

Согласно вычислениям, масштабные коэффициенты для модуля упругости, предела прочности при изгибе и сжатии соответственно, равны 1,00; 1,20 и 1,06.

Сравнение важнейших показателей с учетом масштабного фактора представлено в табл. 3.

Таким образом, нет большой разницы в показателях древесных пород США и СССР. Естественно, что породный состав, представленный в двух базах данных, очень различен. Сравнение показателей в пределах одной породы по данным массивам информации некорректно из-за малых объемов выборки. Однако очень близкое совпадение средних величин базисной плотности древесины пород СССР и США дало возможность сравнивать ее механические показатели. Полученные массивы информации в дальнейшем могут быть использованы для анализа взаимосвязи показателей между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Волюнский В. Н. Особенности проявления масштабного фактора при изгибе древесины // Лесн. журн.— 1990.— № 2.— С. 76—78.— (Изв. высш. учеб. заведений).
- [2]. ГСССД 69—84. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов древесины.— М.: Госстандарт СССР, 1985.— 36 с.
- [3]. РТМ. Древесина. Показатели физико-механических свойств.— М.: Госстандарт СССР, 1962.— 48 с.
- [4]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 249 с.
- [5]. Справочное руководство по древесине / Пер с англ.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 544 с.

Поступила 29 сентября 1993 г.

УДК 674.053 : 621.934

О КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ НАГРЕТЫХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ КРУГЛЫХ ПИЛ

С. В. ЕРШОВ

ЦНИИМОД

Подготовка плоских круглых пил к работе предусматривает операцию натяжения, которая заключается в создании начальных напряжений растяжения в периферии и сжатия в центральной зоне пилы. Обычно натяжение производят проковкой или вальцеванием, хотя возможны и другие методы, например, термомпластическая деформация или автофретирование. Натяжение пилы увеличивает ее минимальную критическую частоту вращения, что, в свою очередь, позволяет снизить толщину используемых в данном станке пил или увеличить частоту их вращения [6].

Поскольку степень проковки пилы связана с рабочей частотой ее вращения, возникает вопрос о подготовке пилы под заданную частоту вращения. Эта проблема подробно рассмотрена в работе [4], где показано, что задача согласования степени проковки и частоты вращения пилы всегда имеет только прямое решение, т. е. для каждой пилы с определенным напряженным состоянием можно подобрать частоту вращения (включая ноль), при которой эта пила будет наиболее устойчива к внешним воздействиям. Невозможность в ряде случаев обратного решения, т. е. подготовки любой пилы под заданную частоту вращения, объясняется естественным ограничением степени ее проковки — потерей пилой при проковке устойчивости по зонтичной форме. Напряженное состояние, при котором пила начинает терять плоскую форму, называется критическим. Пилы с таким напряженным состоянием крайне неудобны

в эксплуатации (заточка, контроль, установка в станок), так как при малейшем воздействии могут потерять устойчивость.

Стремление обеспечить работоспособность все более тонких пил побудило некоторых исследователей установить пилы, находящиеся в закритическом состоянии (имеющие зонтичную форму). Например, авторы работ [5, 7] считают, что такая пила при определенной частоте вращения восстанавливает свое плоское состояние и устойчиво работает на частотах, при которых даже пила с критическим напряженным состоянием неработоспособна. Однако эксплуатация пил с закритическим напряженным состоянием еще более неудобна, а их правильная установка в станок практически невозможна.

В данной статье предпринята попытка теоретически осмыслить некоторые аспекты дополнительного натяжения вращающейся пилы за счет нагрева ее центральной части и создания временных температурных напряжений растяжения в периферии. Методы нагрева средней зоны пилы подробно рассмотрены в работе [3].

Считаем, что начальные напряжения, созданные проковкой или вальцеванием, не выводят пилу из плоского состояния, а дополнительное натяжение создается за счет временных напряжений, вызванных заданным температурным перепадом по ее радиусу. Распределение избыточной температуры по радиусу вращающейся пилы при нагреве определенных зон и его влияние на изгибную жесткость и устойчивость пилы подробно рассмотрены в работах [1, 2].

Воспользуемся энергетическим методом, основанным на принципе Остроградского — Гамильтона. Согласно этому принципу, среди всех возможных осуществляется движение системы, дающее стационарное значение функционалу

$$L = \int_{t_1}^{t_2} (T - \Pi) dt, \quad (1)$$

где T, Π — соответственно кинетическая и потенциальная энергии системы;
 t — время.

Считаем, что упругие свойства материала пилы не зависят от ее температуры.

Прогиб диска w в точке с координатами r, φ представим разложением в ряд координатных функций с неизвестными коэффициентами a_λ :

$$w(r, \varphi) = \frac{a_0}{2} u_0 + \sum_{\lambda=1}^n a_\lambda u_\lambda \cos \lambda \varphi, \quad (2)$$

где λ — число узловых диаметров;
 u_λ — функция от r , удовлетворяющая граничным условиям.

Система $(n+1)$ уравнений, получаемая после подстановки выражения w по формуле (2) в функционал (1) и выполнения условий стационарности ($\delta L / \delta a_\lambda = 0$), имеет решение, когда выполняется условие [1]

$$v_\lambda^2 H_\lambda - \omega^2 S_\lambda + QZ_\lambda = 0, \quad (3)$$

где v_λ — частота собственных колебаний пилы по форме с λ узловыми диаметрами;
 ω — угловая частота вращения, $\omega = 2\pi n/30$;
 n — частота вращения;
 H_λ, S_λ — расчетные коэффициенты, зависящие от геометрических размеров пилы;

Q — тепловая мощность, расходуемая на нагрев некоторой зоны пилы;

Z_λ — расчетный коэффициент, зависящий от геометрических размеров пилы и формы кривой распределения избыточной температуры по ее радиусу;

Из выражения (3) легко получить формулу для критических частот вращения $\omega_{\lambda}^{кр}$, при которых вращающаяся пила теряет плоскостность по форме с λ узловыми диаметрами:

$$\omega_{\lambda}^{кр} = \sqrt{(v_\lambda^2 H_\lambda + Q Z_\lambda) / S_\lambda} \quad (4)$$

Как показывают расчеты, коэффициенты H_λ положительны при любых значениях λ , S_λ — отрицательны при $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$ и положительны при остальных значениях λ . Поэтому при $Q = 0$ (равномерно нагретая пила) для $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$ критическая частота вращения не существует. Знак коэффициента Z_λ зависит от формы кривой распределения избыточной температуры по радиусу пилы.

Рассмотрим четыре варианта нагрева пилы диаметром 800 мм, толщиной 2,8 мм, вращающейся с частотой 1500 мин^{-1} , трением с силой $F_{тр} = 2 \text{ Н}$ в зонах, расположенных от центра на 0,3; 0,5; 0,7 и 0,9 радиуса пилы R . Формы кривой распределения избыточной температуры по радиусу пилы для рассмотренных вариантов нагрева приведены на рис. 1, а знак коэффициента Z_λ указан в табл. 1.

Рис. 1. Распределение избыточной температуры по радиусу круглой пилы при нагреве в различных зонах: 1 — 0,3 R ; 2 — 0,5 R ; 3 — 0,7 R ; 4 — 0,9 R

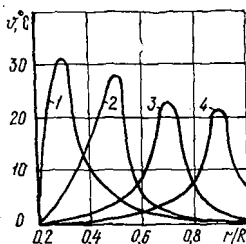


Таблица 1

Число узловых диаметров	Знак коэффициента Z_λ при нагреве в зоне, доля от R			
	0,3	0,5	0,7	0,9
0	—	—	+	+
1	—	—	+	+
2	+	+	+	—
3	+	+	+	—
4	+	+	+	—

Анализ полученных данных показывает, что нагрев пилы в зонах 0,3 R и 0,5 R повышает ее критические частоты вращения, соответствующие формам $\lambda \geq 2$. При определенной степени нагрева могут появиться частоты вращения пилы, соответствующие динамической потере устойчивости по формам $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$. Нагрев в зоне 0,7 R увеличивает критические частоты вращения пилы, соответствующие формам $\lambda \geq 2$, но не может привести к динамической потере устойчивости по формам $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$. Нагрев в зоне 0,9 R не может повысить критические

частоты вращения пилы и привести к динамической потере устойчивости по зонтичной форме и форме $\lambda = 1$.

Из полученных данных следует, что при нагреве в зонах $0,3R$ и $0,5R$ могут существовать частоты вращения, соответствующие динамической потере устойчивости по формам $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$. Эти частоты не являются критическими в традиционном понимании этого термина, когда имеется в виду динамическая потеря устойчивости по формам $\lambda \geq 2$, а более высокие частоты вращения являются закритическими. Наоборот, при этой частоте вращения происходит восстановление плоского состояния диска, который в результате нагрева приобретает зонтичную форму. Условно будем называть эти частоты критическими, соответствующими формам $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$.

Продолжим рассматривать приведенный пример для зон нагрева $0,5R$ и $0,7R$. Считаем, что пила до зажатия в шайбы диаметром 160 мм прокована до состояния, близкого к критическому. Частоты собственных колебаний по формам $\lambda = 0 \dots 4$, необходимые при расчетах, возьмем из работы [6]. Будет увеличивать максимальную избыточную температуру ϑ_{\max} в зоне нагрева, изменяя тем самым напряженное состояние пилы. Результаты вычисления критических частот вращения для зон нагрева $0,5R$ (числитель) и $0,7R$ (знаменатель) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Максимальная избыточная температура, °C	Критическая частота вращения, мин ⁻¹ , для формы с числом узловых диаметров λ				
	0	1	2	3	4
0	-/-	-/-	1980/1980	2086/2086	2444/2444
25	981/-	-/-	2374/1997	2456/2103	2762/2459
50	1593/-	-/-	2711/2015	2777/2121	3048/2473
75	2029/-	-/-	3011/2032	3065/2138	3308/2488
100	2386/-	1047/-	3284/2049	3328/2155	3550/2502
125	2696/-	1586/-	3536/2066	3572/2172	3776/2516
150	2974/-	1984/-	3770/2083	3800/2189	3989/2531
175	3229/-	2314/-	3992/2100	4015/2205	4192/2545
200	3464/-	2602/-	4201/2116	4219/2222	4385/2559
225	3685/-	2862/-	4400/2133	4414/2238	4570/2573
250	3893/-	3100/-	4591/2149	4600/2254	4748/2587

Зависимость критических частот вращения от максимальной избыточной температуры в зоне нагрева демонстрирует рис. 2. Пила будет иметь плоское состояние при частотах вращения и избыточной температуре нагрева, соответствующих зоне, расположенной выше линий критических частот вращения по формам $\lambda = 0$ или $\lambda = 1$ и ниже линий — при $\lambda \geq 2$. На рис. 2 эта зона заштрихована как зона устойчивости плоской формы пилы. Нагрев пилы в зонах $0,5R$ и $0,7R$ по-разному влияет на критические частоты ее вращения. В зоне $0,5R$ с возрастанием температуры критические частоты вращения по всем формам увеличиваются (избыточной температуре в зоне нагрева $\vartheta_{\max} = 100$ °C соответствует повышение $n_{\lambda=2}^{кр}$ на 65 %). Однако при таком нагреве невращающаяся пила уже при $\vartheta_{\max} = 11$ °C теряет устойчивость. С увеличением температуры нагрева зона устойчивости плоской формы пилы сужается и смещается в область более высоких частот вращения.

Возрастание температуры нагрева в зоне $0,7R$ приводит к слабому повышению критических частот вращения по формам $\lambda \geq 2$ (избыточной температуре в зоне нагрева $\vartheta_{\max} = 100$ °C соответствует увеличение $n_{\lambda=2}^{кр}$ на 3 %). Нагрев в этой зоне не приводит к динамической

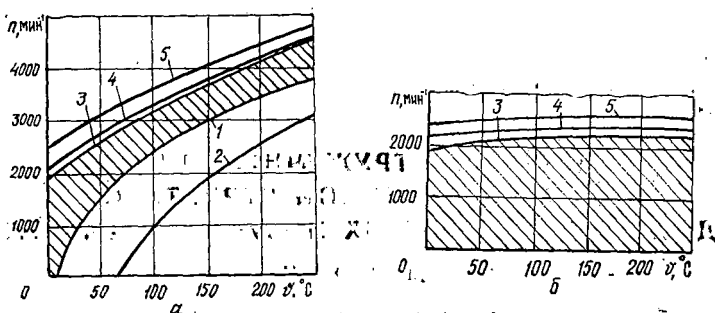


Рис. 2. Влияние максимальной избыточной температуры на критические частоты вращения пилы при нагреве в зонах 0,5 R (а) и 0,7 R (б) для форм с различным числом узловых диаметров λ : 1 — $\lambda = 0$; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3; 5 — 4

потере устойчивости по формам $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$, поэтому с увеличением температуры нагрева зона устойчивости плоской формы пилы не сужается, но и не смещается в область высоких частот вращения. По-видимому, можно найти оптимальную зону нагрева, обеспечивающую устойчивость пилы при повышенных частотах вращения.

Как увеличение степени проковки пилы ограничивается ее критическим напряженным состоянием, так и натяжение средней зоны ограничивается пределом упругости материала (в зоне максимальных температурных напряжений не должно быть пластических деформаций). В приведенном примере при нагреве в зоне 0,7 R до избыточной температуры 250,°C максимальные расчетные напряжения сжатия достигали 505 Н/мм², что меньше предела упругости для стали 9ХФМ.

Результаты расчетов показывают, что нагрев средней зоны может существенно повысить ее критические частоты вращения и тем самым обеспечить устойчивую работу пилы при повышенных частотах вращения. К сожалению, этого нельзя сказать о толщине пилы. Хотя нагрев средней зоны может обеспечить устойчивое вращение пилы пониженной толщины, но не может повысить ее максимально достижимую изгибную жесткость, которая, как показано в работе [4], равна изгибной жесткости невращающейся пилы без начальных напряжений. Для повышения изгибной жесткости тонкой пилы в зоне резания обычно используют направляющие. Поскольку они из-за наличия трения представляют собой источник нагрева круглой пилы, зону расположения направляющих необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечивать закон распределения температуры по радиусу пилы, по крайней мере, не ухудшающий ее работоспособность при рабочих частотах вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ершов С. В. Влияние неравномерного нагрева на изгибную жесткость и устойчивость вращающихся круглых пил // Лесн. журн.—1993.— № 1.— С. 69—76. (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Ершов С. В. О распределении температуры по радиусу круглой пилы // Лесн. журн.—1992.— № 5.— С. 72—78.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Санев В. И. Обработка древесины круглыми пилами.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 232 с. [4]. Стахивев Ю. М., Ершов С. В., Макаров В. В. О согласовании степени проковки (вальцевания) с частотой вращения круглой пилы // Лесн. журн.—1988.— № 6.— С. 59—64.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Стахивев Ю. М. О поведении вращающегося диска пилы, прокованного до критического напряженного состояния // Лесн. журн.—1993.— № 5—6.— С. 90—93.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Стахивев Ю. М. Работоспособность плоских круглых