

УДК 676. 62

Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров

РАЗЛИЧИЯ В МЕХАНИЧЕСКОМ ПОВЕДЕНИИ КАРТОНОВ-ЛАЙНЕРОВ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ ПЕРВИЧНОГО ИЛИ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА

Проведено сравнение механического поведения образцов крафт- и тест-лайнеров различных производителей, в ходе анализа кинетики процесса разрушения установлена особая роль замедленно-упругого деформирования.

Ключевые слова: крафт-лайнер, тест-лайнер, вязкоупругость, разрушение, зоны разрушения, работа разрушения, кинетика, прочность, упругость.

Во второй половине XX в. в мировой практике производства бумаги и картона значительно вырос интерес к использованию макулатуры в качестве источника вторичного волокна. Это объяснялось как ужесточением законодательства по охране окружающей среды, так и экономической целесообразностью. Поэтому при производстве материалов с использованием макулатуры необходимо знать их потребительские свойства. Расширение номенклатуры характеристик, оценивающих механическое поведение данного класса материалов [1, 2, 5, 7–9] при растяжении и изгибе, позволит совершенствовать технологию подготовки массы из вторичного волокна для повышения качества продукции.

Цель данной работы – установить характеристики механического поведения картона тест-лайнера, отличающие его от крафт-лайнера и повышающие потребительские свойства материала из вторичного волокна.

Аналізу подвергнуты экспериментальные данные, полученные при испытаниях образцов крафт (1 и 2)- и тест (1 и 2)-лайнеров, произведенных на четырех предприятиях. Образцы имели массу 150 г/м^2 .

Крафт-лайнеры изготовлены из сульфатной небеленой хвойной полуцеллюлозы с добавкой в основной слой лиственной нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ). Крафт-лайнер 2 содержал примерно в два раза больше НСПЦ в композиции основного слоя, степень помола волокна в котором была выше на $4...6 \text{ }^\circ\text{ШР}$ по сравнению с крафт-лайнером 1.

Технология изготовления тест-лайнеров отличалась композицией по волокну и параметрами подготовки бумажной массы. Бумажная масса тест-лайнера 1 содержала четыре марки макулатуры, сортировалась с большей эффективностью, набухание волокна при подготовке продолжалось более длительное время.

Механическое поведение целлюлозно-бумажных материалов и кинетика изменения их основных характеристик хорошо иллюстрируются кривыми зависимостей усилие–удлинение ($P - \Delta l$, машинная диаграмма) и напряжение–деформация ($\sigma - \varepsilon$), получаемой расчетным путем при использо-

вании первой кривой. В работе [3] было показано, что бумага является вязкоупругим материалом, в котором наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются неупругие деформации; величина этих деформаций в определенной степени зависит от продолжительности или скорости приложения нагрузки. Для оценки таких материалов широко используют такие характеристики, как работа разрушения A_p и трещиностойкость, оцениваемая величиной J -интеграла (J_{IC}).

Анализ кривых зависимостей $P - \Delta l$ и $\sigma - \varepsilon$ позволяет выделить четыре характерные точки (рис. 1), ограничивающие зоны, в которых работают различные механизмы деформирования и разрушения данных материалов: I – деформирование волокон и межволоконных связей, совершается работа в области упругих деформаций A_y ; II – начало образования трещины (разрушаются связи на концах малодеформированных волокон), работа в области начальных замедленно-упругих деформаций A_{3-y} ; III – замедленное образование трещины (отрыв деформированных волокон) при слиянии микрокапилляров, работа на конечном участке замедленно-упругих деформаций A_{II} ; IV – быстрый рост трещины и разрушение материала (разрыв волокон), работа в области предразрушения A_T .

На рис. 2 и в таблице представлены экспериментальные данные, полученные при испытании образцов картонов на растяжение в машинном (MD) и поперечном машинном (CD) направлениях.

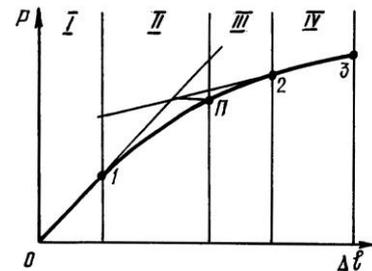


Рис. 1. Составляющие процесса разрушения волокнистого целлюлозно-бумажного материала: $A_p = A_y + A_{3-y} + A_{II} + A_T$; I – предел упругости; II – начало образования пластических деформаций; 2 – начало быстрого роста трещины; 3 – разрушение материала

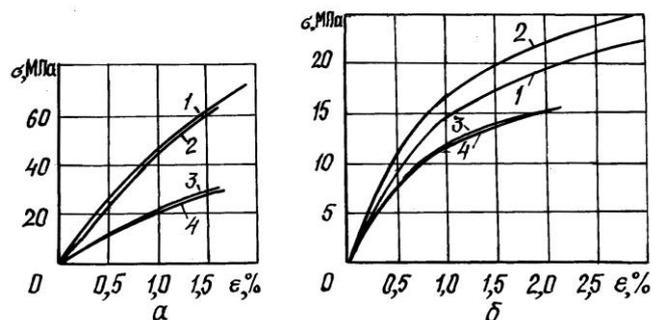


Рис. 2. Кривые зависимости $\sigma - \varepsilon$ при испытаниях в направлении MD (а) и CD (б): 1 – крафт-лайнер 1; 2 – 2; 3 – тест-лайнер 1; 4 – 2 (обозначения использованы и на рис. 3–5)

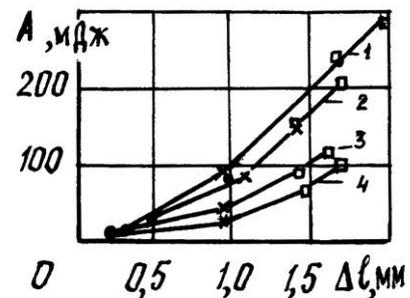
Изменение характеристик деформативности и прочности картонов-лайнеров в процессе деформирования при растяжении и изгибе в направлениях MD и CD

Характеристика	Образец картона	MD				CD			
		Значение характеристики в точках							
		1	II	2	3	1	II	2	3
$P, Н$	Крафт-лайнер	44,06	163,45	232,72	256,94	19,00	62,65	76,93	79,83
		105,72	165,87	200,73	223,46	30,03	74,29	86,77	91,42
	Тест-лайнер	16,91	86,92	106,90	112,63	14,53	51,76	61,99	64,55
		21,49	72,34	90,70	95,78	17,75	44,96	53,66	55,85
$\sigma, МПа$	Крафт-лайнер	12,22	45,33	64,54	71,25	5,23	17,24	21,18	21,97
		29,71	46,62	56,42	62,81	8,21	20,31	23,73	25,00
	Тест-лайнер	4,09	21,01	25,84	27,23	3,47	12,36	14,80	15,41
		5,83	19,62	24,60	25,98	4,77	12,09	14,43	15,01
$\varepsilon, \%$	Крафт-лайнер	0,22	0,99	1,68	1,97	0,30	1,53	2,74	3,09
		0,63	1,06	1,40	1,67	0,42	1,47	2,29	2,73
	Тест-лайнер	0,15	0,97	1,43	1,62	0,22	1,19	1,88	2,14
		0,22	0,96	1,47	1,67	0,31	1,16	1,82	2,07
$A, мДж$	Крафт-лайнер	4,6	88,0	225,5	288,7	2,3	56,3	141,3	167,4
		31,0	88,6	149,7	205,3	6,2	63,1	129,2	167,5
	Тест-лайнер	1,0	47,7	90,2	109,3	1,6	37,1	75,7	91,0
		2,0	38,6	80,3	97,5	2,8	31,1	63,1	75,9
$E_r, МПа$	Крафт-лайнер	5546	3330	2398	2244	1804	458	245	222
		5024	3313	2551	2265	1981	578	316	274
	Тест-лайнер	2756	1302	828	731	1601	471	260	222
		2689	1202	762	677	1552	474	262	227
$E_{од}, МПа$	Крафт-лайнер	5466	4568	3844	3613	1773	1126	773	712
		4700	4380	4024	3753	1959	1382	1036	914
	Тест-лайнер	2711	2157	1804	1686	1584	1040	787	719
		2661	2047	1669	1555	1527	1043	793	726
$n, с$	Крафт-лайнер	–	15,9	12,4	11,1	–	14,7	12,5	12,0
		–	22,9	17,3	14,4	–	18,8	14,8	13,5
	Тест-лайнер	–	15,6	12,3	11,0	–	12,2	10,6	10,0
		–	13,9	11,1	10,2	–	13,1	11,0	10,3

Примечание. В числителе – данные для образцов 1, в знаменателе – 2.

Различия в механическом поведении крафт- и тест-лайнеров проявляются в большей степени при испытании в направлении MD. Для тест-лайнеров ход кривых зависимости $\sigma - \varepsilon$ идентичен при испытании в обоих направлениях (MD и CD), в то время как у крафт-лайнеров наблюдаются существенные различия. Введение в композицию крафт-лайнера 2 больших количеств коротковолокнистой НСПЦ приводит к снижению величины деформации разрушения ε_p в одном случае (рис. 2, а) и заметному различию в ходе кривых в другом (рис. 2, б). Для интерпретации полученных данных на рис. 3–5 представлены изменение величины работы разрушения A_p , вклад различных составляющих процесса разрушения в A_p , относительный вклад работ в различных зонах деформирования в A_p .

Рис. 3. Изменение A_p при испытании на растяжение в точках, соответствующих рис. 1: 1 (A_y), П (A_{3-y}), 2 (A_n) и 3 (A_T)



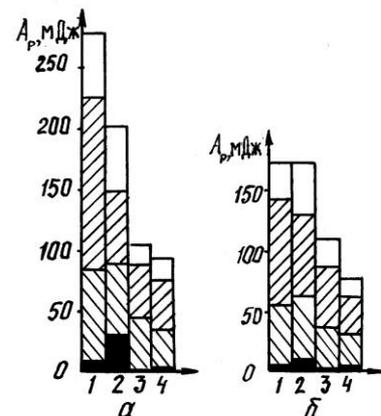
Из рис. 3 следует, что ход кривых определяется видом волокна, картон из первичного более длинного волокна обнаруживает наиболее высокие значения характеристик; закономерность изменения характеристик зависит от того, какое волокно (первичное или вторичное) присутствует в структуре картона; закономерности изменения работы разрушения в III и IV зонах деформирования идентичны, основное различие в механическом поведении обусловлено процессами, происходящими в I и II зонах, т. е. оно определяется поведением в силовом поле межволоконных сил связи и перемещениями (занятие оптимального, с энергетической точки зрения, положения коротких волокон ($l \ll l_{кр}$)).

Из рис. 4 следует, что основное различие в механическом поведении крафт- и тест-лайнеров формируется во II и III зонах деформирования при заметном влиянии явлений, происходящих в IV зоне.

Однако относительный вклад работ, произведенных в различных зонах деформирования, в A_p не зависит от абсолютной величины работы и во всех исследуемых случаях отличается незначительно (рис. 5).

Таким образом, механическое поведение материала (следовательно весь комплекс его деформационных и прочностных свойств) в значительной мере зависит от замедленно-упругой деформации, т.е. проявления вязкоупругих свойств в II и III зонах кривой зависимости $\sigma - \varepsilon$. Это обусловлено величиной критической длины волокна l_k , содержанием волокон с $l < l_{кр}$ и $l > l_{кр}$ и относительным вкладом в возникающую пластическую деформацию механизмов сдвиговой вынужденной эластичности и крейзования [4, 6].

Рис. 4. Вклад составляющих процесса разрушения A_y , A_{3-y} , A_n , A_T (здесь и далее на рис. 5, \square – A_y , \square – A_{3-y} , \square – A_n , \square – A_T) в A_p для различных образцов картонов-лайнеров (1 – 4) при испытании в направлениях MD (а) и CD (б)



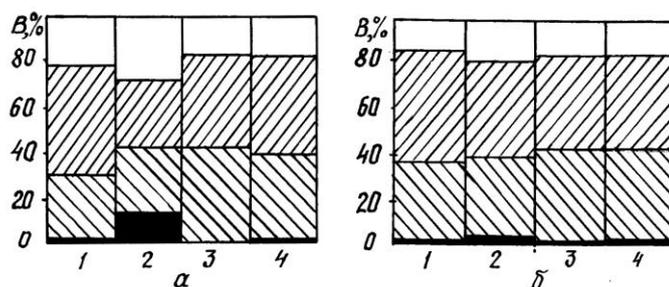


Рис. 5. Относительный вклад B составляющих процесса разрушения в A_p для различных образцов картонов-лайнеров (1 – 4) при испытании в направлениях MD (а) и CD (б)

Следовательно, для повышения деформационных и прочностных свойств тест-лайнеров особое значение приобретают процессы набухания и фракционирования по длине волокна с последующей избирательной обработкой вторичных волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев А.В. Связь упругих характеристик компонентов гофрированного картона с его потребительскими свойствами / А.В. Гурьев, В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1997. – № 9–10. – С. 22–24.
2. Комаров В.И. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесн. вестник / МГУЛ. – 2000. – № 3 (12). – С. 52–62.
3. Комаров В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25–44. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Комаров В.И. Критическая длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1993. – № 4. – С. 79–83. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Комаров В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 96–103. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Комаров В.И. Расчет коэффициента Пуассона при испытании на растяжение целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесн. журн. – 1993. – № 5-6. – С. 133–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Комаров В.И. J -интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1997. – № 5-6. – С. 26–29.
8. Сысоева Н.В. Характеристики жесткости при изгибе и растяжении компонентов гофрированного картона / Н.В. Сысоева, А.В. Гурьев, В.И. Комаров // Лесн. вестник / МГУЛ. – 2000. – № 4 (13). – С. 125–134.
9. Яблочкин Н.И. Сравнение деформационных свойств тарных картонов / Н.И. Яблочкин, Н.В. Сысоева, А.В. Гурьев, В.И. Комаров // Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной про-

дукции из вторичного волокнистого сырья: научн. тр. 3-й Междунар. научно-техн. конф. – Караваево-Правдинский, 2002. – С. 87–91.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.10.04

N.I. Yablochkin, V.I. Komarov

**Differences in Mechanical Behavior of Cardboard-liners Produced
from Primary and Secondary Fiber**

Comparison of the mechanical behavior of kraft- and test-liner samples of different producers is carried out. A special role of delayed-elastic deformation is determined during the analysis of destruction kinetics.
