

моделирования в значения $\alpha_{ко}$ не вводили. За расчетную скорость в методиках [1, 3, 5] принимали среднюю скорость в наименьшем проходном сечении пучка.

Величину отклонения между расчетными и опытными значениями теплоотдачи и сопротивления (%) определяли по формулам

$$\delta = \frac{\alpha_{ко} - \alpha_{кр}}{\alpha_{кр}} 100; \quad \delta_1 = \frac{\Delta P_o - \Delta P_p}{\Delta P_p} 100. \quad (7)$$

Сравнение опытных и расчетных теплоаэродинамических характеристик пучков представлено в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что наилучшую сходимость по теплоотдаче расчетных и опытных величин стесненных пучков обеспечивает методика АЛТИ, сопротивление стесненных пучков II—V — методика ЦКТИ.

Таким образом, получены новые экспериментальные данные по расчету характеристик стесненных пучков из труб с поперечными ребрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках.—М.: Наука, 1982.—472 с. [2]. Кунтыш В. Б., Мелехов В. И. Основы проектирования компактных теплорекуператоров из ребристых труб для сушильных установок // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр.—Л.: ЛТА, 1988.—С. 77—81. [3]. Обобщение опытных данных по конвективной теплоотдаче в шахматных пучках труб с поперечными спиральными монолитными ребрами / Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М., Шмеркович В. М. и др. // Создание и применение трубчатой и пластинчатой теплообменной аппаратуры: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. (Таллин, 10—12 сент. 1974 г.)—М., 1974.—С. 222—223. [4]. Экспериментальное исследование теплоотдачи и сопротивления пучков АВО из биметаллических труб // Энергетика.—1977.—№ 12.—С. 89—93.—(Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Юдин В. Ф. Теплообмен поперечнооребранных труб.—Л.: Машиностроение, 1982.—189 с.

Поступила 20 декабря 1989 г.

УДК 674.053 : 621.934

РЕЗОНАНСНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ РАВНОВЕСИЯ ТОНКОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ НАГРЕВЕ

Ю. М. СТАХИЕВ

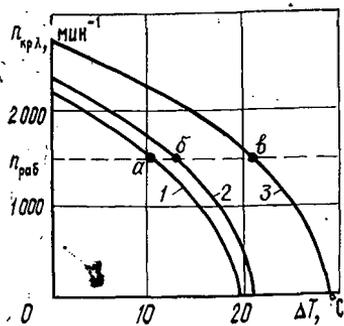
ЦНИИМОД

При пилении древесины периферийная зона круглой пилы нагревается сильнее центральной. По радиусу диска возникает температурный перепад ΔT , который может привести к резонансным колебаниям или потере им устойчивости плоской формы равновесия (выпучиванию) по формам с числом узловых диаметров $\lambda \geq 2$ [1]. Это проиллюстрировано графиками на рис. 1 для свободно вращающегося (без нагрузки на внешнем контуре) диска.

Графики построены на основании расчетов по формуле (2.38), приведенной в работе [1], для изготовленной фирмой Tengyu Saw (Япония) прокованной пилы диаметром 510 мм, толщиной 1,25 мм и заземленной фланцами с диаметром 125 мм. Прогиб пилы y_c в точке с радиусом 50 мм при установке на три опоры прибора ПСП равен 1,17 мм, а частоты собственных колебаний в статике для $\lambda = 0; 1; 2; 3; 4; 5$ — соответственно 24; 29; 48; 88; 145; 215 Гц.

Из графиков видно, что при увеличении ΔT критические частоты вращения $n_{кр\lambda}$ (для $\lambda \geq 2$) уменьшаются. В точках а, б, в критические

Рис. 1. Изменение критических частот вращения $n_{крл}$ пилы при перепаде температур ΔT для различных значений узлового диаметра: 1 — $\lambda = 2$; 2 — $\lambda = 3$; 3 — $\lambda = 4$

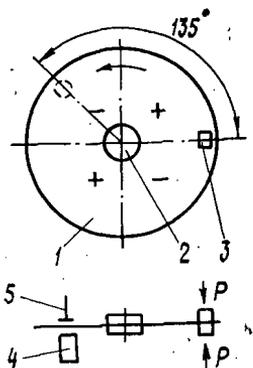


частоты вращения становятся равными рабочей частоте вращения $n_{раб}$ — наступает резонансное состояние. Дальнейшее увеличение ΔT нарушает равенство $n_{раб} = n_{крл}$ и выводит диск из резонансного состояния. При $n_{крл} = 0$ диск теряет устойчивость

плоской формы равновесия — происходит выпучивание.

Такой механизм возникновения и прохождения резонансных колебаний при нагреве диска считают общепринятым, например, при расчете толстых дисков двигателей летательных аппаратов [4] и т. д. Однако диски тонких пил относятся к категории гибких пластин, что может оказывать качественное влияние на картину смены колебаний различной формы и переход в состояние потери устойчивости плоской формы равновесия. Кроме того, все известные выводы относятся к неравномерному нагреву свободно вращающегося диска, в то время как при пилении в зоне дуги резания на диск накладываются дополнительные связи, ограничивающие его отклонение в поперечном направлении. Это послужило причиной проведения специальных исследований*.

Рис. 2. Схема экспериментальной установки



Измерения выполняли на установке ЦНИИМОДа, приведенной на рис. 2. Она обеспечивает ступенчатое изменение частоты вращения диска 1 с фланцами 2 в пределах 500...5000 мин^{-1} , разгон его в указанном интервале со скоростью 4 об/с, нагрев периферийной зоны 3 трением (прижим с боковых сторон березовых элементов площадью сечения $10 \times 10 \text{ мм}^2$), бесконтактное измерение поперечного отклонения диска емкостным датчиком 5 и температуры в зоне дорожки трения инфракрасным термоэлектрическим радиометром 4 ИКТЭРЛ-2. Расположение березовых элементов (в зоне узлов колебаний) и емкостного датчика (против зоны пучностей) принято на основании исследований [3]. Контактный способ нагрева позволяет в порядке первого приближения имитировать связь периферийной зоны диска с распиливаемым материалом.

В опытах использовали диски диаметром 486 мм (получены после удаления зубьев у пил диаметром 510 мм), толщиной 1,25 мм, защемленные фланцами диаметром 125 мм. Для этих условий основная форма потери устойчивости и колебаний соответствовала $\lambda = 2$. Записи колебаний, выпучивания и нагрева диска производили с помощью осциллографа Н 700 (шлейф 06) со скоростью 1 мм/с (рис. 3).

Анализ приведенных на рис. 3 осциллограмм, полученных при дискретных частотах вращения, позволяет отметить следующее.

* Измерения проведены с участием В. В. Макарова.

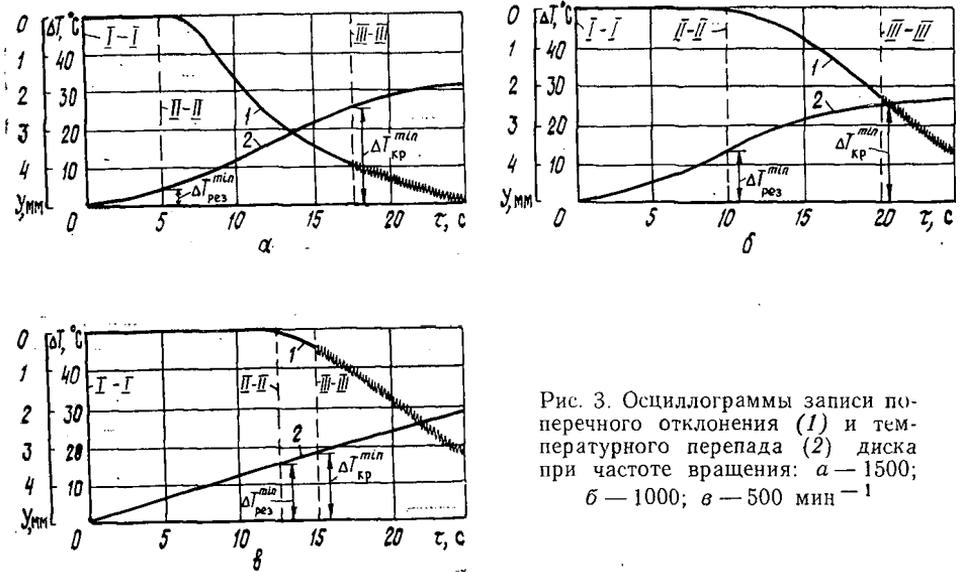


Рис. 3. Осциллограммы записи поперечного отклонения (1) и температурного перепада (2) диска при частоте вращения: а — 1500; б — 1000; в — 500 мин⁻¹

При прижме к периферийной зоне вращающегося диска с двух сторон березовых элементов вызванная нагревом картина колебаний, выпучивания останавливается в пространстве и ориентируется относительно зоны контакта диска с прижимными элементами. Причем это не требует большого усилия прижима контактных элементов. Так, для диска диаметром 486 мм и толщиной 1,25 мм достаточно силы в 10 Н.

Повышение температуры нагрева периферийной зоны диска вызывает смену его состояний. На рис. 3 отмечены следующие характерные стадии: I—I — прижим березовых образцов; II—II — начало интенсивного поперечного отклонения диска; III—III — начало потери устойчивости плоской формы равновесия.

Начало интенсивного поперечного отклонения диска (линия II—II) обусловлено равенством критической $n_{кр, \lambda=2}$ и рабочей $n_{раб}$ частот вращения. На участке II—III происходит затягивание амплитуды нелинейных резонансных колебаний, отвечающих $n_{кр, \lambda=2}$. Линия III—III соответствует началу перехода от колебаний к потере устойчивости плоской формы равновесия, вызванного достижением критической температуры $\Delta T_{кр}^{min}$.

Для условий рис. 3, а время перехода от состояния I—I к состоянию II—II составляет 5 с, а от II—II к III—III — 12,5 с. На участке II—III поперечное отклонение диска (y) возрастает от 0 до 4,0 мм, а ΔT — от 5 до 26 °C. Следовательно, скорость изменения поперечного отклонения (I_y) равна 0,32 мм/с, а температуры ($I_{\Delta T}$) — 1,7 °C/с.

Если учесть, что уширение (развод) зубьев на сторону составляет примерно 0,8 мм, то в многопильном станке заклинивание доски между пилами имеет место при отклонении ее диска от плоской формы на 1,6 мм и более. При скорости поперечного отклонения пилы 0,32 мм/с это произойдет за время $1,6 : 0,32 = 5$ с. Если скорость подачи лесоматериала составляет, например, 25 м/мин, то его перемещение за это время — 2,1 м. Это соответствует заклиниванию распиливаемого бруса в многопильных станках на первых метрах пропила.

На участке II—III (рис. 3, а) не происходит смены резонансных состояний $n_{кр, \lambda=2}$, $n_{кр, \lambda=3}$, $n_{кр, \lambda=4}$, что обычно наблюдается для

свободно вращающихся толстых дисков (см. рис. 1). Производственная практика подтверждает непрерывный характер поперечного отклонения диска, так как зарезание пилы в многопильных станках при резонансных состояниях прогрессирует до заклинивания доски между пилами без прекращения этого процесса. Полученные данные показывают, что при $n \geq n_{кр}^{min}$ и $\Delta T \geq \Delta T_{рез}^{min}$ ($\Delta T_{рез}^{min}$ — резонансная температура нагрева) диск неработоспособен. Встречающиеся в литературных источниках утверждения, что диск неработоспособен только при критических частотах вращения $n_{кр, \lambda = 2}$, но работоспособен при частотах вращения между критическими для смежных форм колебаний, настоящими исследованиями не подтверждены. Поэтому при оценке работоспособности пил необходимо находить $n_{кр}^{min}$ и $\Delta T_{рез}^{min}$, регламентирующие предельное состояние диска. Их значения для пил с геометрически размерами по ГОСТ 980—80 приведены в табл. 2.23 и 2.6 [1].

В процессе опытов было обращено внимание на различия в характере записи поперечных отклонений диска при частоте вращения 500 мин⁻¹ и частотах 1000 и 1500 мин⁻¹.

Для объяснения этого воспользуемся формулами взаимосвязи температурных перепадов $\Delta T_{рез}$ и $\Delta T_{кр}$ с частотой вращения диска n [1]

$$\Delta T_{рез} = \frac{v_{ст}^2 - n^2 (\lambda^2 - B)}{\{\alpha_{л} m_2 f^{II}(c, \lambda)\} / R^2}; \quad \Delta T_{кр} = \frac{v_{ст}^2 + B^2}{\{\alpha_{л} m_2 f^{II}(c, \lambda)\} / R^2},$$

где $v_{ст}$ — частота собственных колебаний невращающегося стального диска, Гц;

B — динамический коэффициент, равный 2,25 при $\lambda = 2$ и 3,8 при $\lambda = 3$;

$\alpha_{л}$ — температурный коэффициент линейного расширения ($\alpha_{л} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

m_2 — коэффициент ($m_2 = 6,85 \cdot 10^{11} \text{ мм}^2/\text{с}^2$);

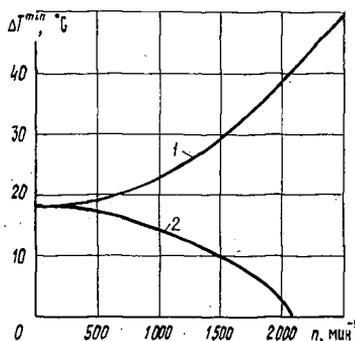
R — радиус диска, мм;

$f^{II}(c, \lambda)$ — безразмерная функция (табл. 2.20 [1]);

c — отношение диаметра фланцев к диаметру диска.

Графики, построенные по приведенным формулам для диска $486 \times 1,25$ мм показаны на рис. 4, а дискретные значения температурных перепадов ($^\circ\text{C}$) — в таблице.

Рис. 4. Влияние частоты вращения n диска на критическую $\Delta T_{кр}^{min}$ (1) и резонансную $\Delta T_{рез}^{min}$ (2) температуры нагрева



Графики показывают, что с увеличением частоты вращения $\Delta T_{рез}^{min}$ уменьшается, а $\Delta T_{кр}^{min}$ увеличивается. Поскольку $\Delta T_{рез}^{min} < \Delta T_{кр}^{min}$, то потеря работоспособности диска при неравномерном нагреве начинается с резонансных колебаний, а не с потери устойчивости плоской формы равновесия. При $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ разность температур $\Delta T_{кр}^{min}$ —

$n, \text{ мин}^{-1}$	$\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}} (\lambda = 2)$	$\Delta T_{\text{рез}} (\lambda = 3)$	$\Delta T_{\text{кр}}^{\text{мин}} (\lambda = 2)$
0	18,2	19,8	18,2
500	17,2	18,9	19,4
1000	14,3	16,1	23,2
1500	9,5	11,5	29,9
2000	2,8	5,0	37,9

— $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}} = 29,9 - 9,5 = 20,4$ °С достаточна для обеспечения постепенного перехода от колебаний к потере диском устойчивости плоской формы равновесия. При $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}} \approx \Delta T_{\text{кр}}^{\text{мин}}$ (17,2 и 19,4 °С), т. е. практически происходит наложение состояния потери устойчивости на состояние резонансных колебаний, что и определяет неустойчивый характер записи отклонений диска.

Обращает на себя внимание, что для прокованной пилы ($510 \times \times 1,25$ мм), изготовленной фирмой Tenyu Saw, при частотах вращения 1000 и 1500 мин^{-1} величины $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}}$ сравнительно невелики и равны 14,3 и 9,5 °С. Поэтому проблема использования пил такой толщины должна быть связана с применением надежных систем компенсации неравномерного нагрева диска [2].

Выводы

1. При неравномерном нагреве тонкого вращающегося диска пилы, защемленного по внутреннему контуру фланцами и имеющего на участке внешнего контура контакт с древесиной, процесс перехода от колебаний при $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}}$ к потере устойчивости плоской формы равновесия при $\Delta T_{\text{кр}}^{\text{мин}}$ является непрерывным и сопровождается увеличением поперечного отклонения диска.

2. Картина резонансных колебаний и потери устойчивости диска неподвижна в пространстве и ориентирована так, что один из узловых диаметров, характеризующих форму колебаний или потери устойчивости, проходит через зону контакта внешнего контура диска с древесиной. Такая ориентация определяет эффективные места расположения датчиков для регистрации колебаний и управления диском.

3. Высокая интенсивность изменения во времени поперечного отклонения диска при $\Delta T \geq \Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}}$ объясняет трудности создания и практического использования систем управления состоянием диска пилы на основе непрерывного контроля его поперечного отклонения. Управление тонким диском по контролю температурного параметра ΔT ввиду его малой величины (10...15 °С) затруднительно.

4. В основе использования тонких пил должно лежать применение плавающих пил с системами эффективного охлаждения [1] или пил со специальными прорезями [2], позволяющими увеличивать параметр $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{мин}}$ до уровня пил стандартных толщин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Стахийев Ю. М. Работоспособность плоских круглых пил.— М.: Лесн. пром-сть, 1989.— 384 с. [2]. Стахийев Ю. М., Лыжин Ф. В. О несущей способности диска плоских круглых пил // Лесн. журн.— 1972.— № 1.— С. 163—168.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Стахийев Ю. М., Рыжов А. Е. О колебаниях и потере устойчивости диска пилы при нагреве по внешнему контуру // Вестник машиностроения.— 1979.— № 2.— С. 33—34. [4]. Хронин Д. В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов.— М.: Машиностроение, 1970.— 412 с.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МОДИФИЦИРОВАННОГО СВЯЗУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА
В ТЕХНОЛОГИИ ДЕКОРАТИВНОГО
БУМАЖНОСЛОИСТОГО ПЛАСТИКА

И. А. ГАМОВА, В. П. ЕФИМОВ, А. А. ЭЛЬБЕРТ

Ленинградская лесотехническая академия

Свойства декоративного бумажнослоистого пластика (ДБСП) и технология изготовления в большой степени определяются применяемыми для его получения синтетическими связующими веществами (амидо- и фенолоформальдегидные олигомеры).

Использование бакелитовых лаков (спиртовые растворы фенолоформальдегидных смол) значительно удорожает материал. На получение 1 т ДБСП расходуют до 300 кг этилового спирта, который в процессе сушки теряется безвозвратно. При этом возрастает пожаро- и взрывоопасность производства [4]. Решение этой проблемы возможно путем создания бесспиртовой технологии изготовления ДБСП.

Нами проведены исследования возможности замены бакелитового лака на композиционное связующее (КС) для пропитки крафт-бумаг в производстве ДБСП. Композиционное связующее получали совмещением карбамидоформальдегидной смолы (КФС) и фенолоспиртов (ФС), нейтрализованных сульфатом аммония [1].

Образцы крафт-бумаг пропитывали КС и высушивали до содержания летучих веществ 4,5...6,5%. Для наружных слоев пластика использовали бумагу, пропитанную смолой ММ-54-У. Образцы пластика прессовали при удельном давлении 10 МПа, выдержке 4 мин на 1 мм толщины и температуре 140°C.

Анализ результатов показывает, что только при массовом соотношении КФС к ФС 50:50 и 30:70% полученный пластик выдерживает испытания на стойкость к кипячению. Это определяет возможность использования связующего в технологическом процессе. При производстве ДБСП существует ряд конкретных требований к связующим, применяемым для пропитки внутренних слоев бумаг: сравнительно малая вязкость, способность высыхать вместе с листовым наполнителем без преждевременного отверждения, а в отвержденном состоянии обладать водо- и термостойкостью [4].

Для выявления соответствия КС этим требованиям определяли вязкость и время отверждения, а также стойкость готовых образцов ДБСП к кипячению [2].

Как свидетельствуют данные табл. 1, свойства КС и бакелитового лака близки. Сокращение времени отверждения КС может положительно отразиться на процессе отверждения связующего внутренних слоев пластика.

О структуре отвержденного образца судили по динамическому модулю сдвига, который определяли в образцах отвержденных смол по резонансной частоте крутильных колебаний в звуковом диапазоне частот от 50 до 800 Гц на приборе УРОМС [3].

Образцы получали нанесением тонкого слоя связующего на микалентную бумагу (ТУ—1338001). Пленку высушивали на воздухе и отверждали 10 мин при температуре прессования 135...140°C.