

УДК 676.2.036

В.К. Дубовый, Я.В. Казаков

Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



Казаков Яков Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

На основе разработанной методики определения деформационных характеристик листов из минеральных волокон выполнено сопоставление свойств листовых материалов из стеклянных, каолиновых, базальтовых волокон без использования связующих.

Ключевые слова: минеральные волокна, стекловолокно, каолин, базальт, деформация, прочность.

Основной научно-технического прогресса отрасли является создание и освоение новых технологических процессов и материалов, востребованных промышленностью в современных условиях. В целлюлозно-бумажной отрасли определенное внимание уделяется производству традиционным бумагоделательным способом материалов на основе не только целлюлозы, но и других волокон, в том числе минеральных и синтетических. Так, материалы из минеральных волокон находят применение в качестве пористых перегородок при очистке жидкостей и газов путем фильтрования [1, 2, 3]. Несомненное преимущество фильтровальных материалов на основе минеральных волокон – их способность работать при повышенных температурах и стойкость к действию кислот и щелочей.

В соответствии с задачами фильтрации, фильтрующий материал должен обеспечивать достаточную задерживающую способность по отношению к дисперсной фазе, небольшое гидравлическое сопротивление при фильтрации, длительный срок службы, обусловленный механической прочностью и устойчивостью при работе в агрессивной среде, минимальное сце-

пление с осадком, легкую очистку, удобство в обращении, невысокую стоимость. Использование минеральных волокон в фильтрующих материалах позволяет удовлетворить многие из этих требований [2].

Фильтрующие материалы, изготовленные из минеральных волокон, в отличие от целлюлозных, не обладают способностью к образованию достаточно прочных межволоконных связей, их механическая прочность невелика. Поэтому при разработке технологии фильтрматериалов используют различные упрочняющие добавки. Изучение механизмов деформирования листовых материалов из минеральных (стеклянные, каолиновые, базальтовые) волокон имеет важное теоретическое и прикладное значение.

С целью определения деформационных свойств волокнистого материала были изготовлены без применения связующих отливки из стеклянного волокна диаметром 0,2 и 0,7 мкм, а также базальтового и каолинового волокон. Масса 1 м² отливок – 15 ... 80 г/м².

Определение деформационных свойств отливок бумагоподобных материалов на основе минеральных волокон при испытании на растяжение проведено в лаборатории физики бумаги кафедры технологии ЦБП АГТУ с применением методик, разработанных ее сотрудниками для целлюлозно-бумажных материалов [4, 5].

Для оценки прочностных и деформационных свойств отливок получены кривые зависимости напряжение – деформация ($\sigma - \varepsilon$) путем математической обработки индикаторной диаграммы нагрузка – удлинение ($F(N) - \Delta l(\text{мм})$) при статических испытаниях на растяжение. Эти диаграммы широко применяются в материаловедении и являются интегральной характеристикой механических свойств. Эксперимент выполнен на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину «Тестсистема-105» (г. Иваново) и ПЭВМ (рис. 1).

Каждый испытуемый образец характеризуется длиной l , шириной b и усредненной по измерениям в нескольких точках толщиной δ . После проведения испытания каждого образца информация передается через интерфейс RS-232 в порт СОМ-2 ПЭВМ. Принятые данные (параметры образца, условия испытаний, а также массив до 1000 точек, снятых с интервалом 100 мс) сохраняются на магнитном диске и могут быть распечатаны. Данные выводятся на экран в виде графика (рис. 2). Имеется возможность просмотра кривых для каждого из испытанных параллельных



Рис. 1. Испытательная машина «Тестсистема-105»

образцов и всех кривых на одном графике, исключения выпадающих точек и проведения повторных опытов.

Для проведения эксперимента на лабораторном резаке из отливок вырезали образцы размером 60×40 мм, при их установке в зажимы разрывной машины использовали бумажные чехлы специальной формы для предотвращения преждевременного разрушения, так как образцы обладали

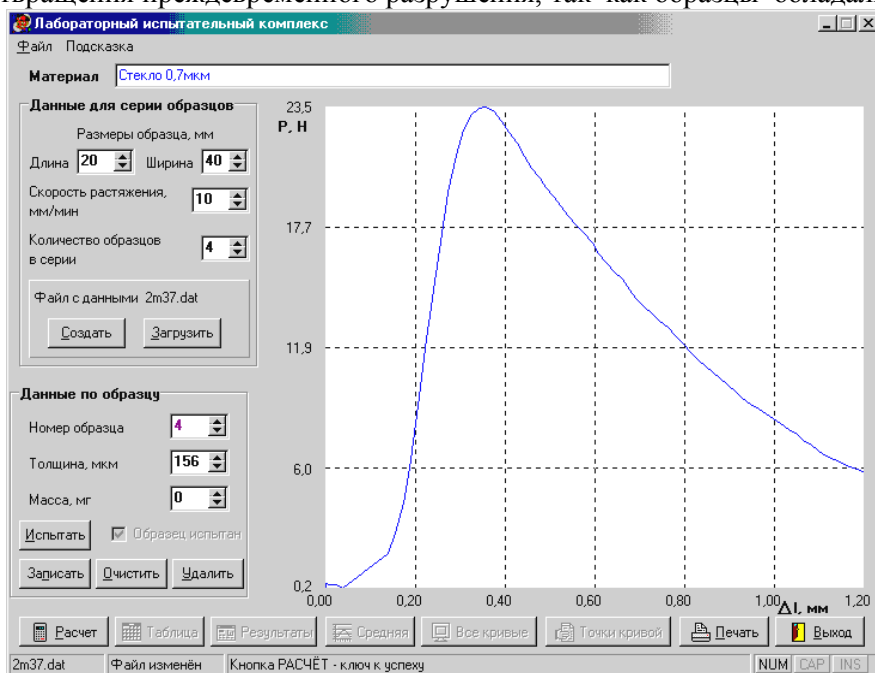


Рис. 2. Графическое представление результатов единичного испытания на растяжение образцов минеральных волокон

очень низкой прочностью. Расстояние между зажимами составляло 20 мм, скорость растяжения – 10 мм/мин, ширина образцов – 40 мм, т.е. испытания проходили в статическом режиме.

Результаты математически обрабатывали в табличном процессоре MS Excel по специально разработанной программе* в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3. На основании экспериментальных кривых нагрузка – удлинение, полученных при параллельных испытаниях, проведено построение средней кривой [4], состоящей из 21 точки. В каждой точке рассчитаны следующие характеристики:

- усилие F , Н;
- удлинение Δl , мм;
- напряжение, МПа,

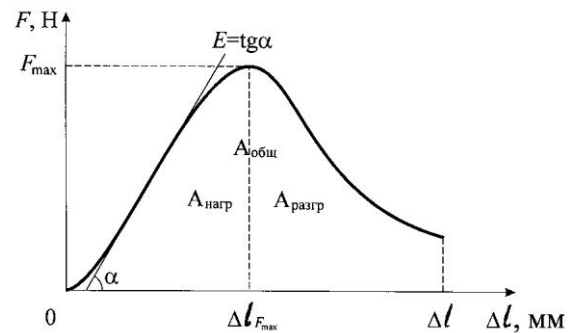
* Программа представлена на официальную регистрацию в Роспатент.

$$\sigma = \frac{F}{b\delta}; \quad (1)$$

деформация, %,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \quad (2)$$

Рис. 3. Методика расчета деформационных характеристик



текущий модуль упругости, МПа,

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}; \quad (3)$$

модуль общей деформации, МПа,

$$E_{\text{од}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \quad (4)$$

работа, мДж,

$$A = \int_0^{\Delta l} F dl; \quad (5)$$

энергия, поглощаемая при растяжении, Дж/м²,

$$TEA = \frac{A}{bl}. \quad (6)$$

На рис. 3 четко выделены две области: до точки регистрации максимальной нагрузки (F_{max} , $\Delta l_{F_{\text{max}}}$), когда целостность образца сохраняется, и после максимальной нагрузки, когда образец подвергается разрушению. Этот процесс не происходит мгновенно, имеет место растаскивание волокон, которое требует приложения определенной работы на преодоление сил трения.

Результаты испытаний приведены в таблице и на рис. 4, кинетика деформирования материалов представлена на графиках зависимости напряжение – деформация (рис. 5).

Как отмечалось ранее, все исследованные образцы обладают крайне низкой прочностью, что связано с природой материалов и отсутствием связующего. За счет увеличения массы 1 м² можно повысить прочность листов, тем самым получив более надежные результаты. Минимальные значения прочностных и деформационных характеристик обнаружены у листового

материала из каолиновых волокон, при этом различия в прочности и жесткости очень высокие, а различия в растяжимости (удлинение при растяжении до максимальной нагрузки) не столь существенные.

Самые высокие значения характеристик прочности и жесткости при растяжении отмечены у материалов из базальтовых волокон и стеклянных волокон малого диаметра. Увеличение диаметра стеклянных волокон приводит к ухудшению свойств за счет снижения числа волокон и межволоконных контактов, обеспечивающих целостность структуры листа при отсутствии связующего. Жесткость при растяжении листового материала оценивали величиной модуля упругости E_1 , характеризующего крутизну начального участка кривой $\sigma - \varepsilon$, т. е. реакцию материала на приложение нагрузки. Максимальная жесткость при растяжении обнаружена у образцов из базальтового волокна и стеклянного волокна диаметром 0,2 мкм. Кривые $\sigma - \varepsilon$ образцов из каолиновых волокон и стеклянных волокон диаметром 0,7 мкм в области максимума более пологие, т. е. разрушение очень слабой структуры происходит плавно и почти без сопротивления волокон растаскиванию.

В отличие от целлюлозно-бумажных материалов образцы из минеральных волокон на кривых $\sigma - \varepsilon$ имеют четко выраженную ветвь обратного хода кривой, т. е. после максимума. Это свидетельствует о том, что материал разрушается не мгновенно, а растаскиваемые волокна за счет сил трения оказывают определенное сопротивление. При этом относительная доля общей площади под кривой для зоны после разрушения получается примерно одинаковой.

Таблица 1

Влияние вида минеральных волокон на их механические характеристики

Материал	Масса 1 м ² отливка, г	δ, мкм	F _{max} , Н	Δl	Δl _{Fmax}	ε	ε _{Fmax}	σ _{max} кПа	E ₁ , МПа	A _{общ}	A _{нагр}	A _{разгр}	TEA _{общ}	TEA _{нагр}	TEA _{разгр}	
				мм						мДж			Дж/м ²			
Стекловолоконное волокно диаметром мкм: 0,7	25	109	0,163	2,445	0,519	0,122	0,026	39,9	2,028	0,251	0,071	0,180	313,9	89,1	224,8	
	50	208	0,369	2,840	0,934	0,142	0,047	44,9	1,841	0,666	0,259	0,407	832,1	323,8	508,2	
	58	232	0,437	3,578	1,352	0,179	0,068	47,7	1,159	0,902	0,333	0,569	1127,2	416,0	711,2	
	0,2	15	63	0,229	1,951	0,629	0,098	0,031	100,9	7,367	0,250	0,095	0,155	313,0	119,0	194,0
		25	102	0,413	1,699	0,342	0,085	0,017	107,3	8,364	0,347	0,077	0,271	434,4	109,6	338,2
		50	193	0,659	2,166	0,945	0,108	0,047	87,8	3,889	0,402	0,402	0,496	1123,7	503,1	620,5
Каолиновое волокно диаметром 1,9 мкм	25	180	0,048	2,786	0,279	0,139	0,014	7,4	0,275	0,093	0,009	0,084	115,7	11,3	104,4	
	50	191	0,081	2,408	0,450	0,120	0,023	12,0	0,742	0,119	0,049	0,071	149,3	61,2	88,2	
	88	387	0,255	2,065	0,310	0,103	0,015	18,0	1,029	0,296	0,063	0,234	370,5	78,4	292,0	
Базальтовое волокно диаметром 1,1 мкм	20	115	0,982	0,990	0,213	0,049	0,011	224,0	49,161	0,489	0,070	0,419	611,5	87,9	523,6	
	25	115	0,701	1,222	0,391	0,061	0,020	171,0	18,946	0,437	0,120	0,317	546,7	150,4	396,3	
	35	171	0,899	1,922	0,714	0,096	0,036	160,6	7,374	1,073	0,424	0,649	1341,2	529,6	811,7	
	50	172	0,492	2,242	0,853	0,112	0,043	73,0	3,626	0,603	0,227	0,376	753,5	283,2	470,3	

8*

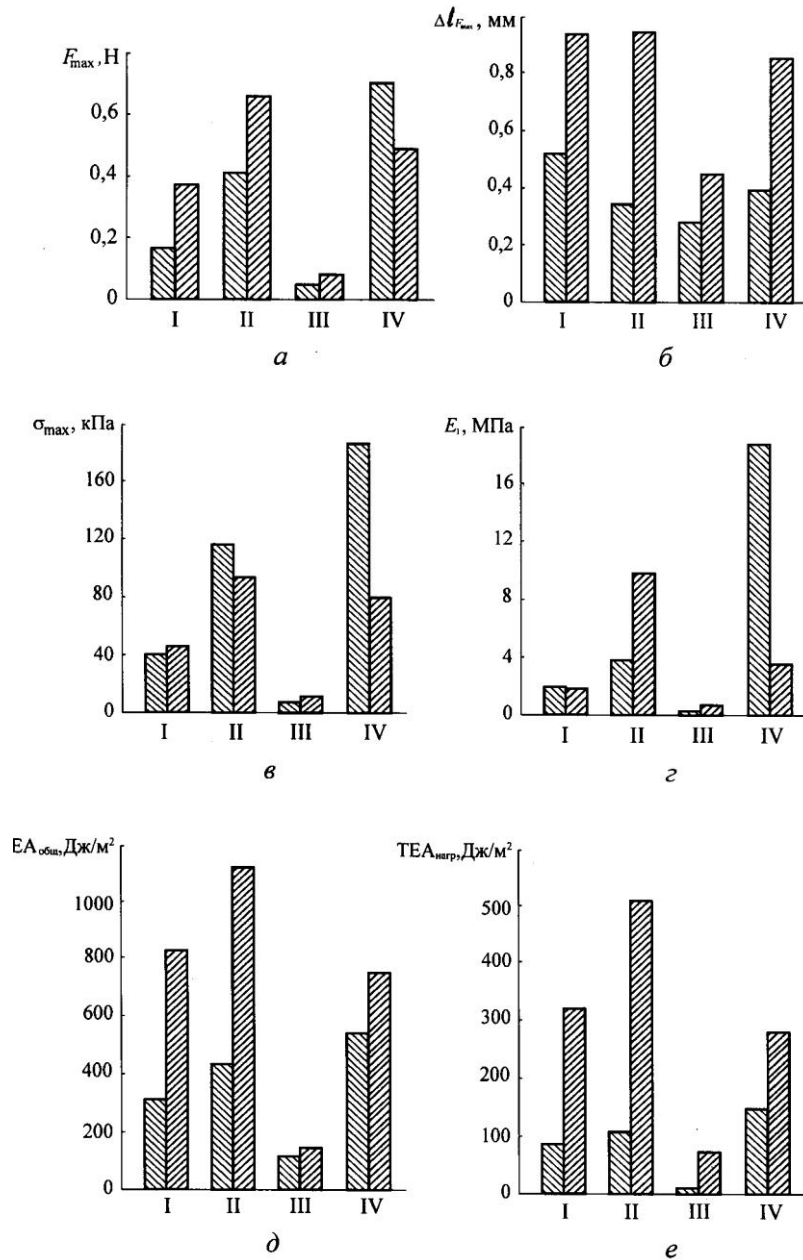


Рис. 4. Результаты испытаний образцов листовых материалов из минеральных волокон: I – стеклянное диаметром 0,7 мкм; II – 0,2 мкм; III – каолиновое; IV – базальтовое; а – максимально достигаемая нагрузка F_{max} ; б – удлинение при максимальной нагрузке $\Delta l_{F_{max}}$; в – разрушающее напряжение σ_{max} ; г – модуль упругости E_1 ; д – общая энергия разрушения ТЕА; е – энергия, затраченная на нагружение до максимальной нагрузки $TEA_{нагр}$ (□ – масса 1 м² – 25 г/м²; ▨ – 50 г/м²)

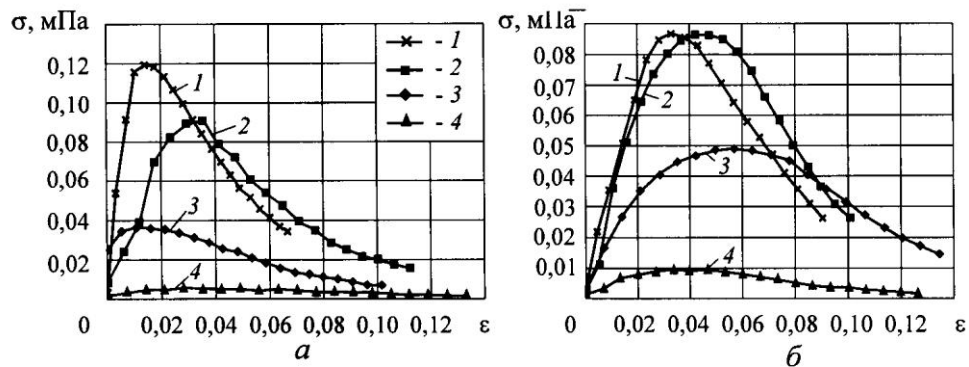


Рис. 5. Кривые зависимости напряжение-деформация для образцов листовых материалов из минеральных волокон массой 1 м² 25 (а) и 50 г (б): 1 – базальтовое, 2 – стеклянное диаметром 0,2 мкм, 3 – 0,7 мкм, 4 – каолиновое

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1) Разработана и успешно применена методика оценки деформативности и прочности образцов листовых бумагоподобных материалов без связующего, которые обладают крайне низкими величинами прочностных и деформационных характеристик.

2) Наилучшим комплексом свойств деформативности и прочности обладают листовые материалы из базальтовых волокон и стеклянных волокон диаметром 0,2 мкм.

3) Увеличение диаметра стеклянных волокон приводит к ухудшению свойств за счет снижения числа волокон и межволоконных контактов, обеспечивающих целостность структуры листа при отсутствии связующего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аслонова М.С.* Стекланные волокна / М.С. Аслонова. – М.: Химия, 1979. – 256 с.
2. *Дубовый В.К.* Создание фильтровальных материалов на основе минеральных волокон для высокоэффективной очистки воздуха. Сообщение 1. Влияние композиции, вида минеральных волокон и их толщины на основные свойства однослойных образцов фильтровальных материалов / В.К. Дубовый, Г.И. Чижов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2004. – № 10. – С. 46–49.
3. *Дубовый В.К.* Стекланные волокна. Свойства и применение / В.К. Дубовый. – СПб.: Нестор, 2003. – 130 с.
4. Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ 2001610526 РФ. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕКС) / Казаков Я.В., Комаров В.И. (РФ); заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2001610250/69; заявл. 11.03. 2001; опубл. 10.05.2001, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
5. *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.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 26.11.04

V.K. Dubovoj, Ya.V. Kazakov

Deformational Properties of Paper-like Materials based on Mineral Fibers of Different Origin

Comparison of characteristics of sheet material made of glass, kaolin, basalt fibers without using binding agents is carried out based on the developed technique of determining deformational characteristics of sheets made of mineral fibers.

