



УДК 676.4:620.183

*Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров*

### ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ СТРУКТУРЫ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕСТ-ЛАЙНЕРА

Установлена линейная взаимосвязь между анизотропией структуры, определяемой отношением коэффициентов жесткости при растяжении в машинном и поперечном направлениях и характеристиками прочности и деформативности.

*Ключевые слова:* тест-лайнер, структура, анизотропия, коэффициент жесткости при растяжении, прочность, деформативность.

Один из способов оптимизации производства картона на картоноделательной машине (КДМ) – получение информации о степени анизотропии структуры данного материала. Для этой цели все шире используется прибор, позволяющий определять, в частности, коэффициенты жесткости TSI при растяжении в машинном (MD) и поперечном (CD) направлениях. Отношение величин этих коэффициентов ( $TSI_{MD}/TSI_{CD}$ ) является характеристикой анизотропии [2].

При анализе работы КДМ, на которой производится картон из вторичного волокна (тест-лайнер), было установлено, что в результате нестабильной работы напорного ящика анизотропия структуры картона во времени и по ширине тамбура имеет высокую вариацию.

Цель данной работы – выявить влияние степени анизотропии структуры этого вида картона на его деформационные и прочностные характеристики.

Результаты эксперимента, представленные в табл. 1–3, показывают, что по ширине КДМ можно выделить участки картонного полотна, анизотропия структуры которых отличается на 7...50 %, т.е. в цех гофротары поступают рулоны картона с различными физико-механическими свойствами. Перечень характеристик, используемых для оценки качества картона, и их описание представлены в работе [1].

Таблица 1

**Влияние степени анизотропии структуры тест-лайнера на его стандартные характеристики качества (в числителе – средняя величина, в знаменателе – коэффициент вариации)**

TSI <sub>MD/CD</sub>	δ, мкм	П, кПа	RCT, Н	SCT, кН/м	
				MD	CD
1,50	244/1,9	351/6,6	249,5/2,6	4,76/–	2,87/–
1,75	244/2,1	332/6,3	259,5/1,4	4,29/–	2,84/–
2,00	246/1,5	360/7,0	231,0/4,9	4,68/–	2,88/–
2,25	242/1,2	324/7,8	223,5/2,2	4,42/–	2,75/–

Примечание. δ – толщина картона; П – сопротивление продавливанию; RCT – сопротивление сжатию кольца; SCT – сопротивление торцевому сжатию короткого участка образца.

Таблица 2

**Влияние степени анизотропии структуры тест-лайнера на характеристики прочности и деформативности при испытании на растяжение в направлении MD (числитель) и CD (знаменатель)**

TSI <sub>MD/SD</sub>	$E_1$ , МПа	$S_p$ , кН/м	$J_{1c}$ , кДЖ/м	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$A_p$ , мДж	Относительный вклад в $A_p$ , %			
							$A_y$	$A_{z-y}$	$A_n$	$A_t$
1,50	<u>2787</u>	<u>677</u>	<u>1550</u>	<u>29,92</u>	<u>1,76</u>	<u>116,4</u>	<u>3,9</u>	<u>40,7</u>	<u>38,7</u>	<u>16,7</u>
	1683	414	456	20,61	2,54	125,8	2,0	39,8	41,5	16,7
1,75	<u>3582</u>	<u>861</u>	<u>1678</u>	<u>37,44</u>	<u>1,55</u>	<u>122,1</u>	<u>0,4</u>	<u>43,2</u>	<u>37,7</u>	<u>18,7</u>
	1789	439	471	20,03	2,31	111,0	2,0	39,4	40,7	17,9
2,00	<u>3617</u>	<u>882</u>	<u>1703</u>	<u>37,79</u>	<u>1,49</u>	<u>117,6</u>	<u>0,1</u>	<u>42,2</u>	<u>36,0</u>	<u>21,7</u>
	1599	390	412	19,19	2,42	110,3	2,1	38,7	42,5	16,7
2,25	<u>3710</u>	<u>902</u>	<u>1713</u>	<u>36,87</u>	<u>1,37</u>	<u>104,6</u>	<u>0,4</u>	<u>43,8</u>	<u>34,3</u>	<u>21,5</u>
	1574	381	403	17,31	2,37	98,8	2,0	41,2	38,4	18,4

Примечание.  $E_1$  – модуль упругости;  $S_p$  – жесткость при растяжении;  $\sigma_p$  – разрушающее напряжение;  $\epsilon_p$  – деформация разрушения;  $A_p$  – работа разрушения;  $A_y$  – работа в зоне упругих деформаций;  $A_{z-y}$  – работа в зоне замедленно-упругой деформации;  $A_n$  – работа на конечном участке замедленно-упругой деформации;  $A_t$  – работа в области предразрушения образца.

Таблица 3

**Влияние степени анизотропии структуры тест-лайнера на характеристики деформативности при приложении изгибающей нагрузки в направлении MD (числитель) и CD (знаменатель)**

TSI <sub>MD/SD</sub>	$\delta$ , мкм	$EI$ , мН·см <sup>2</sup>	$E_{изг.}$ , МПа	$E_{1c}$ , мН·см <sup>2</sup>	$E_{изг. с.}$ , МПа	$E_{1в.}$ , мН·см <sup>2</sup>	$E_{изг. в.}$ , МПа	$\Delta EI$ , мН·см <sup>2</sup>	$\Delta E_{изг.}$ , МПа
1,50	<u>251</u>	<u>1431</u>	<u>2899</u>	<u>1375</u>	<u>2785</u>	<u>1487</u>	<u>3012</u>	<u>112</u>	<u>227</u>
	252	765	1512	722	1425	809	1598	87	174
1,75	<u>255</u>	<u>1503</u>	<u>2870</u>	<u>1415</u>	<u>2701</u>	<u>1591</u>	<u>3039</u>	<u>176</u>	<u>338</u>
	251	793	1595	746	1500	840	1690	93	190
2,00	<u>251</u>	<u>1651</u>	<u>3306</u>	<u>1592</u>	<u>3189</u>	<u>1711</u>	<u>3423</u>	<u>118</u>	<u>234</u>
	248	684	1426	634	1321	734	1530	100	209
2,25	<u>253</u>	<u>1711</u>	<u>3376</u>	<u>1574</u>	<u>3101</u>	<u>1847</u>	<u>3650</u>	<u>274</u>	<u>549</u>
	255	647	1225	585	1107	709	1344	124	237

Примечание.  $EI$  – жесткость;  $E_{изг.}$  – модуль упругости (средние величины при изгибе на обе стороны листа);  $E_{1c}$  – жесткость;  $E_{изг. с.}$  – модуль упругости (обе величины при изгибе на сеточную сторону листа);  $E_{1в.}$  – жесткость;  $E_{изг. в.}$  – модуль упругости (обе величины при изгибе на внешнюю сторону листа);  $\Delta EI = EI_{в.} - EI_{с.}$  – характеристика разносторонности листа;  $\Delta E_{изг.} = E_{изг. в.} - E_{изг. с.}$

При статистической обработке данных эксперимента получены уравнения связи и коэффициенты корреляции (табл. 4), устанавливающие прямолинейную зависимость между величиной исследуемых характеристик и степенью анизотропии структуры тест-лайнера. Уравнения (1) – (9) отражают взаимосвязь при испытании образцов в машинном направлении, (10) – (18) – в направлении, поперечном машинному.

Как видно из данных табл. 1–4, с ростом анизотропии структуры снижаются стандартные характеристики качества – сопротивление продавливанию П и сопротивление сжатию кольца RCT, также и вновь вводимая характеристика – сопротивление торцевому сжатию короткого участка образца SCT. В то же время возрастает трещиностойкость образцов  $J_{1c}$  за счет увеличения относительного вклада в работу разрушения величины  $A_t$ , т.е. работы в области предразрушения образца, что ведет к увеличению продолжительности работы КДМ без обрыва. Увеличение

Таблица 4

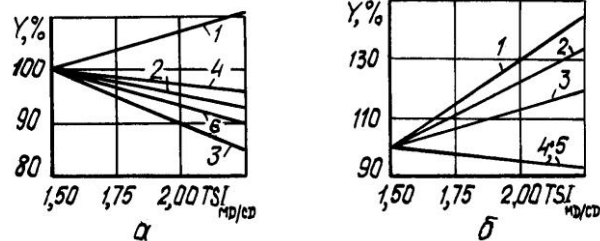
## Уравнение связи и коэффициенты корреляции

Порядковый номер уравнения	Уравнение связи	Коэффициент корреляции
1	$\sigma_p = 2,24 TSI_{MD/CD} + 32,605$	$R = 0,61$
2	$E_1 = 661,6 TSI_{MD/CD} + 2383,5$	$R = 0,90$
3	$A_p = -31,08 TSI_{MD/CD} + 176,60$	$R = 0,98$
4	$RCT = -42,6 TSI_{MD/CD} + 320,75$	$R = 0,83$
5	$SCT = -0,128 TSI_{MD/CD} + 3,075$	$R = 0,70$
6	$S_t = 165,40 TSI_{MD/CD} + 543950$	$R = 0,93$
7	$\epsilon_p = -0,456 TSI_{MD/CD} + 2,39$	$R = 0,98$
8	$EI = 480,61 TSI_{MD/CD} + 757,81$	$R = 1,00$
9	$J_{IC} = -277,790 TSI_{MD/CD} + 2231,7$	$R = 0,60$
10	$\sigma_p = -4,296 TSI_{MD/CD} + 27,340$	$R = 0,96$
11	$E_1 = -206,8 TSI_{MD/CD} + 20490$	$R = 0,69$
12	$A_p = -32,68 TSI_{MD/CD} + 172,75$	$R = 0,95$
13	$\Pi = -20,9 TSI_{MD/CD} + 380,75$	$R = 0,41$
14	$SCT = -0,252 TSI_{MD/CD} + 5,010$	$R = 0,37$
15	$S_t = -57,92 TSI_{MD/CD} + 514,6$	$R = 0,73$
16	$\epsilon_p = -0,160 TSI_{MD/CD} + 2,71$	$R = 0,53$
17	$EI = -161,72 TSI_{MD/CD} + 1076,1$	$R = 0,85$
18	$J_{IC} = 86,732 TSI_{MD/CD} + 272,76$	$R = 0,85$

анизотропии структуры приводит к снижению вязкоупругих свойств тест-лайнера, т.е. его динамической прочности. По-видимому, это связано с изменением относительного вклада работы на конечном участке замедленно-упругой деформации в работу разрушения  $A_p$ .

На рисунке представлены относительные изменения  $Y$  некоторых важнейших характеристик тест-лайнера в зависимости от анизотропии структуры. За 100 % приняты величины характеристик образцов тест-лайнера со степенью анизотропии 1,50.

Необходимо отметить, что при использовании тары из гофрокартона наибольшую нагрузку испытывают стенки ящика, особенно, в направлении CD. Из рисунка следует, что все характеристики, обеспечивающие потребительские свойства гофротары, ухудшаются с увеличением степени анизотропии, а разносторонность  $\Delta EI$  увеличивается.



Относительное изменение характеристик тест-лайнера в зависимости от степени анизотропии структуры:  
 1 –  $\Delta EI$ ; 2 –  $E_1$ ; 3 –  $EI$ ; 4 –  $SCT$ ; 5 –  $\Pi$ ; 6 –  $RST$ ;  
 а – в направлении MD; б – CD

Следовательно, при модернизации КДМ, работа которой подвергалась анализу, особое внимание необходимо уделить следующим параметрам: правильности регулировки параллельности и горизонтальности мокрой части КДМ; соотношению скоростей струи бумажной массы и сетки; концентрации бумажной массы в напорном ящике; пульсациям и вибрациям, наблюдаемым в напорном ящике; наличию поперечного потока волокон, покидающих напорный ящик; величине угла контакта струи массы с сеткой и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комаров В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров. – Киров: Изд-во «Вятка», 2002. – 442 с.
2. *Lindblad G.* The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board / G. Lindblad, T. Fürst. – Sweden: Lorentzen and Wettre, 2001. – 97 s.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 01.10.04

*N.I. Yablochkin, V.I. Komarov*

#### **Influence of Structure Anisotropy on Deformational and Strength Characteristics of Test-liner**

The linear interrelation between structure anisotropy defined by the ratio of tension stiffness in the mechanical and crosswise direction and strength characteristics is found.

