

3. Наличие функции энергопотребления приводами отделяющих роторов позволяет приступить к составлению целевой функции в виде суммарного стоимостного показателя для оптимизации параметров и режимов работы отделяющих роторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Воскресенский В. Е. Определение толщины стружки и силы резания при отделении луба от бересты фрезерованием при вращательной подаче // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. - Л., 1994. [2]. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов. - М.: Лесн. пром-сть, 1986. - 292 с.

Поступила 15 февраля 1995 г.

УДК 539.4 : 674.815

Ю.Ф. ЧЕРНЫШЕВ, Н.И. ОСТРОУХОВА

Красноярский государственный технический университет

Чернышев Юрий Филиппович родился в 1927 г., окончил в 1951 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов Красноярского государственного технического университета. Имеет свыше 100 печатных трудов.



Остроухова Нелли Ивановна родилась в 1950 г., окончила в 1973 г. Красноярский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов Красноярского государственного технического университета. Имеет 21 печатный труд.



ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МАТЕРИАЛА НА НАПРЯЖЕНИЯ В ДЕРЕВЯННОЙ ВТУЛКЕ

Рассмотрена задача определения тангенциальных напряжений в деревянной осесимметричной втулке, испытывающей внешнее давление. Установлены пределы применимости гипотезы об однородности материала деревянной втулки.

The problem of determining tangential stresses in wooden axisymmetric bushing exposed to external pressure has been considered. The applicability ranges of the hypothesis on wooden bushing material homogeneity have been defined.

Известно, что плотность прессованной древесины толстостенных втулок подшипников скольжения от периферийной части к центральной меняется в широких пределах и зависит от способа их получения и технологии прессования. Например, при изготовлении деревянных втулок контурного прессования плотность ее от периферии к центру уменьшается на 15 ... 25 % [7]. Неравномерность плотности материала толстостенной втулки особенно увеличивается при ее пропитке расплавленными цветными металлами на основе олова или свинца (металлизированная прессованная древесина (МДП) [3, 6]).

Механические свойства древесины, в том числе и модуль упругости, в сильной степени зависят от ее плотности. В частности, модуль упругости древесины – величина, линейно зависящая от плотности и изменяющаяся вдоль радиуса втулки по известному закону.

Теоретический и практический интерес представляет случай, когда

$$E = E_0 \rho^{\nu}, \quad (1)$$

где $\rho = r / r_1$;

r, r_1 – соответственно радиусы внешнего и промежуточного волокон втулки;

E_0, E – соответственно модули упругости на внешнем и промежуточном волокнах с радиусом втулки r в тангенциальном направлении;

ν – некоторая, соответствующим образом подобранная постоянная, отображающая интенсивность изменения плотности и модуля упругости по радиусу втулки (показатель неоднородности материала втулки).

Принятие гипотезы об однородности материала толстостенной деревянной втулки по ее радиусу значительно упрощает расчет напряженно-деформированного состояния и во многих случаях бывает оправданным, так как дает незначительную ошибку.

Необходимо установить пределы применимости этой гипотезы и определить как влияют на точность расчета постоянная ν и относи-

тельный геометрический размер $C = r_2 / r_1$ (r_2 – радиус внутреннего волокна втулки). Показатель анизотропии $K = (E_0 / E_r)^{0.5}$.

Исследуем частный случай загрузки толстостенной анизотропной втулки только внешним давлением P .

Поскольку главную роль в создании напряженно-деформированного состояния анизотропной втулки играют тангенциальные напряжения, ограничимся анализом этих напряжений на ее внешнем и внутреннем волокне.

Запишем формулу тангенциальных напряжений для толстостенной втулки при действии на нее только внешнего давления $P_1 = P$ с учетом неоднородности материала по радиусу [5]:

$$\sigma_{\theta} = \left[\frac{\lambda_1 \rho^{\lambda_1 - 1}}{1 - C^{\lambda_1 - \lambda_2}} - \frac{\lambda_2 \rho^{\lambda_2 - 1}}{C^{\lambda_2 - \lambda_1} - 1} \right] (-P). \quad (2)$$

$$\text{Здесь } \lambda_{1,2} = \frac{\nu \pm \sqrt{\nu^2 + 4(1 - \mu\nu)K^2}}{2};$$

μ – коэффициент поперечной деформации.

Для удобства дальнейших выкладок обозначим $a = \frac{\nu}{2}$;

$b = \sqrt{\left(\frac{\nu}{2}\right)^2 + (1 - \mu\nu)K^2}$. Подставив $\lambda_{1,2} = a \pm b$ в (2), получим

$$\sigma_{\theta} = \left[\frac{(a+b)\rho^{a+b-1}}{1 - C^{2b}} - \frac{(a-b)\rho^{a-b-1}}{C^{-2b} - 1} \right] (-P). \quad (3)$$

Определим тангенциальное напряжение на внешнем волокне σ_1 при $r = r_1$, т. е. при $\rho = 1$. После подстановки в (3) и алгебраических преобразований

$$\sigma_1 = \left[a + b \frac{1 + C^{2b}}{1 - C^{2b}} \right] (-P). \quad (4)$$

Если принять, что плотность материала втулки постоянна по радиусу, т. е. $\nu = 0$, то будем иметь

$$\sigma_1 = K \frac{1 + C^{2K}}{1 - C^{2K}} (-P). \quad (5)$$

Формула (5) может быть легко получена из решения общей задачи напряженно-деформированного состояния деревянной втулки, приведенной в работах [1, 2].

Определим тангенциальное напряжение на внутреннем волокне втулки при действии на нее только внешнего давления $P_1 = P$. Для этого в формулу (2) подставим $r = r_2$, т. е. $\rho = C$. После алгебраических преобразований получим

$$\sigma_{\theta} = \frac{2b C^{a+b-1}}{1 - C^{2b}} (-P). \quad (6)$$

Приняв плотность втулки постоянной по ее радиусу и подставив в (6) $\nu = 0$, будем иметь

$$\sigma_{II} = \frac{2K C^{K-1}}{1 - C^{2K}} (-P). \quad (7)$$

Формула (7) может быть получена из решений, приведенных в работах [1, 2].

Если в формулах (5), (7) принять $K = 1$, т. е. считать материал втулки изотропным, то получим тангенциальные напряжения для частного случая загрузки в известной задаче Г. Ламе для изотропного толстостенного цилиндра [4].

Определим по формуле (4) напряжения на внешнем волокне втулки из МДП при действии на нее внешнего давления для ν , меняющегося от -4 до +4.

Расчет напряжений σ_I проведем для втулок с $K = 2$, $\mu = 0,3$ и $C = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$.

Затем найдем напряжения σ_I по формуле (5) в предположении однородности материала втулки по радиусу ($\nu = 0$) при тех же параметрах втулки K и C . После этого определим процент расхождения P этих напряжений, приняв напряжение σ_I за 100 %. Результаты расчетов представлены на рисунке а.

Аналогично рассчитаем напряжения на внутреннем волокне втулки σ_{II} и σ_I по формулам (6) и (7) при тех же параметрах ν , μ , K , C и процент расхождения для них (рисунк б).

Из данных работ [3, 6] следует, что во втулках, изготовленных из МДП, плотность внешних волокон не может быть больше (или меньше) в 4 раза плотности внутренних волокон. Необходимо установить пределы применимости закономерностей, изображенных на рис. 1, исходя из того, что материалом втулки служит МДП.

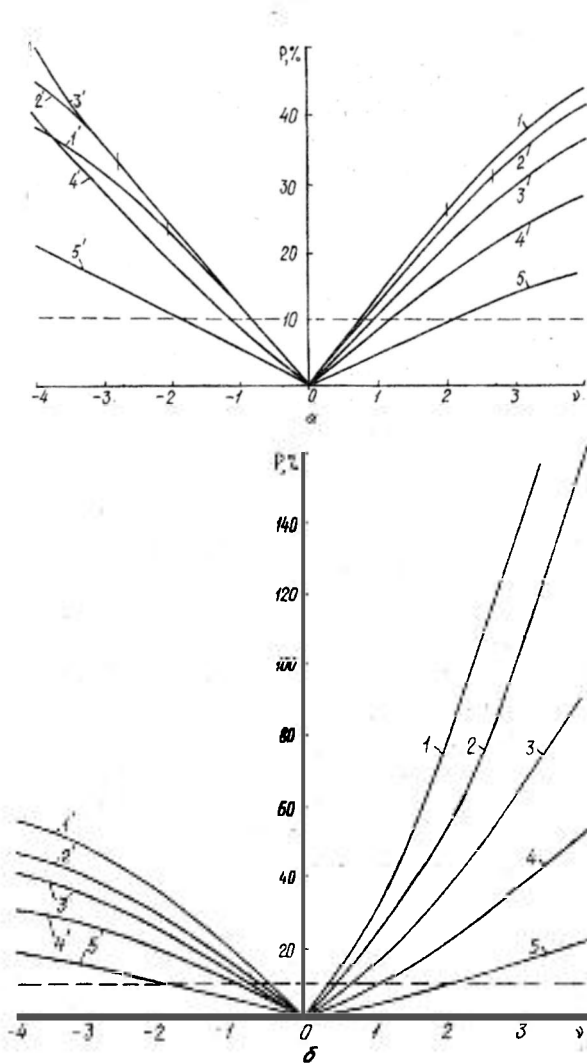
Анализируя формулу (1), легко установить, что при положительных значениях ν модуль упругости материала втулки уменьшается от внешнего волокна втулки к внутреннему, при отрицательных – увеличивается от внешнего волокна к внутреннему.

В таблице приведены значения коэффициента уменьшения (увеличения) Π модуля упругости от внешнего к внутреннему волокну в зависимости от C и ν (расчет E сделан по формуле (1)).

| Показатель неоднородности $\pm \nu$ | Коэффициент Π при различных C | | | | |
|--|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 1,00 | 2,00 | 1,67 | 1,43 | 1,25 | 1,11 |
| 2,00 | 4,00 | 2,78 | 2,04 | 1,56 | 1,23 |
| 2,71 | 6,54 | 4,00 | 2,63 | 1,83 | 1,33 |
| 3,00 | 8,00 | 4,63 | 2,91 | 1,95 | 1,33 |
| 3,88 | 14,72 | 7,26 | 4,00 | 2,38 | 1,50 |
| 4,00 | 16,00 | 7,72 | 4,16 | 2,44 | 1,52 |

Данные таблицы показывают, что только для втулок с $C = 0,7$; $0,8$; $0,9$ приведенные на рисунке графики соответствуют реально существующему материалу МДП в указанных пределах величины ν .

Для втулок $C = 0,5$; $0,6$ эти графики соответствуют реальному материалу МДП до значений ν , равных $\pm 2,00$ и $\pm 2,71$.



Расхождение (P) напряжений σ_1, σ_1' (а) и $\sigma_{II}, \sigma_{II}'$ (б) в зависимости от ν при различных значениях C ($K = 2$; $\mu = 0,3$): 1, 1' — $C = 0,5$; 2, 2' — $0,6$; 3, 3' — $0,7$; 4, 4' — $0,8$; 5, 5' — $0,9$

Гипотеза об однородности материала, согласно рисунка *a*, для втулок с $C = 0,9$ может быть применена до $v = \pm 2,30$ ($\Pi = 1,27$), а для остальных втулок с $C = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ – до $v = \pm 1,00$ ($\Pi = 2,0; 1,67; 1,43; 1,25; 1,11$).

Согласно рисунка *b* для втулок с $C = 0,9$ этой гипотезой можно пользоваться также до $v = \pm 2,30$ ($\Pi = 1,27$), а для втулок с $C = 0,5; 0,6$ – до $v = \pm 0,50$ ($\Pi = 1,41; 1,29$); $C = 0,7$ – до $v = \pm 0,75$ ($\Pi = 1,31$); $C = 0,8$ – до $v = \pm 1,00$ ($\Pi = 1,25$).

При указанных значениях C и v применение гипотезы однородности материалов для расчетов напряжений σ_I и σ_{II} дает ошибку не более 10 %.

При величинах v , более вышеуказанных, для напряжений σ_I ошибка составляет около 20 %, для σ_{II} – около 60 ... 80 % (см. рисунок).

Таким образом, установлены пределы применимости гипотезы однородности материала при расчетах напряженно-деформированного состояния деревянных неоднородных втулок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Борисов В.Н., Чернышев Ю.Ф. Напряжения в деревянных втулках при действии внутреннего и внешнего давлений // Лесн. журн. - 1971. - № 4. - С. 60-63. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Митинский А.Н. Напряжения в толстостенной анизотропной трубе под действием наружного и внутреннего давлений // Сб. науч. тр. - Л.: Изд-во ИИЖДТ, 1948. - Вып. 136. - С. 55-61. [3]. Мовнин М.С., Гнусов Ю.В., Берзиньш Г.В. О физико-механических свойствах металлопрессованной древесины и равномерности распределения компонентов металл-дерево // Науч. тр. / ЛТА. - 1968. - Вып. 83. - С. 141-145. [4]. Соппротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка и др. - Киев: Вища шк., 1979. - 695 с. [5]. Чернышев Ю.Ф. Напряженное состояние ортотропного цилиндра переменной плотности // Лесн. журн. - 1990. - № 6. - С. 71-75. - (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Чубов Н.И. Металлизированная прессованная древесина. - Воронеж: ВГУ, 1975. - 136 с. [7]. Шейдин И.А., Пюдик П.Э. Технология производства древесных пластиков и их применение. - М.: Лесн. пром-сть, 1971. - 264 с.

Поступила 4 апреля 1995 г.