

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛОТНА ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ

THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE FACTOR ON THE STRESS STATE OF THE BAND SAW BLADE

Киселев С.В., Блохин А.В., Лукаш В.Т.

(Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь)

Kiselev S.V., Blakhin A.V., Lukash V.T.

(Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus)

В работе произведен теоретический расчет распределения температуры нагрева по ширине полотна ленточной пилы. Показано влияние неравномерности нагрева на напряженное состояние полотна ленточной пилы. Установлено, что при неравномерности нагрева 10°C напряжения составляют около 3 МПа

The paper provides a theoretical calculation of the heating temperature distribution over the width of the band saw blade. The influence of uneven heating on the stressed state of the band saw blade is shown. It was found that with an uneven heating of 10°C , the stresses are about 3 MPa.

Ключевые слова: ленточная пила, нагрев, деформация, напряжения

Keywords: band saw, heating, deformation, stresses

Сегодня для снижения энергетических затрат и потерь древесины распиловку бревен все чаще осуществляют узкими ленточными пилами на горизонтальных станках легкого класса. Помимо низких энергозатрат, использование такого оборудования позволяет более точно учитывать индивидуальные особенности распиливаемых бревен, что в совокупности увеличивает процент выхода пиломатериалов 15%.

При использовании такого оборудования распространенным явлением являются разрывы полотна пилы, что непосредственно сказывается на материальных затратах на инструмент и приводит к простоям оборудования.

Практика распиловки бревен на предприятиях показали, что в условиях деревообрабатывающих производств Республики Беларусь и Российской Федерации, при невозможности изменений в конструкцию ленточнопильных станков наиболее простой и эффективный способ повышения устойчивости узких ленточных пил является увеличение предварительного натяжения. Однако такие меры приводят к увеличению случаев аварийного выхода из строя ленточных пил из-за разрыва полотна пилы вследствие возникновения и развития усталостной трещины [1, 2]. Целью данной работы является установить, какой вклад в напряженное состояние пилы вносят напряжения, возникающие в полотне пилы из-за неравномерного распределения температуры по ширине ленточной пилы.

Предварительные исследования показали, что по ширине пилы температура распределяется по некоторой криволинейной зависимости (рисунок 1).

Зная температуру в трех точках полотна пилы, можно с достаточной для

расчетов точно записать распределение температуры в виде степенного уравнения, которое будет иметь вид:

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \left(\frac{x}{b} \right)^n \quad (1)$$

где T_0 – температура на тыльной кромке пилы; T_1 – температура со стороны зубьев; n – параметр, который будет определять характер распределения температуры; b – ширина полотна пилы.

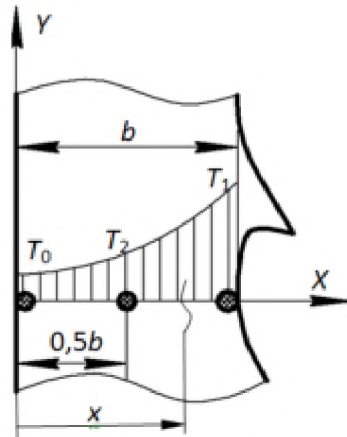


Рисунок 1 – Распределение температуры по ширине ленточной пилы

Зная температуру на зубчатой и тыльной кромках T_0 , T_1 и температуру еще в одной точке, например, при $x = 0,5b$, $T = T_2$, то можно определить n :

$$T_2 = T_0 + (T_1 - T_0) \cdot 0,5^n, \text{ или } 0,5^n = \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0} \quad (2)$$

После логарифмирования получим:

$$n \cdot \ln 0,5 = \ln(T_2 - T_0) - \ln(T_1 - T_0), \quad n = \frac{\ln(T_2 - T_0) - \ln(T_1 - T_0)}{\ln 0,5}. \quad (3)$$

Определим напряжения, возникающие в полотне пилы от изменения температуры. Для этого проведем сечение в пиле на некотором расстоянии Δy от начала координат (рисунок 2).

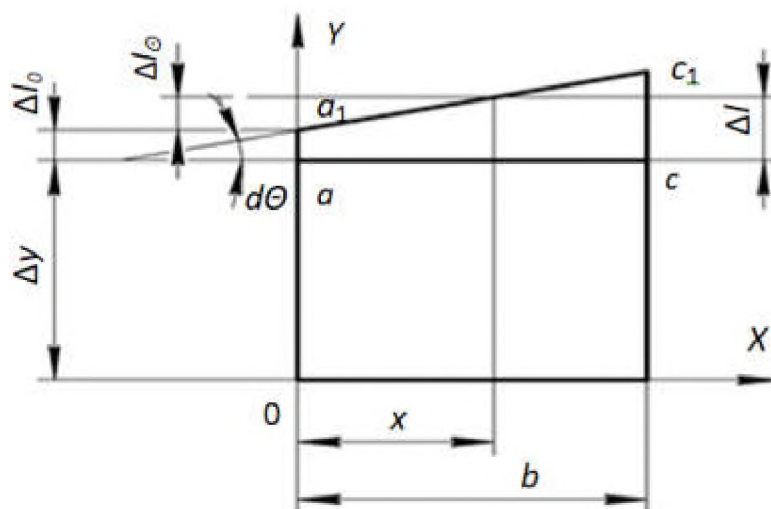


Рисунок 2 – Схема деформации элементарного участка пилы

В связи с неравномерным распределением температуры слои пилы на раз-

ном расстоянии x будут деформироваться на разную величину и сечение ac в соответствии с гипотезой плоских сечений займет некоторое положение a_1c_1 под углом $d\Theta$ к первоначальному положению (рисунок 2). Удлинение элементарного слоя на расстоянии x будет складываться из температурного Δl_t и упругого Δl_y :

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_y. \quad (4)$$

С другой стороны, Δl можно представить как:

$$\Delta l = \Delta l_0 + \Delta l_\Theta, \quad (5)$$

где Δl_0 – удлинение в начале координат; Δl_Θ – удлинение от поворота сечения.

Из уравнений 4 и 5 получим:

$$\Delta l_0 + \Delta l_\Theta = \Delta l_t + \Delta l_y.$$

Учитывая, что: $\Delta l_\Theta = x \cdot d\Theta$; $\Delta l_t = \alpha T dy$:

$$\Delta l_0 + x \cdot d\Theta = \alpha T dy + \Delta l_y. \quad (6)$$

Разделим обе части уравнения (6) на dy :

$$\frac{\Delta l_0}{dy} + x \frac{d\Theta}{dy} = \alpha T + \frac{\Delta l_y}{dy}. \quad (7)$$

Уравнение 7 можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_0 + \kappa \cdot x = \alpha T + \varepsilon_y, \quad (8)$$

где ε_0 – деформация в начале координат; $\kappa = d\Theta/dy$ – кривизна; ε_y – упругая деформация на расстоянии x . Из уравнения 8 определим упругую деформацию:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_0 + \kappa \cdot x - \alpha T. \quad (9)$$

Согласно закону Гука напряжение в произвольном слое пила на расстоянии x будет равно:

$$\sigma = E\varepsilon_y = E(\varepsilon_0 + \kappa \cdot x - \alpha T), \quad (10)$$

где E – модуль упругости материала пила.

Рассмотрим равновесие сил, возникающих только от изменения температуры по ширине пила (расчетная схема на рисунке 3).

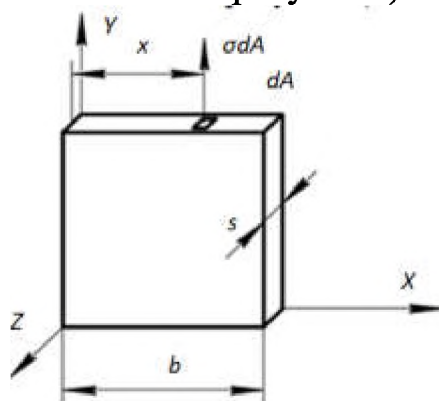


Рисунок 3 – Расчетная схема

Запишем уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \Sigma Y &= 0, & \int_A \sigma dA &= 0 \\ \Sigma m_z &= 0, & \int_A \sigma dA \cdot x &= 0; \end{aligned} \quad (11)$$

где $A = b \cdot s$ – площадь поперечного сечения пины.

Подставив значение σ согласно 10 в 11 и сократив на E , получим:

$$\left. \begin{aligned} \int_A (\varepsilon_0 + \kappa \cdot x - \alpha T) dA &= 0; \\ \int_A (\varepsilon_0 + \kappa \cdot x - \alpha T) x \cdot dA &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Подставим в 12 значение температуры согласно 1 и представим в виде суммы интегралов:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 \int_A dA + \kappa \int_A x \cdot dA - \alpha T_0 \int_A dA - \alpha T_p \int_A \left(\frac{x}{b}\right)^n dA &= 0; \\ \varepsilon_0 \int_A x \cdot dA + \kappa \int_A x^2 \cdot dA - \alpha T_0 \int_A x \cdot dA - \alpha T_p \int_A \frac{x^{n+1}}{b^n} dA &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где $T_p = T_1 - T_0$ – разность температур в крайних точках поперечного сечения пины.

Рассмотрим интегралы, входящие в систему уравнений 13:

$A = \int_A dA = bs$ – площадь поперечного сечения пины;

$S_z = \int_A x \cdot dA = \int_0^b x \cdot s \cdot dx = s \frac{x^2}{2} \Big|_0^b = \frac{sb^2}{2}$ – статический момент относительно оси Z

площади A ;

$J_z = \int_A x^2 dA = \int_0^b x^2 s dx = \frac{sb^3}{3}$ – момент инерции относительно оси Z площади A ;

$$\int_A \left(\frac{x}{b}\right)^n dA = \frac{1}{b^n} \int_0^b x^n s dx = \frac{sb}{n+1} = \frac{A}{n+1};$$

$$\int_A \frac{x^{n+1}}{b^n} dA = \frac{1}{b^n} \int_0^b x^{n+1} s dx = \frac{sb^2}{n+2} = \frac{2S_z}{n+2}.$$

Подставив значения интегралов в систему уравнений 13, получим:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 A + \kappa S_z - \alpha T_0 A - \alpha T_p \frac{A}{n+1} &= 0; \\ \varepsilon_0 S_z + \kappa J_z - \alpha T_0 S_z - \alpha T_p \frac{2S_z}{n+2} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решив систему уравнений 14, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 &= \frac{\alpha \left(AJ_z \left(T_0 + T_p \frac{1}{n+1} \right) - S_z^2 \left(T_0 + T_p \frac{2}{n+2} \right) \right)}{AJ_z - S_z^2}; \\ \kappa &= \frac{\alpha AS_z T_p n}{(AJ_z - S_z^2)(n+1)(n+2)}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Если учесть значения геометрических характеристик поперечного сечения пины, т.е. A , S_z , J_z , то после преобразований зависимости 15 примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 &= \alpha \left(T_0 + 2T_p \frac{1-n}{(n+1)(n+2)} \right); \\ \kappa &= \frac{6\alpha T_p n}{b(n+1)(n+2)}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Подставив 16 в 10, получим напряжения, возникающие в пиле от температуры.

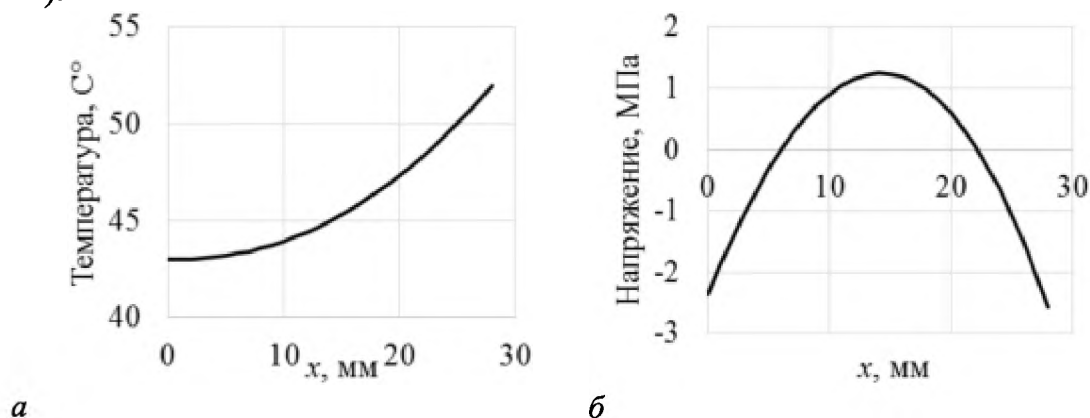
$$\sigma_{\text{темп}} = \sigma = \alpha E T_p \left(\frac{2b(1-n) + 6nx}{b(n+1)(n+2)} - \left(\frac{x}{b} \right)^n \right) \quad (19)$$

При $n = 0$ температура распределена равномерно по ширине пилы и температурные напряжения равны нулю. Полотно пилы только удлиняется на величину $\Delta l = \alpha TL$, где L – длина полотна ленточной пилы.

При среднем перепаде температуры после 1 часа пиления между областью впадин зубьев и тыльной кромкой полотна пилы 10°C (рисунок 4) и абсолютных значениях температуры в области впадин зуба $T_1 = 52^\circ\text{C}$, по середине пилы $T_2 = 45^\circ\text{C}$, на тыльной кромке $T_0 = 43^\circ\text{C}$ показатель n для данного распределения температуры:

$$n = \frac{\ln(45 - 43) - \ln(52 - 43)}{\ln 0,5} = 2,17.$$

Тогда температурные напряжения, представляющие собой напряжения сжатия по краям пилы, составят: у тыльной кромки $\sigma_{\text{темп}} = 2$ МПа, в области впадин зубьев $\sigma_{\text{темп}} = 2,3$ МПа; а в средней части полотна пилы $\sigma_{\text{темп}} = 1,25$ МПа (напряжения растяжения).



a – распределение температуры по ширине пилы; *б* – распределение напряжений

Рисунок 4 – Напряжения, возникающие в полотне пилы от неравномерного нагрева ленточной пилы

Таким образом, установлено, что для перепада температуры в 10°C , температурные напряжения не превышают нескольких МПа, что нельзя считать существенным вкладом в напряженное состояние полотна ленточной пилы.

Список использованных источников.

1. А. Дулевич А. Ф., Киселев С. В. Механизм разрушения ленточных пил // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 283–286.
2. Феоктистов А. Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесная промышленность, 1976. 152 с.