

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 531.3.001.57 : 674.05

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
СТАНИН ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

О. П. АФАНАСЬЕВ, Г. С. ЧУКОВ

Московский лесотехнический институт

Стремление снизить металлоемкость станин станков и повысить технологичность их изготовления привело к идее создания станин из гнутых или штампованных листовых материалов. В связи с этим необходимо определить динамические свойства станин, в том числе их жесткость и резонансные частоты. Для решения данной задачи разрабатывают методики расчета с применением ЭВМ. При этом возникают значительные трудности, обусловленные нелинейностью соответствующих задач теории упругости.

Настоящая статья посвящена обоснованию и обсуждению возможных реализаций экспериментального исследования станин с использованием физического моделирования.

Исходный в теории упругости закон Гука [3] устанавливает связь между компонентами тензора напряжений и тензора деформаций. Эту связь с достаточной для практики точностью можно принять линейной и представить в следующем виде [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + C_{13}\varepsilon_z + C_{14}\gamma_{yz} + C_{15}\gamma_{xz} + C_{16}\gamma_{xy}; \\ \sigma_y &= C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + C_{23}\varepsilon_z + C_{24}\gamma_{yz} + C_{25}\gamma_{xz} + C_{26}\gamma_{xy}; \\ &\dots \\ \tau_{xy} &= C_{61}\varepsilon_x + C_{62}\varepsilon_y + \dots + C_{66}\gamma_{xy}, \end{aligned} \tag{1}$$

где $\sigma_x \dots \tau_{xy}$ — компоненты тензора напряжений;
 $\varepsilon_x \dots \gamma_{xy}$ — компоненты тензора деформаций;
 $C_{11} \dots C_{66}$ — коэффициенты упругости.

Зависимости (1) справедливы для любых упругих тел, в том числе для анизотропных. Применение анизотропных, в частности, волокнистых материалов для изготовления станин или их элементов возможно, поэтому имело смысл записать закон Гука в приведенной выше обобщенной форме.

Чтобы перейти к дифференциальным уравнениям движения (или равновесия) упругой среды, необходимо использовать связь между компонентами тензора деформаций и вектора перемещений. Эта связь имеет следующий вид [2]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right]; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right]; \\ &\dots \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \left[\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right]. \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь u, v, w — составляющие вектора перемещений.

Зависимости (2) нелинейны, что вызывает трудности при численном решении. Лишь для малых деформаций нелинейные члены в формулах (2) можно отбросить. Соответствующие дифференциальные уравнения движения также становятся линейными и принимают форму уравнений Ламе [2, 3]. Вывод критериев подобия для процессов, описываемых уравнением Ламе, приведен в работе [1]. В настоящей работе мы получим критерии подобия для нелинейных зависимостей (2).

При записи уравнений движения используем тензорную символику

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \rho \left(F_i - \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} \right) = 0, \quad (3)$$

где σ_{ij} — компоненты тензора напряжений, определяемые формулами (1);
 x_i — декартовы координаты ($i = 1, 2, 3$);
 ρ — плотность упругой среды;
 F_i — компоненты вектора массовых сил;
 u_j — компоненты вектора перемещений;
 t — время.

Частные производные по координате от тензора деформаций, с учетом соотношений (1), имеют вид:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} = C_{ijrk} \frac{\partial \varepsilon_{rk}}{\partial x_i}. \quad (4)$$

Здесь C_{ijrk} — тензорная форма коэффициентов упругости в соотношениях (1);

ε_{rk} — компоненты тензора деформаций (2).

В тензорной форме компоненты тензора деформаций

$$\varepsilon_{rk} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_r}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_r} + \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_k} \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_r} \right). \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) и затем в (3), получим уравнения движения в следующей форме:

$$\frac{1}{2} C_{ijrk} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_r}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_r} + \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_k} \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_r} \right) + \rho \left(F_j - \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} \right) = 0. \quad (6)$$

Для составления критериев подобия приводим это уравнение к безразмерной форме [1]. С использованием обозначений

$$C_{ijrk} = C_0 C_{ijrk}^0; \quad x_i = l_0 x_{i0}; \quad u_r = l_0 u_{r0}; \quad \rho = \rho_0 \rho_0; \quad F_i = F_0 F_{i0} \quad t = t_0 t_0$$

уравнение (6) имеет вид

$$\frac{1}{2} \frac{C_0}{l_0} C_{ijrk}^0 \frac{\partial}{\partial x_{i0}} \left(\frac{\partial u_{r0}}{\partial x_{k0}} + \frac{\partial u_{k0}}{\partial x_{r0}} + \frac{\partial u_{\alpha 0}}{\partial x_{k0}} \frac{\partial u_{\alpha 0}}{\partial x_{r0}} \right) + \rho_0 F_0 \rho_0 F_{j0} - \rho_0 \frac{l_0}{t_0^2} \frac{\partial^2 u_{j0}}{\partial t_0^2} = 0. \quad (7)$$

Уравнения (7) дают два критерия подобия

$$C_1 = \frac{C_0}{\rho_0 F_0 l_0}; \quad C_2 = \frac{C_0 t_0^2}{\rho_0 l_0^2}. \quad (8)$$

Для нелинейной задачи теории упругости критерии подобия (8) оказались такими же, как и для линейной, рассмотренной в работе [1]. А значит, приведенная в работе [1] методика моделирования справедлива не только в области малых деформаций, но и всюду в упругой области,

где справедлив закон Гука. Из критерия C_1 следует, что при изменении размеров необходимо либо изменять массовую силу (в частности, ускорение силы тяжести), либо на модели применять другой материал с другим значением упругих коэффициентов. Например, с некоторыми оговорками можно использовать для металлических конструкций модели, изготовленные из оргстекла. При решении задачи же о колебаниях станины без больших погрешностей можно пренебречь ее собственной массой, поскольку потенциальная энергия системы из-за вертикальных перемещений элементов станины в процессе колебаний изменяется незначительно по сравнению с энергией упругой деформации. В этом случае для подобия колебаний станины и ее модели необходимо выдержать только критерий C_2 , разумеется, с обязательным соблюдением геометрического подобия. Из этого критерия следует, что при использовании одинакового материала на модели и натуре с уменьшением размеров сокращается характерное время, а значит растут частоты колебаний станины и частоты возмущающих сил от имитаторов оборудования, расположенного на станине.

Рассмотренную методику моделирования предполагается использовать в процессе разработки станины продольно-фрезерного станка С25-4. Данный станок предназначен для плоскостной или профильной обработки прямолинейных заготовок шириной до 250 мм с четырех сторон по сечению за один проход. В технологическом потоке станок работает индивидуально или встраивается в поточную линию. Он может дополнительно комплектоваться калевочным суппортом.

Функциональная схема станка С25-4 представлена на рис. 1.

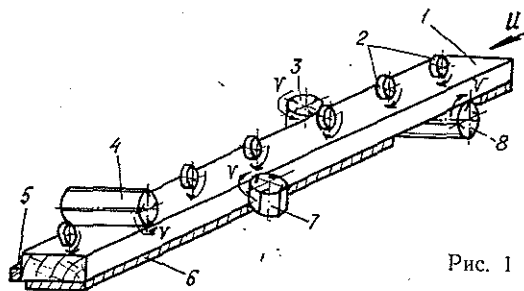


Рис. 1

Заготовка 1 базируется на стол 6 и направляющую линейку 5. Вальцы 2 подают заготовку к зоне обработки. Нижний фуговальный ножевой вал (фреза) 8 формирует нижнюю пластъ будущей детали, правая вертикальная ножевая головка (фреза) 3 — правую кромку детали, левая вертикальная ножевая головка (фреза) 7 — левую кромку детали, верхний горизонтальный рейсмусующий ножевой вал (фреза) 4 — верхнюю пластъ. Все механизмы резания консольного типа имеют индивидуальный привод от электродвигателя через клиноременную передачу. Если станок комплектуют калевочным суппортом, то его устанавливают за верхним горизонтальным ножевым валом (по направлению подачи) и предназначают для действительных или фасонных операций (на рис. 1 он не показан).

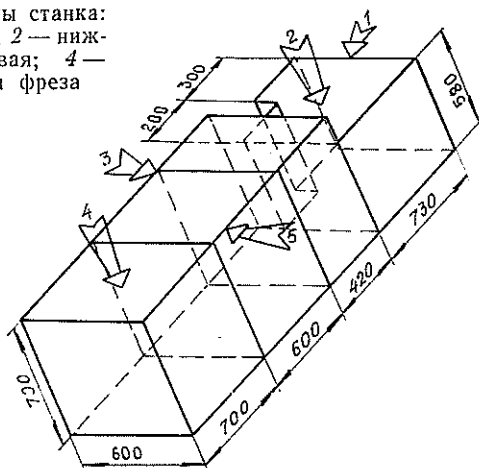
Механизм подачи с приводом монтируют на единой траверсе, которая перемещается от отдельного электродвигателя в вертикальной плоскости для настройки на толщину обрабатываемых заготовок.

Горизонтальные механизмы резания имеют осевое и вертикальное перемещение для настройки на размер, вертикальные механизмы резания — осевое и горизонтальное перемещение. Настроечные перемещения выполняют вручную.

Привод механизма подачи осуществляется от мотор-вариатор-редуктора и имеет плавное регулирование скорости подачи. Частота вращения режущих инструментов постоянна и составляет 5000 мин^{-1} .

Все механизмы резания, подающие и базирующие устройства смонтированы на станине коробчатой формы. Внутри станины находятся эксгаустерные устройства, передаточные и настроечные механизмы.

Рис. 2. Схема станины станка:
1 — механизм подачи; 2 — нижняя фреза; 3 — правая; 4 — верхняя; 5 — левая фреза



Конструктивная схема станины станка и места крепления на ней основных узлов показаны на рис. 2.

Модель станины выполнена из листового материала в масштабе 1:4. Расположение и размеры крепежных отверстий на модели геометрически подобны натурным. В качестве имитаторов фрезерных инструментов можно использовать роторы с регулируемым дисбалансом и частотой вращения до 20 тыс. мин⁻¹.

На основании приведенных исследований можно сделать вывод о том, что параметры колебаний станины, определенные с помощью испытаний ее физической модели, после соответствующего пересчета близки к параметрам колебаний натурной станины. И, следовательно, технические решения по снижению уровня колебаний, найденные при испытаниях модели, эффективны и в реальных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Афанасьев О. П. Физическое моделирование динамических процессов // Лесн. журн.— 1981.— № 3.— С. 70—78. (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Биргер И. Я., Пановко Я. Г. Прочность, устойчивость, колебания.— М.: Машиностроение, 1968.— Т. 1.— С. 17, 22. [3]. Седов Л. И. Механика сплошной среды.— М.: Наука, 1976.— Т. 1.— 164 с.

Поступила 8 октября 1986 г.

УДК 674.093.6

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ НЕОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Н. Д. ФИЛИППОВ, В. И. БАРАШИКОВ

Уральский лесотехнический институт

В теоретических исследованиях раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы принято считать форму бревна усеченным параболоидом вращения, любое сечение которого параллельно продольной оси и представляет собой часть плоскости, ограниченную параболой. Оптимизация раскроя необрезных пиломатериалов на заготовки сводится, как правило, к поиску параметров прямоугольников, вписанных в параболу и обеспечивающих максимум суммарной площади.

Известны решения данной задачи в случае раскроя необрезных досок, наружная пласть которых ограничена полной параболой вида