



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.931

Г.Ф. Прокофьев, И.С. Лобанова

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, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Лобанова Ирина Станиславовна родилась в 1970 г., окончила в 1993 г. Севмашвтуз, старший преподаватель кафедры математики Севмашвтуза, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования АГТУ. Имеет 6 печатных работ в области механической обработки древесины и математического моделирования физических процессов при резании.



ВЛИЯНИЕ ВАЛЬЦЕВАНИЯ ПОЛОСОВЫХ ПИЛ НА ЖЕСТКОСТЬ ИХ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Установлено влияние вальцевания на крутильную жесткость, предложен способ оценки напряжений вальцевания по разности значений крутильной жесткости вальцованной и невальцованной пилы.

Ключевые слова: вальцевание, пила, крутильная жесткость, напряжение, симметричное вальцевание, дополнительная жесткость.

Одним из способов повышения жесткости полосовых пил (рамных и ленточных) является вальцевание их полотна. Оно заключается в создании остаточных напряжений, благоприятно распределенных по ширине поперечного сечения пилы, методом ее прокатки между роликами. Остаточные растягивающие напряжения возникают у кромок пилы, а остаточные сжимающие напряжения – в средней ее части. За счет вальцевания повышается собственная жесткость пилы на кручение.

Жесткость сечения вальцованной пилы на кручение

$$\tilde{N}_d = \tilde{N}_e + \tilde{N}_{e,\dot{a}} = \frac{\delta^3 b}{3} G + \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z^2 dz, \quad (1)$$

где

C_k – жесткость на кручение невальцованной пилы;

$C_{к.в}$ – дополнительная жесткость на кручение за счет вальцевания пилы;

b, δ – ширина и толщина пилы соответственно, мм;

$G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль сдвига материала пилы;

$\sigma(z)$ – распределение остаточных напряжений вальцевания по ширине поперечного сечения пилы, МПа.

Рассмотрим вопрос оптимизации распределения остаточных напряжений $\sigma(z)$ в целях получения наибольшей жесткости пилы при кручении. Во-первых, распределения остаточных напряжений в сечении $\sigma(z)$ должны быть самоуравновешенными, так как они действуют в пиле при отсутствии внешней нагрузки, т. е. они должны удовлетворять условиям равенства нулю силы N и момента M , действующему в сечении пилы:

$$N = \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) dz = 0 ; \quad (2)$$

$$M_y = \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z dz = 0 . \quad (3)$$

Во-вторых, из условия обеспечения прочности пилы при дальнейшей эксплуатации должны быть ограничены максимальные значения как растягивающих, так и сжимающих остаточных напряжений:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_a^{\delta} ; \quad (4)$$

$$\sigma_{\min} \geq \sigma_a^c . \quad (5)$$

Допускаемые остаточные напряжения растяжения σ_a^{δ} и сжатия σ_a^c определяются с учетом того, что при эксплуатации они будут складываться с напряжениями от изгиба растяжения и т. д., т. е. исходя из условия общей прочности пилы. При выполнении условий (2) – (5) распределение напряжений должно обеспечить максимум функционалу

$$\int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z^2 dz \rightarrow \max . \quad (6)$$

В общем случае строгое решение задачи оптимизации, описываемое условиями (2) – (6), представляет сложную задачу. Проще получить ее решение в частном случае.

Рассмотрим частный случай вальцевания – симметричное вальцевание. Так как при симметричном вальцевании эпюра остаточных напряжений $\sigma(z)$ симметрична относительно оси пилы, то условие (3) выполняется автоматически. В качестве оптимального распределения остаточных напряжений* предложено распределение вида

$$\sigma(z) = a_0 + a_2 z^2 .$$

* Брюквин А.В. Динамическая модель колебаний дереворежущих ленточных пил // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1994. – 20 с.

С учетом (2) получаем

$$\sigma(z) = a_2 \left(z^2 - \frac{b^2}{12} \right).$$

Коэффициент a_2 определяется из условия, что максимальное напряжение растяжения на кромке пилы равно σ_a^δ :

$$\sigma(h/2) = \sigma_a^\delta.$$

Используя это, будем иметь

$$\sigma(z) = \frac{\sigma_a^\delta}{2} \left(12 \frac{z^2}{b^2} - 1 \right). \quad (7)$$

Распределение остаточных напряжений, определяемых выражением (7), приведено на рис. 1.

Очевидно, что представленное на рис. 1 распределение не является оптимальным хотя бы потому, что в нем нельзя варьировать допускаемые остаточные напряжения сжатия σ_a^c . Действительно, в этом случае всегда $\sigma_{\min} = -0,5\sigma_a^\delta$.

Решение задачи об оптимальном распределении напряжений вальцевания (в случае симметричного вальцевания) можно искать в виде бесконечного полинома

$$\sigma(z) = a_0 + a_2 z^2 + \dots + a_{2n} z^{2n} + \dots \quad \text{ïðå} \quad n = 1 \dots \infty.$$

Несложно показать, что оптимальное, с точки зрения крутильной жесткости, распределение напряжений при симметричном вальцевании стремится к виду

$$\sigma(z) = \begin{cases} \sigma_a^\delta & \text{ïðå} \quad -\frac{b}{2} \leq z \leq -\frac{c}{2} \\ -\sigma_a^c & \text{ïðå} \quad -\frac{b}{2} < z < \frac{b}{2} \\ \sigma_a^\delta & \text{ïðå} \quad \frac{c}{2} \leq z \leq \frac{b}{2} \end{cases}, \quad (8)$$

где $c = \frac{\sigma_a^\delta}{\sigma_a^\delta + \sigma_a^c} b$ (определяется из условия (2)).

Эпюра оптимального распределения представлена на рис. 2.

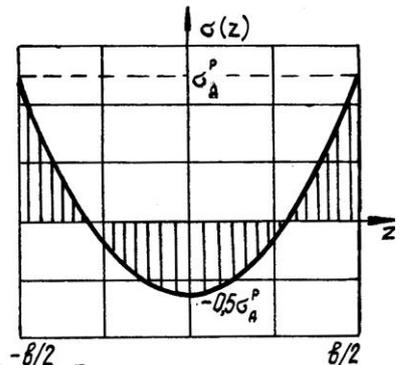
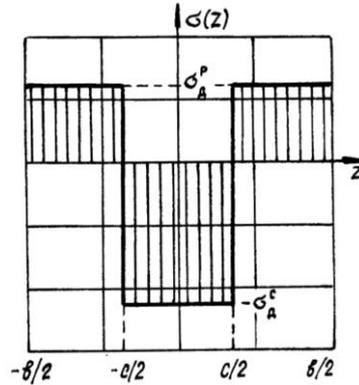


Рис. 1. Эпюра распределения остаточных напряжений по выражению (7)

Рис. 2. Эпюра оптимального распределения остаточных напряжений при симметричном вальцевании



Дополнительная жесткость на кручение, возникающая при симметричном вальцевании с распределением остаточных напряжений по выражению (7):

$$\tilde{N}_{\text{e.}\dot{a}} = \frac{\sigma_{\dot{a}}^{\delta} b^3}{30} \delta . \quad (9)$$

Дополнительная жесткость на кручение, возникающая при симметричном вальцевании с распределением остаточных напряжений по выражению (8):

$$\tilde{N}_{\text{e.}\dot{a}} = \frac{b^3}{12} \left(\frac{2 \int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\dot{a}}^{\delta} \sigma_{\dot{a}}^{\dot{n}} + \int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\dot{a}}^{\dot{n}} \sigma_{\dot{a}}^{\delta}}{\int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\dot{a}}^{\delta} + \sigma_{\dot{a}}^{\dot{n}}} \right) \delta . \quad (10)$$

Если принять $\sigma_{\dot{a}}^{\delta} = \sigma_{\dot{a}}^{\dot{n}}$, то дополнительная жесткость на кручение при оптимальном распределении (8) будет почти в 2 раза больше, чем при распределении, задаваемом выражением (7).

Формулы (9) и (10) показывают, что дополнительная жесткость на кручение при симметричном вальцевании зависит от ширины полотна пилы b и уровня напряжений вальцевания. Так как дополнительная жесткость $C_{\text{к.в}}$ на кручение прямо пропорциональна толщине пилы δ , а жесткость невальцованной пилы на кручение $C_{\text{к}}$ пропорциональна δ^3 , то относительное увеличение жесткости на кручение будет уменьшаться с увеличением δ .

В таблице представлена зависимость крутильной жесткости от уровня напряжений вальцевания для двух различных распределений остаточных напряжений по ширине пилы, задаваемых выражениями (7) и (8).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Степень вальцевания может быть оценена измерением и последующим сравнением собственной жесткости на кручение невальцованной и вальцованной пилы. Этот метод требует экспериментальной проверки на стенде и сравнения с применяемым в настоящее время методом оценки степени вальцевания по величине световой щели.

2. Наибольший эффект в повышении собственной жесткости пилы выявлен при использовании распределения (8). Для применения на практике необходимо разработать технологию получения распределения (8).

3. Необходимо определить предельные напряжения вальцевания с позиции обеспечения прочности и устойчивости пилы.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 26.03.02

G.F. Prokofjev, I.S. Lobanova

Influence of Strip Saws Milling on their Cross-section Hardness

The influence of milling on torsional hardness has been established, estimation method for milling strength has been suggested based on the difference of torsional hardness value of milled and non-milled saw.
