—1977.— № 6.— С. 87—91.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Соловьев В. В., Моргачев А. М., Михайлова А. Р. Сравнение работоспособности рамных пил из сталей 9ХФ и 9ХФМ // Деревообработ. промь.—1983.— № 6.— С. 5—6. [7]. Черпанов Г. П. Механика хрупкого разрушения.— М.: Наука, 1974.— 640 с.

Поступила 13 апреля 1990 г.

УДК 674.055 : 621.922.024

К ВОПРОСУ О ЗАТУПЛЕНИИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЛЕНТ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

А. А. КОРОБОВСКИЙ

Архангельский лесотехнический институт

Затупление шлифовальных лент при обработке древесины — результат истирания и осыпания абразивных зерен, а также засаливания рабочей поверхности шкурки. Анализ предыдущих работ и проведенные исследования позволяют установить, что первые две причины оказывают незначительное влияние на стойкость шлифовальных лент. Основную роль в снижении производительности шлифования играет засаливание. При ленточном шлифовании древесины на первом этапе работы происходит осыпание слабо закрепленных зерен с поверхности шкурки, наблюдаются максимальные производительность шлифования и температура в зоне обработки. Именно в этот период наиболее интенсивно забивается стружкой межзерновое пространство шкурки, что приводит к вытеснению абразивных зерен из обрабатываемого материала и довольно резкому снижению производительности. Затем поступление стружки в межзерновое пространство уменьшается, снижаются скорость вытеснения зерен из древесины, производительность шлифования и скорость засаливания (см. рисунок). В дальнейшем при неизменном давлении прижима процесс стабилизирован, и, в связи с самоочисткой шкурки, высота засаливания устанавливается на определенном для данного режима уровне.

Зависимость производительности шлифования a (кривая 1) и высоты засаливания h (кривая 2) от времени шлифования τ

