



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017.42

В.И. Комаров, Е.Ю. Ларина

Архангельский государственный технический университет

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

Тел.: (8182) 21-61-82



Ларина Екатерина Юрьевна родилась в 1982 г., окончила в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (8182) 65-00-92



РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ВОЛОКНИСТЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СЖАТОЙ ЗОНЕ В ПЛОСКОСТИ ЛИСТА

Показана возможность расчета деформаций волокнистых целлюлозно-бумажных материалов при испытании на изгиб с учетом пластической составляющей.

Ключевые слова: жесткость при изгибе, модуль упругости, пластическая деформация.

При испытании образцов бумаги и картона на жесткость при изгибе с использованием статических методов, которые имитируют реальные условия переработки и применения этих материалов, наряду с упругими проявляются и пластические деформации. Эта проблема обсуждается с середины прошлого века [5, 6], но так и не был создан метод для количественной оценки влияния пластической деформации данных материалов в процессе испытаний на жесткость при изгибе. В работах [1–3] была предложена гипотеза деформирования при изгибе волокнистых целлюлозно-бумажных материалов, позволяющая рассчитать толщину слоя, в сжатой зоне которого возникает неустойчивость структурных элементов, приводящая к увеличению деформации, т.е. снижению жесткости.

Необходимо отметить, что наряду с пластическими деформациями, возникающими в структуре волокнистых целлюлозно-бумажных материалов по толщине листа при изгибе, появляются пластические деформации и в

плоскости листа. Если попытка хотя бы опосредованно оценить устойчивость волокна в зоне сжатия материала при изгибе существует (стандартизованный метод SCT (short compression test), характеризующий сопротивление сжатию короткого участка образца материала), то методик, позволяющих оценить пластические деформации в плоскости листа при изгибе бумаги или картона, нами не обнаружено. В работе [4] для слоистых пластиков предложена методика определения увеличения деформации за счет пластической составляющей в плоскости образца при изгибе. В этом случае для получения действительной деформации за пределами упругой работы необходимо использовать приведенный момент, который имеет большую, чем действительный момент от приложенной нагрузки, величину.

Гипотетический изгибающийся момент (кН·м) может быть выражен уравнением

$$(M_x)_\phi = \frac{4(\sigma_{сж} W)^3}{(3\sigma_{сж} W - M_x)^2} = \frac{4\sigma_{сж} W}{\left(3 - \frac{M_x}{\sigma_{сж} W}\right)^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$ – напряжение сжатия короткого участка образца, МПа;

W – момент сопротивления поперечного сечения образца, м³;

M_x – действительный изгибающий момент, кН·м.

Цель данной работы – установить возможность использования уравнения (1) при испытаниях волокнистых целлюлозно-бумажных материалов (в первую очередь бумаги и картона).

На практике жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов часто оценивают графоаналитическим методом при испытании консольно закрепленного образца (рис. 1).

Определим деформации в любой момент времени $t = t_{сж}$ при изгибе консольно закрепленного образца сосредоточенной силой P , приложенной на конце консоли [4].

Изгибающий момент в любом сечении

$$M_x = -Px. \quad (2)$$

Определим границу между участками образца с упругой и упругопластической деформациями. Для этого на расстоянии x (момент $M = \sigma_{сж} W$) параллельно базе эпюры моментов проводим линию, которая пересекает эту эпюру на две части. Приравняв значения моментов, находим

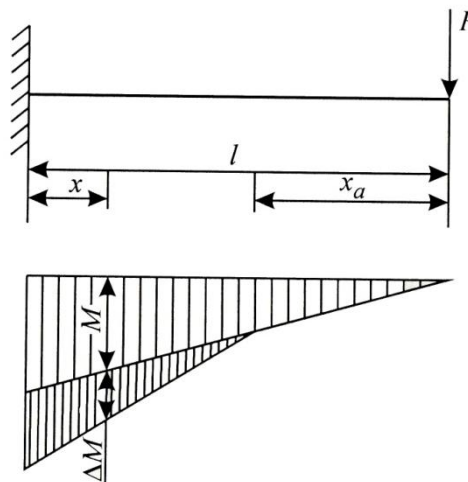


Рис. 1. Схема для определения деформаций графоаналитическим способом

$$x_a = \frac{\sigma_{сж} W}{P}. \quad (3)$$

На участке стержня от $x = x_a$ до $x = l$ к действительному моменту от внешних сил M_x вследствие образования пластических деформаций прибавляется приращение изгибающего момента:

$$(\Delta M_t)_x = (M_\phi)_t + Px = 4\sigma_{сж} W / \{3 - Px/(\sigma_{сж} W)\}^2 + Px. \quad (4)$$

Приведенный момент в сечении x с изменением интервала времени от $t = t_{сж}$ до $t \rightarrow \infty$ изменяется по экспоненциальному закону, так как напряжение $\sigma_{сж}$ тоже связано со временем.

Угол поворота в любом сечении на расстоянии $x > x_a$ в любой интервал времени t

$$(\Theta_t)_x = -\frac{3(\sigma_{сж} W)^2}{2PEI} \left[1 - \frac{8\sigma_{сж} W}{3(3\sigma_{сж} W - P_x)} \right]. \quad (5)$$

Прогиб в любом сечении $(f_t)_x$ на расстоянии $x > x_a$ в момент времени t равен гипотетическому изгибающему моменту M_x^ϕ в сечении x от гипотетической нагрузки $E_t I$:

$$(f_t)_x = \frac{M_x^\phi}{E_t I}, \quad (6)$$

т.е. прогиб в любом сечении на расстоянии $x > x_a$

$$(f_t)_x = \frac{F_x x_c}{E_t I}. \quad (7)$$

Находим

$$F_x x_c = \int_0^{x_a} Px^2 dx + \int_{x_a}^x \frac{4\sigma_{сж} W_x}{\left(3 - \frac{Px}{\sigma_{сж} W}\right)} dx. \quad (8)$$

Интегрируем выражение для $F_x x_c$ и подставляем в выражение (9):

$$(f_t)_x = \frac{4(\sigma_{сж} W)^3}{P^2 E_t I} \left(\frac{13}{12} - \frac{Px}{\sigma_{сж} W} + 3 \ln \frac{2}{3 - \frac{Px}{\sigma_{сж} W}} \right). \quad (9)$$

Для эксперимента изготавливали отливки, имеющие массу 1 м² 100 г и степень помола (СП) 18, 24 и 35° ШР. Исходная масса в зависимости от условий технологического процесса имела степень помола 14...16° ШР.

Испытание образцов на жесткость при изгибе проводили на приборе «Messmer Buchel 116-BD»; угол изгиба составлял 7,5°.

Результаты расчета жесткости и модуля упругости при изгибе с использованием традиционных уравнений и уравнений, учитывающих пластическую деформацию, приведены в таблице и на рис. 2. Обнаружена разница между этими величинами.

Жесткость при изгибе полуфабрикатов, используемых при производстве флютинга

Образец	СП, °ШР	δ , мкм	EI , мН·см ²	$E_{изг}$	$\sigma_{сж}$	$E_{сж}$	$\frac{EI^r}{EI}$ 100, %
				МПа			
ЦВВ без пропитки	14	169	122,7	2029	11,6	1183	77,2
			158,8	2633	23,5	2391	
	18	128	93,6	3607	34,0	2433	82,9
			112,9	4357	55,0	3932	
24	120	85,7	3970	40,6	2861	87,9	
		97,5	4520	56,2	3961		
НСПЦ	35	114	81,2	4445	45,3	3068	84,9
			95,6	5232	68,5	4644	
	16	197	132,9	1384	5,6	865	99,7
			133,2	1395	5,8	887	
18	169	128,1	2129	10,1	1263	98,6	
		129,7	2160	10,5	1323		
24	143	107,9	2938	16,5	1818	98,9	
		109,1	2967	17,1	1875		
35	130	86,9	3202	24,2	2302	92,6	
		93,8	3405	28,5	2709		

Примечание. В числителе приведены данные с учетом пластических деформаций, в знаменателе – без учета.

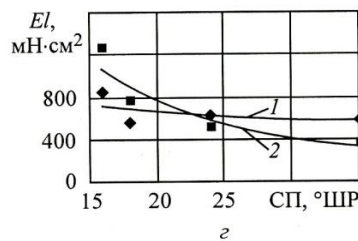
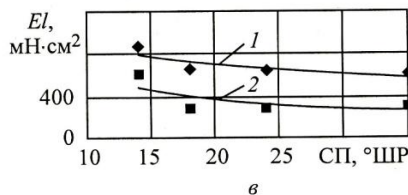
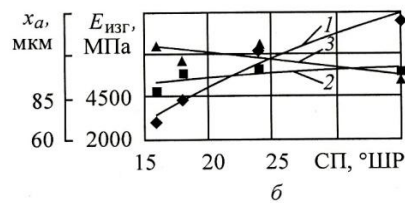
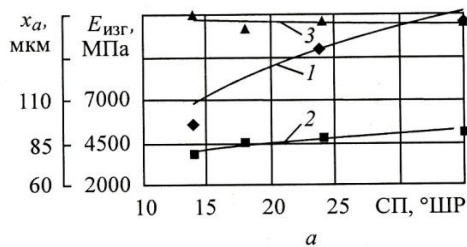


Рис. 2. Модуль упругости (а, б) и жесткость (в, г) при изгибе образцов ЦВВ без пропитки (а, в) и НСПЦ (б, г): 1 – без учета пластических деформаций; 2 – с учетом; 3 – x_a (см. рис. 1)

Выводы.

1. Экспериментально подтверждена возможность использования математического аппарата, разработанного для упругопластических материалов, испытываемых на изгиб, для оценки предельного состояния в зоне сжатия при изгибе в случае испытания целлюлозно-бумажных материалов.

2. Показана возможность использования треугольно-трапецидальной эпюры для расчета слоя структуры материала, в котором возникает предельное состояние.

3. Обнаружено, что значения жесткости и модуля упругости при изгибе, вычисленные по уравнениям для упругих материалов, несколько завышены по сравнению с полученными по уравнениям, учитывающим влияние пластических деформаций. Разность между ними будет тем больше, чем выше доля пластической деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белянкин, Ф.П.* Пластические деформации дерева при изгибе [Текст] / В.Ф. Белянкин // Тр. 1-й Всесоз. конф. по прочности авиаконструкций. – 1936.

2. *Комаров, В.И.* Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 86–91. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Комаров, В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.

4. *Яценко, В.Ф.* Прочность и ползучесть слоистых пластиков [Текст] / В.Ф. Яценко. – К.: Наук. думка, 1966. – 204 с.

5. *Brecht, W.* [Text] // Paiperfabricant. – 1940. – Vol. 38. – S.17.

6. *Brecht, W.* Über die Steifigkeitsprüfung von Papier, Karton und Papen [Text] / W. Brecht, F. Muller // Das Papier. – 1960. – Vol. 14. – S. 7–9.

Поступила 18.02.09

V.I. Komarov, E.Yu. Larina
Arkhangelsk State Technical University

Hardness Calculation in Bending Fiber Pulp-and-Paper Materials Considering Plastic Deformations in Sheet Plane

Possibility of calculating deformations of fiber pulp-and-paper materials in bending test considering plastic constituent is demonstrated

Keywords: hardness in bending, coefficient of elasticity, plastic deformation.
