

УДК 630\*812.71

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА  
ПРИ ИЗГИБЕ ДРЕВЕСИНЫ

В. Н. ВОЛЫНСКИЙ

Архангельский лесотехнический институт

Проблема влияния размеров образцов на их физико-механические показатели имеет важное значение в деле прочностной сортировки пиломатериалов, при расчете элементов деревянных конструкций, при нормировании показателей продукции.

Можно считать доказанным, что при растяжении и сжатии различных материалов, в том числе древесины, всегда проявляется основная особенность масштабного фактора — снижение прочности и модуля упругости образцов с увеличением их объема (или размера поперечного сечения). Например, при статическом нагружении металла снижение прочности зависит от его структуры и размеров образцов. При увеличении диаметра образца от 10 до 100 мм снижение прочности составляет: для легированной стали 10 %, для модифицированного чугуна — 25 %, для серого чугуна — 55 % [1]. Объясняется это тем, что вероятность дефектов в большом образце выше, чем в малом. Более прочные материалы менее чувствительны к масштабному фактору, чем материалы с дефектами строения на различных уровнях структуры.

Работы зарубежных и отечественных авторов, в частности Ю. С. Соболева [3] показали, что древесина также чувствительна к масштабному фактору, поскольку отличается большой неоднородностью строения. Зависимость пределов прочности от размеров поперечного сечения образца выражается уравнением Вейбулла

$$y = Ax^{-k}, \quad (1)$$

где  $A$  — показатель при площади поперечного сечения образца для  $x = 1$ ;

$k$  — коэффициент, учитывающий степень неоднородности материала.

В частности, при статическом изгибе предел прочности

$$\sigma_{\text{изг}} = 96,4 (bh)^{-0,12} \text{ Н/мм}^2, \quad (2)$$

а модуль упругости (при 4-точечной схеме нагружения)

$$E = 11,25 (bh)^{-0,0338} \text{ кН/мм}^2. \quad (3)$$

В формулах (2), (3) площадь поперечного сечения  $bh$  выражена в  $\text{см}^2$  ( $b$  — ширина образца;  $h$  — толщина).

Из результатов, полученных в опытах при строгом соблюдении всех видов подобия, неясно, как влияет длина пролета  $l$  на показатели прочности и упругости древесины при изгибе. Зависимости (2), (3) получены при  $l/h = 12$ . С учетом сказанного важно изучить влияние всех трех размеров образца  $l$ ,  $b$ ,  $h$  на предел прочности и модуль упругости древесины при изгибе. При этом, на наш взгляд, следует исходить из следующих предположений.

1. При оценке масштабного фактора целесообразно учитывать не площадь поперечного сечения образца, а его объем.

2. Необходимо делать различие между схемами испытания на изгиб.

При самой простой 3-точечной схеме изгиба в зоне максимального изгибающего момента действуют как нормальные, так и касательные напряжения, что особенно важно учитывать при определении модуля упругости на малых пролетах. Расчетная формула в этих условиях принимает вид [4]

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta f} \frac{l^3}{4bh^3} \left( 1 + k_1 \frac{E}{G} \frac{h^2}{l^2} \right), \quad (4)$$

где  $\Delta f$  — приращение прогиба при заданной нагрузке  $\Delta P$ ;  
 $k_1$  — коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений;  
 $E$  — модуль упругости;  
 $G$  — модуль сдвига.

При 4-точечной схеме нагружения прогибы замеряют в зоне чистого изгиба, поэтому здесь поправка на действие касательных напряжений не требуется.

Для самой распространенной 3-точечной схемы изгиба необходимо учитывать два проявления масштабного фактора: снижение показателей прочности и упругости при увеличении объема образца и повышение этих показателей при возрастании  $l/h$ . Влияние масштабного фактора можно выразить обобщенной функцией

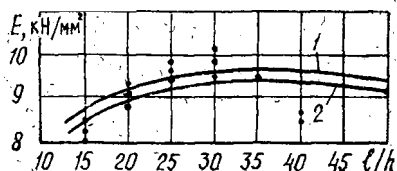
$$y = y_1 x^{-k} \left( 1 - c \frac{h^2}{l^2} \right). \quad (5)$$

Здесь  $y_1$  — показатель при объеме образца  $x_1 = lbh = 1$ .

Коэффициенты  $k$  и  $c$  в этой формуле имеют определенный физический смысл. Коэффициент  $k$  есть мера структурной неоднородности материала, т. е. показатель, который должен зависеть от плотности древесины. Коэффициент  $c$  должен быть более стабильной величиной, так как зависит от безразмерного отношения  $E/G$  и характера распределения касательных напряжений в поперечном сечении образца.

Для проверки зависимости (5) нами проведены экспериментальные и теоретические исследования. Влияние размеров изделия на его модуль упругости изучали на сосновом образце  $100 \times 50$  мм влажностью 10...12%. При начальной толщине образца 50 мм модуль упругости определяли при различных пролетах ( $l/h = 15 \dots 50$ ) для 3-точечной схемы нагружения. Образцы изгибали по обеим пластям, снимая по четыре замера за каждую установку. Значение модуля упругости для данных  $l$  и  $h$  находили как среднее арифметическое из 8 измерений с очень малым коэффициентом вариации (2...5%). После испытаний на образце с начальной толщиной 50 мм его строгали равномерно с двух сторон до толщины 40 мм, и весь цикл испытания повторяли, затем толщину уменьшали до 30 и 20 мм.

Все образцы были прямослойными, не содержали видимых пороков древесины. Расположение годовых слоев в направлении действия изгибающей силы менялось от радиального до полурadiaльного.



Зависимость модуля упругости при изгибе от отношения  $l/h$ :  
 1 —  $h = 20$  мм; 2 —  $h = 50$  мм

Результаты испытаний представлены на рисунке. Уравнение связи имеет вид  $E = a - cz$  (где  $z = h^2/l^2$ ). После определения коэффициентов  $a$  и  $c$  получено:

$$E = 9,71 - 283,9h^2/l^2$$

или

$$E = 9,71 (1 - 29,2h^2/l^2) \quad (6)$$

при коэффициенте корреляции  $r = -0,636$  и критерии Стьюдента  $t = 3,19$  (табличное значение 2,15).

По данным, приведенным в работе [4], имеем:

$$E = 11,3 (1 - 26,9h^2/l^2) \quad (7)$$

при коэффициенте корреляции  $r = -0,873$ .

Зависимость для предела прочности при изгибе, по данным работы [4], имеет вид:

$$\sigma_{\text{изг}} = 85,7 - 1152h^2/l^2 \quad \text{при } r = -0,68$$

или

$$\sigma_{\text{изг}} = 85,7 (1 - 13,4h^2/l^2). \quad (8)$$

Для нахождения коэффициента неоднородности  $k$  воспользовались данными Ю. С. Соболева [3] и выражали  $E$  и  $\sigma_{\text{изг}}$  в зависимости от объемов образца  $x = lbh$ , мм<sup>3</sup>. Коэффициенты  $A$  и  $k$  функции  $y = Ax^{-k}$  находили методом наименьших квадратов. Отсюда получили

$$E = 11,89x_1^{-0,027} (r = -0,954); \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 277,4x_1^{-0,11} (r = -0,995). \quad (10)$$

Уравнения, учитывающие параметры  $x_1$  и  $h/l$ , найдены из зависимостей (6), (8) — (10):

а) для результатов из работы [2]

$$E = 16,0x_1^{-0,027} (1 - 26,9h^2/l^2); \quad (11)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 379,3x_1^{-0,11} (1 - 13,15h^2/l^2); \quad (12)$$

б) для вновь выполненного эксперимента

$$E = 14,6x_1^{-0,027} (1 - 29,2h^2/l^2). \quad (13)$$

Сравнение этих теоретических зависимостей с экспериментальными дает хорошее совпадение: коэффициенты корреляции составили соответственно 0,883; 0,768 и 0,623 при критериях Стьюдента существенно выше табличных значений. Уравнение (13), графически представленное на рисунке, позволяет объяснить наличие экстремума графика  $E(l/h)$ . При увеличении расстояния между опорами и при прочих постоянных размерах сначала сказывается довольно существенное влияние поперечной силы, которое постепенно исчезает, и остается только довольно умеренное влияние возрастания объема образца при повышении его длины.

Итак, выполненная работа позволяет рекомендовать для практического пользования зависимость (5), где коэффициент  $k$  при определенном модуле упругости хвойной древесины составляет примерно 0,027, а при вычислении предела прочности — примерно 0,11. По своей физической сути этот коэффициент должен зависеть от плотности древесины, и данный вопрос еще требует экспериментального изучения. При изгибе по 3-точечной схеме коэффициент  $c$  при определении модуля упругости составляет 26...29, а при вычислении предела прочности — примерно 13,1. При изгибе по 4-точечной схеме данной поправки не требуется.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Батулин А. Т., Панин Б. Б., Ицкович Г. М., Чернин И. М. Детали машин.— 5-е изд.— М.: Машиностроение, 1971.— 466 с. [2]. Волынский В. Н.

О масштабном факторе при испытаниях древесины на изгиб // Изв. вузов. Лесн. журн.—1984.— № 4.— С. 69—74. [3]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.— М.: Лесн. пром-сть.—1979.— 249 с. [4]. Уголев Б. Н., Михайличенко А. Л. Влияние поперечной силы на величину модуля упругости древесины при испытании на статический изгиб // Деревообраб. пром-сть.—1962.— № 10.

Поступила 15 декабря 1989 г.

УДК 621.79 : 621.935

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТЫКОВОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

И. А. БЕСПРОЗВАННЫЙ, А. А. НАСТЕНКО, С. Я. ПАНФИЛОВА

Институт электросварки, Архангельский лесотехнический институт  
УкрНИИспецсталь

Для соединения дерево- и металлорежущих ленточных пил широко используют контактную стыковую сварку сопротивлением и оплавлением [3, 5, 6]. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением более прогрессивна, чем сварка сопротивлением, не требует точной подгонки торца полотна, обеспечивает более равномерный нагрев и условия для предохранения зоны сварки от окисления за счет оболочки жидкого металла [2]. Но наряду с преимуществами электроконтактная сварка оплавлением имеет недостатки, так как не всегда обеспечивает надежность соединения. При эксплуатации пилы возможно возникновение трещин в зоне сварки и, как следствие, аварийное разрушение.

В связи с применением многопильных станков и узлов резания требования к надежности соединения ленточных пил возрастают, что обусловлено также реализацией тенденции к повышению их натяжения.

Образование соединений при стыковой сварке оплавлением — сложный физико-механический процесс. Важные факторы этого процесса — нагрев материала и условия протекания пластической деформации. В ряде случаев оптимальный нагрев — необходимая, но недостаточная предпосылка получения доброкачественных соединений. Это в большей мере зависит от процесса пластической деформации при осадке.

В институте электросварки (ИЭС) разработан способ стыковой сварки с применением формирующих устройств [1]. Такой способ позволяет управлять объемным напряженным состоянием, характером пластической деформации при осадке и, следовательно, существенно влиять на свариваемость металлов и качество соединений. Чем ближе механическая схема пластической деформации к условиям всестороннего объемного сжатия, тем больше уплотняется металл, залечиваются микронесплошности в нем, измельчается и улучшается структура.

Формирование осуществляется с помощью зажимов, которые имеют специальные устройства 1, закрепленные в токопроводящих электродах 2 (рис. 1). Эти устройства изготавливают из жаропрочной стали или металлокерамических материалов.

После достаточного нагрева концов изделий (в процессе оплавления) резко включается осадка, при которой интенсивно деформируется объем металла между формирующими частями 1. Деформация металла носит характер вязкого течения (подобно экструзии), за счет чего в конечный период осадки в зоне соединения возникает напряженное состояние, приближающееся к всестороннему объемному сжатию. Данная схема деформации создает наиболее благоприятные условия для образования полных монолитных соединений.

Ширина тормозящей плоскости  $a-b$  (см. рис. 1) зависит от размера изделий, рода металла и скорости осадки. Для исключения излишних усилий осадки указанная плоскость должна переходить под углом  $\beta$  в плоскость  $b-c$  свободного течения. В процессе осадки кромки формирующих частей  $a-a_1$  сходятся и подрезают выдав-