

УДК 621.935

И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Коваленко Олег Леонидович родился в 1973 г., окончил в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры транспортных машин АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области совершенствования транспортных средств и лесопильного оборудования и инструмента.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ**

По результатам исследований безотказной работы ленточной пилы с использованием имитационного моделирования (компьютерный эксперимент) установлено большое влияние на надежность работы пилы времени между переточками, коэффициента, учитывающего качество обработки поверхности впадин между зубьями и радиальное биение шкивов.

Ключевые слова: усталость, прочность, напряжение, надежность, концентрация напряжений, компьютерное моделирование.

Наблюдениями установлено [5], что разрушение ленточных пил в процессе эксплуатации носит усталостный характер. Долговечность пил зависит от многих случайных факторов, значения которых распределены в некотором диапазоне. Традиционная детерминированная методика расчета позволяет учесть влияние только среднего значения испытываемых величин. Результат расчета – значение коэффициента запаса прочности n :

$$n = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{пред}}$ – предельные напряжения, которые может выдержать пила в процессе эксплуатации, МПа;

σ_{\max} – максимальные напряжения, которые испытывает пила в процессе эксплуатации, МПа.

У обычных ленточных пил (не оснащенных пластинками из твердых сплавов) в качестве $\sigma_{\text{пред}}$ используют предел ограниченной выносливости σ_{-1N} , МПа [5]:

$$\sigma_{-1N} = 1665 - 204 \lg \frac{120000 t v}{L_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где t – продолжительность работы пилы между переточками, мин;
 v – скорость движения пилы, м/с;
 $L_{\text{п}}$ – длина пилы.

Максимальные напряжения σ_{\max} определяют по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{k_3}{\beta} \sigma_a + \psi \sigma_m, \quad (3)$$

где k_3 – эквивалентный коэффициент концентрации напряжений при совместном действии изгиба и растяжения;
 σ_a – амплитуда цикла нагружения пилы, МПа;
 β – коэффициент, учитывающий влияние качества обработки поверхности впадин между зубьями;
 ψ – коэффициент, зависящий от принятого для расчета типа схематизированной диаграммы предельных напряжений и от материала пилы;
 σ_m – среднее напряжение цикла нагружения пилы, МПа.

После подстановки (2) и (3) в выражение (1) получим

$$n = \frac{\sigma_{-1N}}{\frac{k_3}{\beta} \sigma_a + \psi \sigma_m}. \quad (4)$$

Считаем [5], что если $n \geq 2$, то пила удовлетворяет условию усталостной прочности. Однако коэффициент запаса прочности сам по себе не является объективным показателем надежности работы изделия, хотя эти два понятия взаимосвязаны. Для оценки надежности больше подходит вероятность безотказной работы, а расчет необходимо производить в вероятностном аспекте с учетом рассеяния входящих в формулы параметров.

Определить вероятность безотказной работы ленточной пилы можно с помощью аналитического расчета, связанного с определением квантили нормального распределения [4, 6], или воспользоваться методикой компьютерного моделирования [3].

Цель данной работы – используя модель, разработанную в системе имитационного моделирования GPSS World фирмы «Minuteman Software», проанализировать влияние некоторых факторов на усталостную прочность ленточных пил.

Для реализации модели необходимо рассмотреть параметры, входящие в формулу (4).

Эквивалентный коэффициент концентрации напряжений при совместном действии изгиба и растяжения определяют по формуле

$$k_3 = \frac{k_{\text{и}} \sigma_{\text{и}} + k_{\text{н}} \sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{и}} + \sigma_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{и}}, k_{\text{н}}$ – коэффициенты концентрации напряжений соответственно при изгибе и растяжении;

$\sigma_{\text{и}}, \sigma_{\text{н}}$ – напряжения от изгиба пилы на шкивах и ее натяжения, МПа.

Напряжения от изгиба пилы на шкивах

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{s}{D} E. \quad (6)$$

Здесь s – толщина пилы, мм;

E – модуль упругости материала пилы, МПа;

D – диаметр шкивов, мм.

Напряжения от натяжения пилы

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{N}{b s}. \quad (7)$$

Здесь N – сила натяжения пилы, Н;

b – ширина полотна пилы, мм.

Амплитуда цикла нагружения для наружных и внутренних слоев пилы

$$\sigma_{\text{а}} = \frac{\sigma_{\text{и}}}{2} + \Delta \sigma_{\text{н}}, \quad (8)$$

где $\Delta \sigma_{\text{н}}$ – изменение напряжений, МПа, от натяжения пилы во время ее работы, вызванное радиальным биением ободов шкивов,

$$\Delta \sigma_{\text{н}} = \frac{\Delta L}{L} E. \quad (9)$$

Здесь ΔL – удлинение (укорочение) пилы, равное величине радиального биения шкивов, мм;

L – расстояние между осями шкивов, МПа.

Коэффициент ψ для принятого вида схематизированной диаграммы определяют по формуле

$$\psi = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\text{в}}}, \quad (10)$$

где $\sigma_{-1}, \sigma_{\text{в}}$ – пределы выносливости и прочности материала пилы, МПа.

Средние напряжения цикла для наружных (наиболее нагруженных) слоев ленточной пилы

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{2} + \sigma_n. \quad (11)$$

Для определения средних значений и стандартных отклонений пределов выносливости σ_{-1} и σ_{-1N} , а также коэффициентов концентрации напряжений k_n и k_n необходимо проведение специальных экспериментальных исследований.

Расчеты производили при следующих исходных факторах: диаметр шкивов 1250 мм, толщина пилы 1,2 мм, ширина пилы 125 мм, скорость резания 40 м/с, расстояние между осями шкивов 2000 мм; материал пилы – сталь 9ХФ, модуль упругости – $2,15 \times 10^5$ МПа, предел прочности – 1500 МПа, предел выносливости – 430 МПа; коэффициент концентрации напряжений при изгибе – 1,26, при растяжении – 1,65 [1]. Сила натяжения пилы равна 15 кН, что соответствует напряжениям растяжения 100 МПа. Коэффициенты вариации всех случайных величин ($N, \Delta L, \beta, \sigma_{-1N}, \sigma_{-1}, \sigma_b, k_n, k_n$) приняты равными 0,1, коэффициент запаса для неучтенных факторов – 1,2.

Исследовалась надежность работы ленточной пилы в зависимости от трех факторов: продолжительность работы пилы между переточками (t); качество обработки поверхности впадин между зубьями (коэффициента β), радиальное биение шкивов (ΔL). Результаты приведены в таблице.

Зависимость вероятности безотказной работы ленточной пилы от исследуемых факторов

Порядковый номер опыта	t , мин	β	ΔL , мм	P
1	240	1,0	0,4	1,000
2			0,6	1,000
3			0,8	0,998
4		0,8	0,4	0,999
5			0,6	0,990
6			0,8	0,960
Окончание табл.				
Порядковый номер опыта	t , мин	β	ΔL , мм	P
7	320	0,6	0,4	0,947
8			0,6	0,798
9			0,8	0,565
10		1,0	0,4	1,000
11			0,6	0,999
12			0,8	0,994
13		0,8	0,4	0,998
14			0,6	0,979
15			0,8	0,916

16		0,6	0,4	0,889
17			0,6	0,678
18			0,8	0,402
19	480	1,0	0,4	1,000
20			0,6	0,999
21			0,8	0,990
22		0,8	0,4	0,994
23			0,6	0,965
24			0,8	0,826
25		0,6	0,4	0,828
26			0,6	0,569
27			0,8	0,293

Из таблицы видно, что при $\beta = 0,8 \dots 1,0$, что соответствует подшлифованной (нижний предел) и отполированной (верхний предел) поверхности межзубовой впадины, обеспечивается надежная работа пилы в течение 8 ч. Величина радиального биения шкивов тоже оказывает большое влияние на надежность пилы. При грубой обработке межзубовых впадин ($\beta = 0,6$) и радиальном биении 0,8 мм (на практике бывает и больше [1, 2]) вероятность разрыва пилы велика даже при малой продолжительности работы.

Выводы

На надежность работы ленточных пил оказывают влияние их прочность и качество подготовки, величина и характер действующих сил, продолжительность работы, техническое состояние станка. Для увеличения надежности необходимо: улучшать сталь пилы в целях повышения сопротивления усталости и стабилизации механических свойств, обеспечивать высокое качество заточки, правильно оформлять и обрабатывать межзубовые впадины, поддерживать биение шкивов в пределах установленной нормы, не допускать налипания на шкивы смолы и опилок, строго выполнять рекомендации по соотношению толщины пилы и диаметра шкивов, натяжению пилы.

Предложенная методика расчета вероятности безотказной работы средствами имитационного моделирования (методом статистических испытаний или компьютерного эксперимента) позволяет оценить влияние различных факторов, а также их рассеяния на надежность ленточных пил и разработать рекомендации по ее повышению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселков В.И.* Влияние технического состояния ленточнопильных станков на динамическую систему механизма резания / Веселков В.И. // *Деревообработ. пром-сть.* – 1990. – № 3. – С. 6 – 9.
2. *Веселков В. И.* Теория и конструкции ленточнопильных станков: учеб. пособие / В.И. Веселков. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1992. – 84 с.
3. *Иванкин И.И.* Расчет деталей и узлов с учетом рассеяния значений пара-

метров с использованием системы имитационного моделирования GPSS / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2003. – № 6. – С. 53 – 57. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Прокофьев Г.Ф. Долговечность пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэроэстатическими направляющими / Г.Ф. Прокофьев // Деревообр. пром-сть. – 1991. – № 5. – С. 8-10

5. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.

6. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1989. – № 6. – С. 81 – 85. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.11.03.

I.I. Ivankin, G.F. Prokofjev, O.L. Kovalenko

Theoretical Research of Fatigue Resistance of Band Saws

It is found out based on the research results of fault-free band saw using the simulation (computer experiment) that big influence on the saw work reliability is provided by the time between regrinding and coefficient taking into account the quality of surface treatment of tooth space and radial pulley beat.
