

ханической прочности, чем контрольные без ОЛС в композиции связующего.

Выводы

Предложенное ранее совмещенное связующее на основе КФС коррозионно активно, но добавка сульфата аммония в количестве 0,001... 0,010 % от абс. сухого персульфата аммония, введенного в ЛС, значительно снижает коррозию металлических частей оборудования и не влияет на физико-химические свойства как совмещенного связующего, так и древесностружечных плит на его основе. Для хранения и транспортировки раствора персульфата аммония необходимо использовать оборудование, изготовленное из нержавеющей стали или синтетических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. А. с. 1399315 СССР, 4СО 81 61/24. Полимерное связующее для древесностружечных плит / А. А. Эльберт, Л. П. Коврижных, А. П. Штембах и др. (СССР).— № 3967494; Заявл. 12.08.85; Оpubл. 1.02.88, Бюл. № 20 // Открытия. Изобретения.— 1988.— № 20.— С. 108. [2]. Решетников С. М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов.— Л.: Химия, 1986.— 65 с. [3]. Эльберт А. А., Коврижных Л. П., Хотилевич П. А. Использование лигносульфонатов в производстве древесностружечных плит // Лесн. журн.— 1990.— № 3.— С. 89—95.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 25 августа 1992 г.

УДК 676.017

«КРИТИЧЕСКАЯ» ДЛИНА ВОЛОКНА — ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

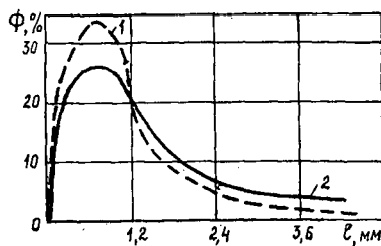
В. И. КОМАРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Бумагообразующие свойства полуфабрикатов во многом определяются свойствами отдельного волокна [3]. Одним из них, по мнению ряда авторов, является средняя длина волокна [6].

Изучение корреляции фундаментальных свойств целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности (см. таблицу) показало, что средняя длина не всегда имеет тесную связь с исследуемыми характеристиками [4, 5], что может быть объяснено вариацией фракционного состава по длине волокна. У образцов целлюлозы с одинаковой средней длиной волокна относительное содержание отдельных фракций может значительно различаться (рис. 1). Различные фракционный

Рис. 1. Кривые распределения Φ фракций волокна различной длины l у образцов сульфатной небеленой целлюлозы: 1 — образец № 1, средняя длина волокна 1,45 мм; 2 — образец № 2, средняя длина волокна 1,46 мм



Характеристика	Степень помола, °ШФ	Фундаментальные свойства				
		Средняя длина волокна	Силы связи	Пухлость	Грубость	Нулевая разрывная длина
Разрывная длина	14	0,938	0,888	-0,970	-0,005	0,963
	25	0,743	0,561	-0,526	0,442	0,647
	45	0,793	0,510	-0,376	0,408	0,704
Разрушающее напряжение	14	0,932	0,913	-0,979	-0,012	0,975
	25	0,738	0,623	-0,533	0,280	0,688
	45	0,788	0,489	-0,455	0,382	0,731
Работа разрушения	14	0,881	0,844	-0,906	-0,119	0,894
	25	0,436	0,193	-0,088	0,266	0,284
	45	0,338	0,083	-0,048	0,258	0,247
Сопротивление продавливанию	14	0,845	0,769	-0,918	0,112	0,887
	25	0,225	0,007	-0,060	0,188	0,221
	45	-0,042	-0,217	0,070	0,157	-0,092
Сопротивление раздиранию	14	0,363	0,180	-0,378	0,455	0,377
	25	-0,507	-0,574	0,483	0,163	-0,424
	45	-0,663	-0,522	0,665	-0,233	-0,678
Начальный модуль упругости	14	0,917	0,861	-0,943	0,047	0,958
	25	0,679	0,846	-0,725	0,071	0,702
	45	0,848	0,678	-0,581	0,212	0,884
Модуль упругости в зоне предразрушения	14	0,823	0,765	-0,826	0,168	0,856
	25	0,428	0,314	-0,528	0,153	0,502
	45	0,356	0,217	-0,290	-0,218	0,398
Деформация разрушения	14	0,700	0,690	-0,751	-0,205	0,702
	25	0,086	-0,135	0,166	0,113	-0,002
	45	0,095	-0,076	0,126	0,134	0,018
Жесткость при изгибе	14	0,847	0,640	-0,770	0,095	0,794
	25	0,187	-0,103	0,091	-0,002	0,236
	45	0,094	-0,121	-0,146	0,200	-0,001
Модуль упругости при изгибе	14	0,921	0,912	-0,973	-0,002	0,980
	25	0,664	0,570	-0,604	0,192	0,748
	45	0,712	0,469	-0,388	-0,053	0,775
Модуль сдвига	14	0,754	0,758	-0,877	0,077	0,788
	25	0,867	0,748	-0,906	0,154	0,971
	45	0,831	0,512	-0,931	0,126	0,870

состав по длине волокна и его адгезионная способность (у образца 1 определяемые межволоконные силы связи равнялись 1,1, у образца 2 — 0,9 МПа) приводят к различиям в ходе кривых зависимости напряжение — деформация, а следовательно, и в значениях характеристик деформативности и прочности (рис. 2).

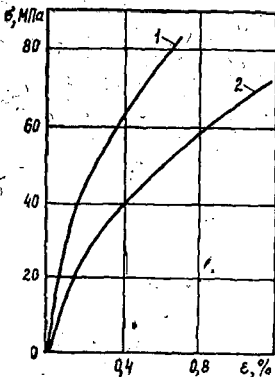


Рис. 2. Кривые зависимости напряжение — деформация ($\sigma - \epsilon$) при испытании на растяжение. Обозначение см. на рис. 1

Исследования показали, что желательна разработка интегрально-го, относительно фундаментальных свойств целлюлозы, критерия, который позволил бы с большей вероятностью прогнозировать деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов.

Бумага как материал по своим свойствам занимает место между полимерами и композитами. Считая целлюлозно-бумажный материал композитом, армированным дискретными волокнами, мы должны определить, какие составляющие композиции бумажной массы, а затем структуры материала обладают свойствами матрицы, а какие — свойствами упрочняющих элементов. В настоящее время нет ответа на этот вопрос. Но точно известно, что при испытании на растяжение в зоне разрушения образца одни волокна выдергиваются из структуры без изменения их длины, а другие разрушаются. Из теории прочности композитов, армированных дискретными волокнами, известно, что нагрузки в структуре данных материалов передаются по граничным поверхностям [1]. При этом важны состояние этих поверхностей, отношение диаметра волокна к его длине и соотношение модулей упругости волокна и матрицы.

Б. Розен предложил модифицированную модель структуры материала и ввел понятие неэффективной длины волокна (выдергиваемого из структуры без изменения длины) [7]:

$$\frac{l^*}{d_f} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left[\frac{E_f}{8G_m} \left(\frac{r_b}{r_f} - 1 \right) \right]^{1/2} \operatorname{arch} \left[\frac{1 + (1 + \varphi)}{2(1 - \varphi)} \right], \quad (1)$$

где l^* — неэффективная длина волокна;
 d_f — диаметр волокна;
 E_f — модуль упругости волокна;
 G_m — модуль сдвига матрицы;
 r_b — радиус матрицы, в которой находится волокно;
 r_f — радиус волокна;
 φ — коэффициент, используемый в условии $\sigma_f = \varphi \sigma_{f \max}$ ($\sigma_{f \max}$ — напряжение в поперечном сечении волокна и его максимальное значение).

Если неэффективная длина превысит свое критическое значение l_k , т. е. в зоне разрушения материала будет наблюдаться не выдергивание, а разрушение отдельного волокна, то эффект упрочнения структуры возрастет.

Расчет неэффективной длины волокна по уравнению (1) на практике затруднен, ввиду сложности определения характеристик E_f , G_m , r_b , r_f .

Для специалиста ЦБП представляет практический интерес определение «критической» длины волокна. При выводе расчетного уравнения исходим из следующих рассуждений. В структуре материала действуют растягивающие силы в направлении волокон (ось x). При этом на поверхности волокон возникают касательные напряжения. Изменение усилия dF_f , растягивающего волокно, равно напряжению сдвига τ_m на поверхности раздела волокна и матрицы на участке dx . Запишем дифференциальное уравнение

$$dP_f/dx = 2\pi r_f \tau_m. \quad (2)$$

Интегрируя его, получаем

$$P_f = 2\pi r_f \tau_m x. \quad (3)$$

Напряжение, действующее в поперечном сечении волокна,

$$\sigma_f = (2\tau_m/r_f) x. \quad (4)$$

По мере удаления от конца волокна напряжение σ_f линейно возрастает. Когда оно достигнет максимального значения $\sigma_{f \max}$, т. е. превысит прочность при растяжении σ_{fu} , начинается разрушение волокон. При критической длине волокна l_k

$$l_k/2 = \frac{r_f \sigma_{fu}}{2\tau_m}; \quad x = l_k/2. \quad (5)$$

Для критической относительной длины

$$\frac{l_k}{d_f} = \frac{\sigma_{fu}}{2\tau_m}. \quad (6)$$

Адаптируя уравнение (6) к условиям испытаний целлюлозно-бумажных материалов, принимаем

$$\frac{l_k}{d_b} = \frac{\sigma_{p_0} (1,54/\rho_1)}{2F_{св} (1,54/\rho_2)}, \quad (7)$$

где d_b — ширина волокна;
 σ_{p_0} — разрушающее напряжение материала при испытании на растяжение при нулевом расстоянии между зажимами разрывной машины;
 $F_{св}$ — адгезионная способность волокна, определяемая по методу Иванова [2];
 ρ_1, ρ_2 — плотность материала;
 1,54 — плотность стенки целлюлозного волокна.

Таким образом, проведя общепринятые испытания, определив разрушающие напряжения материала, межволоконные силы связи по Иванову и плотность материала образцов, а также оценив влияние пористости структуры, по уравнению (7) можно рассчитать относительную критическую длину волокна. Дополнительно измерив ширину волокон в данном материале, получим собственно критическую длину волокон.

Критическая длина волокна является интегрированной характеристикой фундаментальных свойств целлюлозы (по Кларку), так как при

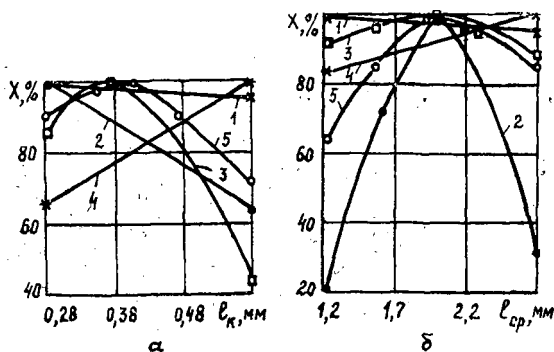


Рис. 3. Влияние критической (а) и средней (б) длины волокна на характеристику деформативности и прочности книжно-журнальной бумаги (X — значение исследуемой характеристики, % от ее максимума, принятого за 100 %): 1 — разрывная длина; 2 — сопротивление излому; 3 — стойкость поверхности к выщипыванию; 4 — начальный модуль упругости; 5 — жесткость при изгибе

ее расчете учитывается в скрытой форме прочность отдельного волокна, его адгезионная способность, грубость и способность к уплотнению во влажном состоянии. Сказанное хорошо иллюстрируют кривые рис. 3, ход которых был рассчитан с помощью ЭВМ на основании экспериментальных данных. Критическая длина волокна, по сравнению со средней, оказывает большее влияние на стойкость поверхности к выщипыванию, начальный модуль упругости и жесткость при изгибе. Особенно наглядно ее преимущество проявляется при определении сопротивления излому (кривая 2) и стойкости поверхности к выщипыванию (кривая 3). Влияние средней длины волокна в этих случаях труднообъяснимо.

Выводы

1. С помощью критической длины волокна можно с достаточной степенью надежности прогнозировать деформативность и прочность бумажной массы.

2. Критическая длина волокна может быть использована при выборе полуфабриката для составления композиции и обоснования относительного содержания в ней каждого вида волокнистого материала, а также при контроле качества.

3. Управление процессом размола может основываться на измерении не только степени помола, но и критической длины волокна.

4. Использование характеристики критической длины волокна позволяет увеличить стабильность качества готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Волокнистые композиционные материалы.— М.: Мир, 1967.— 283 с. [2]. Иванов С. Н. Силы сцепления волокон в бумаге // Бум. пром-сть.— 1948.— № 3.— С. 8—17. [3]. Кларк Дж. Технология целлюлозы.— М.: Лесн. пром-сть, 1983.— 456 с. [4]. Комаров В. И., Казаков Я. В. Связь фундаментальных свойств (по Кларку) неразмолотой сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Лесн. журн.— 1993.— № 2—3.— С. 112—116.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Комаров В. И., Казаков Я. В. Влияние размола на корреляцию фундаментальных свойств (по Кларку) сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Актуальные проблемы рационального использования природных и энергетических ресурсов Европейского Севера: Сб. науч. тр.— Архангельск, 1993. [6]. Фляте Д. М. Свойства бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 680 с. [7]. Фудзи Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов.— М.: Мир, 1982.— 232 с.

Поступила 30 ноября 1993 г.