

УДК 676.0

В.И. Комаров¹, Л.А. Блинова², В.А. Спиридонов³¹Архангельский государственный технический университет²ОАО «Полотняно-Заводская бумажная фабрика»³ООО УК «Объединенные бумажные фабрики»

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



Блинова Людмила Александровна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства АГТУ, инженер-исследователь технологического отдела ОАО «Полотняно-Заводская бумажная фабрика». Имеет 8 научных трудов в области переработки вторичного сырья из макулатуры.

Тел.: (48434) 3-38-24



Спиридонов Валентин Александрович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Украинского научно-исследовательского института целлюлозно-бумажной промышленности, научный консультант ООО «Управляющая компания «Объединенные бумажные фабрики». Имеет более 100 научных трудов в области техники и технологии картонно-бумажной продукции с использованием макулатуры.

Тел.: (1038044) 510-81-67



ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СИЛЫ ТРЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ВОЛОКНИСТЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен способ оценки сил трения между волокнами в структуре бумаги; определен относительный вклад сил трения в межволоконное связеобразование при размоле основных видов технической целлюлозы, используемых в качестве сырья для производства тарного картона.

Ключевые слова: когезия, силы трения, сдвиг, растяжение, модуль упругости, вододерживающая способность.

Когезионная способность – одно из фундаментальных свойств растительных волокон в структуре бумаги. Некоторые авторы [6] считают, чтобы определить когезию в плоскости листа бумаги, необходимо найти усилие сдвига. В середине прошлого века были предложены два метода определения силы сцепления волокон в бумаге [4, 5]. ГОСТ [3] предписывает проводить испытание на отрыв. Таким образом, реализованы две схемы приложения нагрузки: на сдвиг или на растяжение.

Известно, что деформация при растяжении ε пропорциональна приложенному напряжению σ :

$$\varepsilon = \sigma / E,$$

где E – коэффициент пропорциональности, носящий название модуля упругости.

При сдвиге относительная угловая деформация γ пропорциональна касательному напряжению τ :

$$\gamma = \tau / G,$$

где G – модуль сдвига.

Модуль упругости при сдвиге связан с модулем упругости при растяжении и коэффициентом Пуассона μ следующим уравнением:

$$G = E / [2 (1 + \mu)].$$

В пределах упругости $E = 3G$, т.е. прочность на растяжение в три раза больше прочности при сдвиге. Следовательно, можно предположить, что величина межволоконных сил связи при испытании на отрыв (на растяжение) [3] должна быть в три раза выше, чем при испытании на сдвиг [4].

В ходе эксперимента использовали образцы трех видов технической целлюлозы, размолотой до различной степени помола.

Испытания показали, что межволоконные силы связи при растяжении F_2 значительно ниже, чем при сдвиге F_1 . Это противоречит существующим представлениям о прочности. Однако, еще в 1926 г. Стречен выдвинул физическую теорию размола, в которой прочность листа бумаги объяснялась механическим переплетением волокон, т.е. возникающими силами трения. В работе [1] указывалось на необходимость учитывать сухое трение* при рассмотрении межволоконных связей в структуре бумаги.

Нам представляется, что при использовании в процессе испытаний двух методик [3, 4] появляется возможность количественно определить четыре типа взаимодействия между волокнами в структуре бумаги (см. таблицу): во-первых, это межволоконные силы связи F_1 [4], которые представляют собой сумму сил трения F_4 и прочности электростатических сил на сдвиг F_3 ; во-вторых, прочность межволоконных сил связи на растяжение F_2 [3], которая является суммой водородных связей и сил Ван-дер-Ваальса; в-третьих, прочность электростатических сил связи на сдвиг F_3 , которая равна $\frac{1}{3} F_1$; в-четвертых, сила трения между волокнами F_4 , которая равна разности между F_1 и F_3 .

Из данных таблицы следует, что у небеленых видов технической целлюлозы при степени помола до 45 °ШР и приложении к образцу сдвиговых напряжений относительный вклад сил трения в межволоконные связи

* Сухим трением принято называть силы трения, которые не обращаются в нуль, когда относительная скорость между твердыми телами равна нулю.

Характеристики структуры бумаги

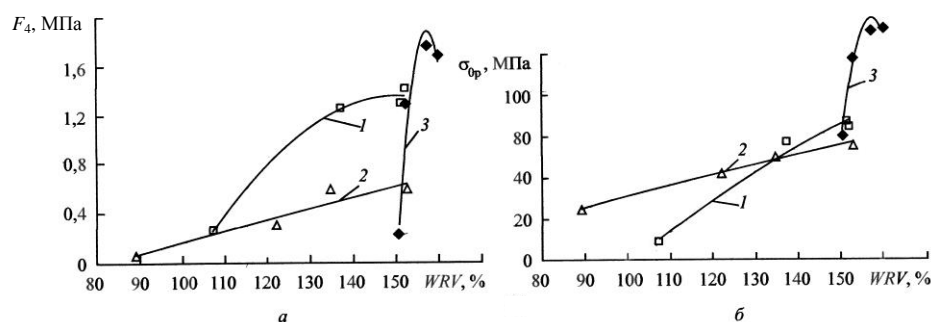
Целлюлоза	Степень помола, °ШР	Межволоконные силы связи*, МПа				Относительный вклад при испытании на сдвиг, %		Прочность волокна		Водоудерживающая способность WRV, %
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_1	F_4	L_0^{**} , м	σ_{0p}^{***} , МПа	
Сульфатная ЦВВ	14	0,24	0,02	0,007	0,233	2,9	97,1	4 918	59,7	150,6
	24	1,35	0,17	0,063	1,287	4,7	95,3	9 434	97,6	152,7
	34	1,74	0,19	0,063	1,677	3,6	96,4	10 370	112,4	160,1
	45	1,83	0,22	0,073	1,757	4,0	96,0	10 959	110,8	157,3
Нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза НСПЦ	14	0,26	0,02	0,007	0,253	2,7	97,3	838	8,27	107,3
	25	1,31	0,19	0,063	1,247	4,8	95,2	5 322	57,2	137,3
	34	1,47	0,18	0,060	1,410	4,1	95,9	5 932	64,3	152,1
	45	1,35	0,17	0,057	1,293	4,3	95,7	6 247	67,1	151,3
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза	14	0,07	0,04	0,013	0,057	18,6	81,4	2 238	24,6	89,2
	21	0,37	0,21	0,070	0,300	18,9	81,1	4 038	41,7	121,9
	33	0,66	0,23	0,077	0,583	11,7	88,3	4 604	49,8	134,8
	48	0,67	0,24	0,080	0,590	11,9	88,1	5 504	55,8	152,7

* F_1 – межволоконные силы связи по Иванову; F_2 – межволоконные силы связи при растяжении; F_3 – расчетная величина электростатических сил на сдвиг; F_4 – силы трения между волокнами.

** L_0 – нулевая разрывная длина.

*** σ_{0p} – нулевое разрушающее напряжение.

составляет 95...97 %, у образцов беленой целлюлозы – 81...88 %, причем при степени помола выше 30 °ШР разница достигает 7 %, в то время как у образцов небеленой целлюлозы она незначительна: около 1...2 %.



Влияние водоудерживающей способности WRV на силы трения между волокнами (a) и нулевое разрушающее напряжение (b) сульфатной ЦВВ ($1, 1'$); НСПЦ ($2, 2'$); сульфатной беленой лиственной целлюлозы ($3, 3'$); $1 - R^2 = 0,9678$; $1' - 0,9430$; $2 - 0,9920$; $2' - 0,9759$; $3 - 0,9118$; $3' - 0,9911$

Влияние водоудерживающей способности на силы трения между волокнами и нулевое разрушающее напряжение показано на рисунке. В процессе размола полуфабрикатов с различным содержанием лигнина (соответственно с разной способностью к набуханию) относительный вклад сил трения в межволоконные связи различен. Так, при изменении водоудержания сульфатной ЦВВ на 4 % силы трения изменяются на 87 %, для сульфатной беленой лиственной целлюлозы эти цифры составляют соответственно 42 и 90 %, для НСПЦ – 29 и 80 % при одинаковом изменении степени помола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабурин, С.В.* Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства [Текст] / С.В. Бабурин, А.И. Киприанов. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 192 с.
2. *Беркман, Е.М.* Словарь целлюлозно-бумажного производства [Текст] / Е.М. Беркман, С.М. Вишневецкий, Л.О. Иоффе. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 299 с.
3. ГОСТ 13648.6 Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию [Текст]. – Введ. 01.01.1988. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
4. *Иванов, С.Н.* Силы сцепления волокон в бумаге [Текст] / С.Н. Иванов // Бум. пром-сть. – 1947. – № 3. – С. 8–17.
5. *Кларк, Дж.* Природа гидратации и связи волокон [Текст] / Дж. Кларк // TAPPI, Tech. Assn. Papers. – 1943. – 26. – Р. 462.
6. *Кларк, Дж.* Технология целлюлозы [Текст] / Дж. Кларк. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 456 с.
7. *Комаров, В.И.* Связь критической длины волокна в структуре и анизотропии свойств крафт-лайнера [Текст] / В.И. Комаров, В.И. Белоглазов // Лесн. журн. – 2005. – № 6. – С. 133–135. – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Фляте, Д.М.* Свойства бумаги [Текст] / Д.М. Фляте. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 648 с.
9. *Хайкин, С.Э.* Физические основы механики [Текст] / С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1971. – 751 с.

Поступила 16.07.09

V.I. Komarov¹, L.A. Blinova², V.A. Spiridonov³

¹ Arkhangelsk State Technical University

² Polotnyanyi Zovod Paper Factory

³ «Consolidated Paper Mills» Management Company

Possibility of Determining Magnitude of Friction Force in Structure of Fiber Pulp-and-Paper Materials

The estimation method of friction forces between fibers in the paper structure is offered. The relative contribution of friction forces into the interfibrillar bond-formation in milling of the main pulp types used as raw material for production of container board is determined.

Keywords: cohesion, friction forces, shift, tension, coefficient of elasticity, water retaining capacity.