

УДК 676.16

В.И. Комаров, М.А. Холмова

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, почетный работник лесной промышленности, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 научных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Холмова Марина Анатольевна родилась в 1981 г., окончила в 2003 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет 9 печатных работ в области получения сульфатной хвойной небеленой ЦВВ.



ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА КАППА СУЛЬФАТНОЙ ХВОЙНОЙ ЦВВ НА ЕЕ ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА

Предложена методика анализа вязкоупругих свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.

Ключевые слова: небеленая сульфатная целлюлоза высокого выхода, число Каппа, напряжение, деформация, вязкоупругие свойства.

В настоящее время для производства тарных картонов рекомендуется использовать целлюлозу высокого выхода (ЦВВ) с числом Каппа в интервале от 70 до 110 ед. [7]. Уровень деформационных и прочностных свойств данного полуфабриката определяет качество тарного картона, а значит, и его стоимость.

При эксплуатации картонной тары в некоторых случаях предъявляются требования к вязкоупругим свойствам материала, используемого при ее изготовлении. При эксплуатации материалов с различной структурой и деформационными свойствами условия потери устойчивости в сильной степени зависят от характера деформирования, который в свою очередь обусловлен вязкоупругими свойствами. Отметим, что если при нагружении материала в нем при любой нагрузке наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются неупругие деформации, величина которых зависит от длительности или скорости приложения нагрузки, то такие материалы называют вязкоупругими. Волокнистые целлюлозно-бумажные материалы обладают свойствами, присущими вязкоупругим материалам [5].

Для изучения вязкоупругих свойств сульфатной хвойной ЦВВ по методике [6] были получены лабораторные образцы полуфабриката с числом Каппа в диапазоне от 76 до 102 ед. После варки образцы подвергали разволокнению в течение 15 мин, а затем промывали. Для сравнения с ними

Таблица 1
Параметры варки и характеристики образцов сульфатной ЦВВ

Параметры варки		Характеристики ЦВВ			
Температура, °С	Концентрация активной щелочи, г/л (в ед. Na ₂ O)	Число Каппа ЦВВ, ед.	Выход ЦВВ, %	Количество непровара, %	Степень помола, °ШР
160	45	76	49,3	0,3	21,0
158	45	85	52,0	0,6	20,0
158	40	90	53,9	0,3	18,5
158	40	102	54,2	0,5	20,0
166	40	78*	–	–	18,5

* Образец ЦВВ, полученный при производственной варке.

был отобран производственный (контрольный) образец ЦВВ с числом Каппа 78 ед., который промывали на лабораторных ситах. В табл. 1 представлены основные параметры варки и некоторые фундаментальные характеристики образцов ЦВВ.

Для проведения физико-механических испытаний были изготовлены лабораторные образцы ЦВВ массой 1 м² 150 г. Для этого ЦВВ размалывали в течение 23 ... 25 мин до степени помола (20 ± 2) °ШР.

При испытании образцов на растяжение были получены зависимости «усилие – удлинение» и «напряжение – деформация» (рис. 1, 2), обработка которых по методике [1–3] позволила рассчитать численные значения требуемых характеристик в заданных точках (I, II, B, 2). Рассчитывали: P – прилагаемое усилие при растяжении образца, Н; Δl – удлинение образца, мм; A – работа деформирования, мДж ($A = \int_0^{\Delta l_p} P \Delta l$); σ – прилагаемое напряжение, МПа ($\sigma = P/(b \delta)$); ε – деформация, % ($\varepsilon = \Delta l/l$); E – модуль упругости, МПа ($E = \sigma/\varepsilon$).

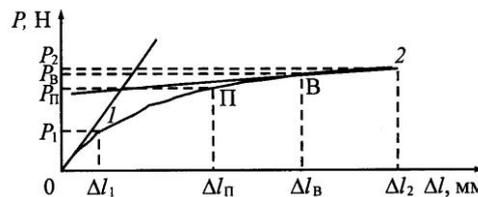


Рис. 1. Зависимость «усилие – удлинение» ($P-\Delta l$): I – предел упругости; II – начало интенсивного развития пластических деформаций; B – начало быстрого роста трещины; 2 – разрушение материала; (0–I) – упругая зона деформирования; (I–II) – зона замедленно-упругих деформаций, начальная стадия; (II–B) – то же, конечная стадия; (B–2) – зона предразрушения образца, рост образовавшейся трещины

Рис. 2. Зависимость «напряжение – деформация» ($\sigma - \varepsilon$) (см. обозначения на рис. 1)

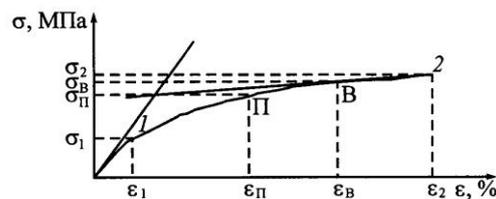


Таблица 2

**Результаты математической обработки зависимостей «усилие – удлинение»
и «напряжение – деформация», полученных при испытании образцов
сульфатной хвойной ЦВВ с различным числом Каппа**

Число Каппа, ед.	Фундаментальные параметры образцов			Характеристика	Значение характеристики в точках зависимостей, приведенных на рис. 1, 2			
	l_w , мм	МКФ, %	$F_{св}$, МПа		1	П	В	2
76	2,27	11,8	2,4	P , Н	53,3	151,0	209,0	222,0
				Δl , мм	0,383	1,440	2,810	3,190
				A , мДж	9,4	126,0	369,0	446,0
				σ , МПа	20,5	57,9	80,4	85,4
				ϵ , %	0,38	1,44	2,81	3,19
				E , МПа	5440	2210	1360	1290
85	2,48	9,40	2,1	P , Н	42,2	147,0	188,0	197,0
				Δl , мм	0,298	1,510	2,690	3,050
				A , мДж	5,3	127,0	326,0	392,0
				σ , МПа	14,7	51,3	65,6	68,8
				ϵ , %	0,30	1,51	2,69	3,05
				E , МПа	5010	1610	972	867
90	2,31	11,5	2,0	P , Н	31,6	137,0	183,0	199,0
				Δl , мм	0,247	1,520	2,810	3,370
				A , мДж	3,4	123,0	325,0	427,0
				σ , МПа	11,4	49,4	66,1	71,7
				ϵ , %	0,25	1,52	2,81	3,37
				E , МПа	4660	1690	1080	966
102	2,40	8,17	2,4	P , Н	54,9	141,0	185,0	195,0
				Δl , мм	0,422	1,430	2,530	2,840
				A , мДж	10,0	116,0	291,0	348,0
				σ , МПа	20,2	52,0	68,3	71,9
				ϵ , %	0,42	1,43	2,53	2,84
				E , МПа	4840	1970	1200	1130
78*	2,17	12,7	2,2	P , Н	41,9	139,0	177,0	191,0
				Δl , мм	0,318	1,370	2,270	2,710
				A , мДж	6,1	109,0	247,0	325,0
				σ , МПа	15,6	51,5	65,6	70,8
				ϵ , %	0,31	1,37	2,27	2,71
				E , МПа	5010	2030	1290	1150

* Образец ЦВВ, полученный при производственной варке.

Влияние числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад этих характеристик в усилие, удлинение и работу разрушения, затрачиваемых в различных зонах деформирования образца, представлено в табл. 2 и на рис. 3–5.

Показано, что примерно 40 ... 50 % разрушающего усилия затрачивается в начальной стадии замедленно-упругих деформаций, т.е. на процесс извлечения концов волокон, имеющих длину менее критической, из стенок трещин, образующихся из капилляров с достаточно большим диаметром. При увеличении нагрузки деформация, а значит, и длина участвующих в этом процессе волокон увеличивается. При этом частично разрушаются межволоконные связи. Раскрытие начинающей образовываться трещины сдерживается «проросшими» через нее волокнами с длиной больше критической, т.е. появляются образования типа «крейзы», а микрокапилляры увеличивают свой объем [4]. У образцов с числом Каппа 85 ... 90 ед. деформация наибольшая.

Наибольшее удлинение испытуемого образца отмечено в зоне замедленно-упругих деформаций (I–B). При этом удлинение в конечной стадии замедленно-упругих деформаций (II–B) несколько выше, чем в начальной (I–П). Это объясняется ростом доли пластических деформаций, вызываемых более значительным разрушением межволоконных связей, обусловленных отрывом от края трещины концов волокон с длиной, приближающейся к критической.

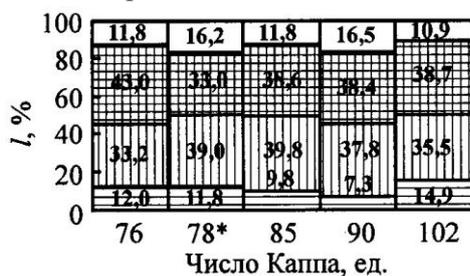


Рис. 4. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в удлинение разрушения удлинений, наблюдаемых в различных зонах деформированного состояния образца (Δl – удлинение; 100 % соответствует удлинению до разрушения данного образца; см. обозначения на рис. 3)

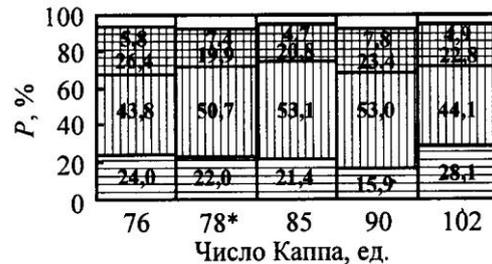


Рис. 3. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в разрушающее усилие усилий, затрачиваемых в различных зонах деформированного состояния образца (P – усилие; 100 % соответствует разрушающему усилию данного образца; * – производственный образец): □ – зона предразрушения образца, рост образовавшейся трещины; □ – замедленно-упругая зона деформирования, конечная стадия; □ – то же, начальная стадия; □ – упругая зона деформирования

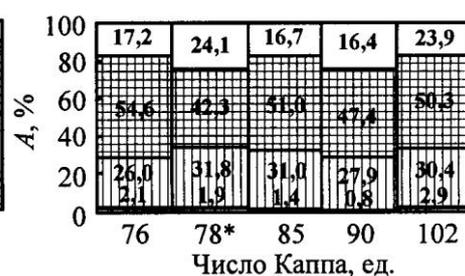


Рис. 5. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в работу разрушения работы, совершаемой в различных зонах деформированного состояния образца (A – работа растяжения; 100 % соответствует работе разрушения данного образца; см. обозначения на рис. 3)

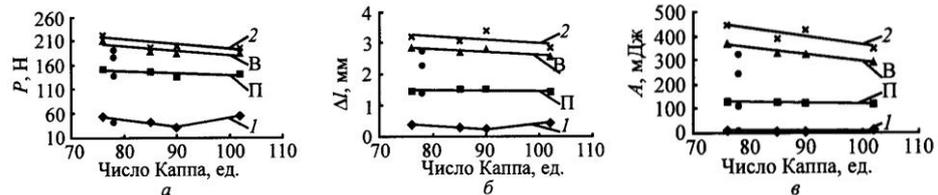


Рис. 6. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на растягивающее усилие (*a*), удлинение (*б*) и работу (*в*) в различных зонах деформирования образца (● – производственный образец; см. обозначения на рис. 1)

Из рис. 6 следует, что с увеличением числа Каппа у исследуемых образцов ЦВВ величина усилия P , вызванного им удлинением Δl и обусловленная ими работа в критических точках (начало интенсивного развития пластических деформаций (П), начало быстрого роста трещины (В) и разрушения материала (2) снижаются. Аномально возрастают усилия в точке, соответствующей пределу упругости при числе Каппа 102 ед. Данный факт можно объяснить тем, что в этом случае увеличивается количество как остаточного лигнина, так и гемицеллюлоз, способствующих возрастанию межволоконных связей, что должно приводить к повышению упругих свойств.

В зоне деформирования до критической точки П, которая является предпочтительной для использования тары, изменение содержания остаточного лигнина в исследуемых пределах не приводит к изменению усилия, удлинения и работы деформирования. Заметное снижение этих показателей при увеличении числа Каппа у ЦВВ наблюдается в зоне разрушения структуры данного материала. Работа, затрачиваемая на рост трещины в материале, снижается примерно на 20 % (рис. 7). Это позволяет предположить возможный рост обрывности на картоноделательной машине при использовании ЦВВ с повышенным числом Каппа.

Удлинения образца в упругой зоне и зоне быстрого роста трещины сравнимы. При увеличении числа Каппа проявляется тенденция к снижению относительной величины этих деформаций. Наибольший вклад в работу разрушения вносит работа, затрачиваемая на деформацию в зоне (П–В), причем с увеличением числа Каппа проявляется тенденция к ее снижению.

Отметим, что испытания контрольного (производственного) образца показали воспроизводимость в лабораторных условиях свойств данного полуфабриката.

Таким образом, проведенный эксперимент выявил, что повышение числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ до 90 ед. и более приводит к сниже-



Рис. 7. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на работу, затрачиваемую на рост трещины в стадии разрушения образца (● – производственный образец)

нию разрушающего усилия, удлинения до разрушения и работы разрушения и возрастанию удлинения в упругой зоне деформирования.

Установлен относительный вклад в вязкоупругие свойства сульфатной хвойной ЦВВ прикладываемого усилия и удлинения образца в различных зонах деформирования. Показана возможность более глубокого анализа вязкоупругих свойств полуфабрикатов для производства тарных картонов с помощью предложенной методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков, Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки [Текст] / Я.В. Казаков, В.И. Комаров // Лесн. вестник. – 2000. – № 3 (12). – С. 52–62.
2. Казаков, Я.В. Математическая обработка кривых зависимости «напряжение – деформация», полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов при растяжении [Текст] / Я.В. Казаков, В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1995. – № 1. – С. 109–114. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Издательство АГТУ, 2002. – 440 с.
4. Комаров, В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 96–103.
5. Комаров, В.И. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов [Текст] / В.И. Комаров, А.В. Гурьев, В.П. Елькин. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – С. 145–150.
6. Холмова, М.А. Взаимосвязь числа Каппа и физико-механических свойств сульфатной ЦВВ, предназначенной для производства тарного картона [Текст] / М.А. Холмова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, А.В. Гурьев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2005. – № 10. – С. 56–59.
7. Neimo, L. Papermaking science and technology [Text] / L. Neimo // Papermaking Chemistry (4 book). – Printed by Gumerus Printing, Iyvaskyla, Finland, 1999. – 329 p.

Поступила 3.04.06

Архангельский государственный
технический университет

V.I. Komarov, M.A. Kholmova

Influence of Kappa Number of High-Yield Sulphate Softwood Pulp on its Viscous-elastic Characteristics

The technique for analysis of viscous-elastic properties of semifinished items for containerboard is offered.