

УДК 676.017.22:531.71

ВЛИЯНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ДЛИНЫ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН НА КАЧЕСТВО БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© *Н.В. Сысоева, канд. техн. наук, доц.*

В.В. Коваленко, ассист.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: n.sisoeva@narfu.ru

Изучено влияние средней длины стеклянных волокон на изменение характеристик качества и структуры бумагоподобных материалов фильтровального назначения. Основная цель работы – определение критического значения длины стеклянных волокон, при котором происходит спад фильтрующих и прочностных характеристик качества бумагоподобных материалов. В качестве объектов исследования были выбраны нано- и микротонкие стеклянные волокна с номинальным диаметром 0,10 и 0,25 мкм соответственно, из которых изготавливали лабораторные образцы фильтрующего материала плотностью 100 г/м². Оценку фундаментальных свойств стеклянных волокон осуществляли по общепринятым методикам, соответствующим международным стандартам. Качество структуры получаемых образцов контролировали с помощью современных методов и средств измерения, например модуля формирования PTA-Line. Результаты данного исследования представлены в виде данных о фундаментальных свойствах стеклянных волокон и их влиянии на характеристики качества бумагоподобных материалов. Также были проанализированы выявленные в ходе исследований отличия в принципах формирования структуры листа при использовании нано- и микротонких волокон. Установлен механизм разрушения бумагоподобных материалов на основе стеклянных волокон, свидетельствующий о выдергивании волокон из структуры, а не их разрушение при приложении растягивающих нагрузок. Определено критическое значение длины, составляющее 1,2 мм как для микро-, так и для нано-тонких стеклянных волокон, после которого наблюдается спад фильтрующих и прочностных характеристик материалов.

Ключевые слова: бумагоподобные материалы фильтровального назначения, стеклянное волокно, прочность стеклянных волокон, критическая длина.

Важность критической длины волокон, используемых в производстве бумаги разного назначения, установлена еще С.Н. Ивановым [1]. Позже Дж. Кларком [3] эта характеристика была категорирована как одно из фундаментальных свойств бумаги. До настоящего времени системным изучением критической длины стеклянных волокон не занимались в виду особенностей данного волокнистого полуфабриката. Кроме того, развитие техники и технологии в последние годы привело к появлению на рынке новых видов стеклянных волокон, отличающихся меньшим диаметром при большей номинальной длине. Все это актуализирует необходимость определения критической длины

стеклянных волокон, используемых в качестве волокнистых полуфабрикатов для получения фильтровальных видов бумаги.

Принимая во внимание, что критическая длина – это интегрированная характеристика фундаментальных свойств, учитывающая собственную прочность волокон в материале, их ширину (в случае со стеклянными волокнами – диаметр), адгезионную способность, плотность и др. [2], для ее расчета были проведены комплексные исследования, направленные на изучение фундаментальных свойств стеклянных волокон. Дополнительно были установлены закономерности влияния фундаментальных свойств волокна на потребительские свойства бумагоподобных стекловолокнистых материалов фильтровального назначения. С этой целью были изготовлены серии лабораторных отливок с заранее смоделированным значением средней длины стеклянных волокон. В качестве объектов исследования использованы нано- (НТВ-0,1) и микротонкие (МТВ-0,25 и МТВ-0,4*) стеклянные волокна.

Фундаментальные свойства стеклянных волокон оценивали по общепринятым стандартным методикам. Дополнительно контролировали качество структуры получаемых образцов с помощью современных методов и средств измерения, например анализатора формования РТА-Line.

В связи с тем, что образцы материала из стеклянных волокон имеют крайне низкую прочность, для снижения вероятности ошибки определения в областях значений, близких к порогу чувствительности испытательных приборов, все серии образцов изготовлены с добавлением связующего. Расход связующего поддерживали постоянным. Полученные результаты представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Изменение характеристик структуры бумагоподобного материала в зависимости от регулирования средней длины стеклянных волокон разных марок

Средняя длина волокна, мм	Индекс формования	Пористость, мл/мин	Шероховатость, мл/мин	Капиллярная впитываемость, мм	Влагоемкость, %
НТВ-0,1					
1,6	266,1	1700	4400	151	122
1,4	278,6	1500	4500	149	122
1,2	250,1	1400	4100	146	125
1,1	214,1	1400	4900	145	124
1,0	191,3	1200	4800	137	116
МТВ-0,25					
2,2	201,4	2800	3300	163	120
1,8	200,7	2800	3400	165	118
1,5	223,1	2300	3000	165	120
1,2	213,6	2200	3100	161	122
0,9	175,6	2300	2400	151	123

* Данные для этой марки волокна не представлены, так как все зависимости аналогичны полученным для марки МТВ-0,25 – наиболее распространенной среди производимых фильтровальных бумаг.

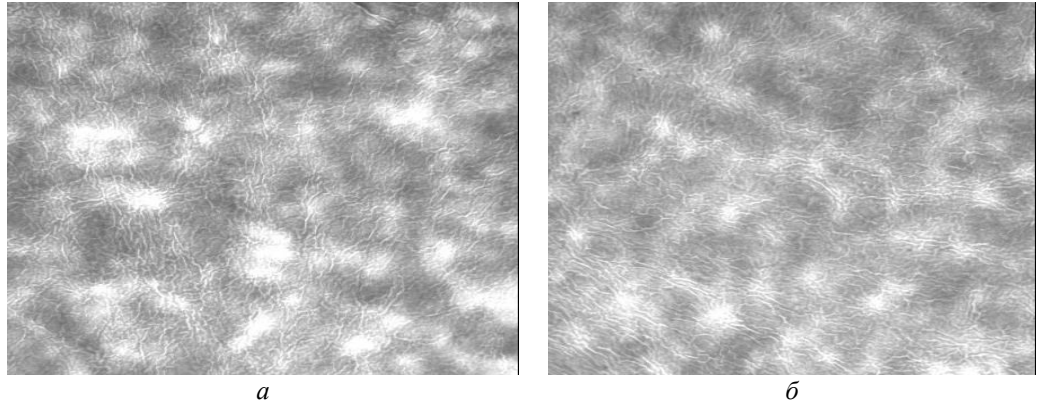


Рис. 1. Фотографии на просвет образцов бумагоподобного материала, изготовленных из нано- (*a*) и микротонких (*б*) стеклянных волокон (средняя длина 1,2 мм)

Анализ качества структуры материала показал закономерное снижение пористости и улучшение индекса формования при снижении средней длины как нано-, так и микротонких стеклянных волокон в исследуемом диапазоне значений. В случае с нанотонкими стеклянными волокнами отмечены более высокие значения индекса формования по сравнению с микротонкими волокнами (чем ближе значение к 100 ед., тем равномернее структура материала), что обусловлено их повышенной склонностью к флокуляции. Пористость, наоборот, выше у образцов, изготовленных из микротонких волокон, что также закономерно и обусловлено получением более грубой капиллярно-пористой структуры за счет больших геометрических размеров и грубости исходных волокон.

Большую флокуляцию нанотонких волокон наглядно демонстрирует рис. 1, *a*, где наблюдается сильная «облачность», вызванная вариацией флокул по размерам. Равномерность просвета, оцениваемая индексом формования, лучше у образцов, полученных из микротонких стеклянных волокон (рис. 1, *б*).

Отличия в принципах формирования структуры листа при использовании нано- и микротонких волокон прослеживаются и в значениях шероховатости (табл. 1). В случае нанотонких волокон тренд имеет минимум. Повышение значений шероховатости при снижении средней длины волокон в структуре может происходить вследствие ориентации коротких волокон в z -направлении листа.

Для получения более полной картины представлены лепестковые гistogramмы распределения по размеру флокул для всех исследуемых образцов (рис. 2). Отметим, что флокулы размером 16 мм преобладают в образцах из нанотонких волокон с большой средней длиной, что подтверждает ранее высказанное предположение о большей склонности к флокуляции. В случае с микротонкими волокнами большей длины распределение по размерам флокул более центрировано.

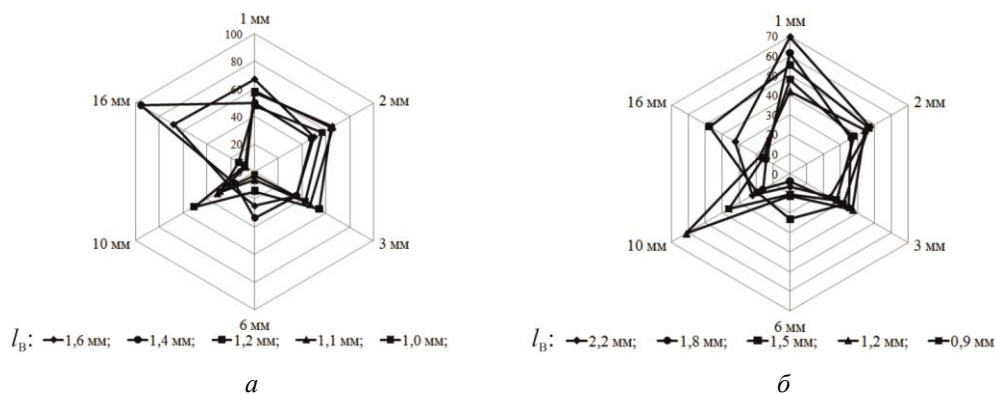


Рис. 2. Влияние средней длины нано- (а) и микротонких (б) стеклянных волокон на распределение флокул по размерам в структуре образцов

Форма распределения флокул по размерам изменяется при снижении средней длины волокна в суспензии ниже 1,2 мм как для нано-, так и для микротонких волокон. Вероятно, в этой области находится пороговое значение длины стеклянных волокон.

Критическую длину стеклянных волокон рассчитывали по результатам определения фундаментальных свойств, представленных в табл. 2, дополнительно оценивали прочность материала при растяжении.

Таблица 2

Изменение механических свойств бумагоподобных материалов в зависимости от регулирования средней длины стеклянных волокон разных марок

Средняя длина волокна, мм	Толщина образца, мкм	Деформация, %	Межволоконные силы связи, МПа	Напряжение, МПа		Критическая длина волокна, мм
				при нулевом расстоянии	при растяжении	
НТВ-0,1						
1,6	685	1,83	0,007	0,14	0,53	3,1
1,4	593	1,84	0,008	0,17	0,66	3,4
1,2	580	1,56	0,009	0,18	0,64	3,3
1,1	560	1,54	0,010	0,18	0,62	3,2
1,0	555	1,49	0,010	0,16	0,85	2,7
МТВ-0,25						
2,2	608	1,58	0,009	0,23	0,61	4,0
1,8	601	1,42	0,007	0,22	0,68	4,2
1,5	554	1,44	0,007	0,23	0,69	5,1
1,2	538	1,40	0,003	0,25	0,76	14,5
0,9	532	1,39	0,002	0,32	0,84	30,3

Анализ результатов определения прочности при растяжении показал значительные отличия в поведении образцов из стеклянных волокон. Так, разрушающее напряжение при растяжении, вопреки общепринятым представлениям для материалов из растительных волокон, растет по мере снижения длины волокон в исследуемом диапазоне значений.

Известно, что стеклянные волокна не способны к фибриллированию и повышению эластичности в процессе размола [4, 5], т.е. сохранение длины стеклянных волокон не обуславливает повышения межволоконного связеобразования. Данные табл. 2 подтверждают вышесказанное. Необходимо отметить, что значения межволоконных сил связи для исследуемых марок стеклянных волокон крайне низкие, даже при использовании связующего в композиции материала.

В ходе экспериментов установлено, что собственная прочность стеклянных волокон сопоставима с прочностью образцов и не зависит от средней длины волокон в образце.

Можно предположить, что повышение прочности при растяжении, по мере снижения длины волокна, происходит за счет увеличения сил трения в результате уплотнения структуры листа, о чем свидетельствует снижение толщины и индекса формования исследуемых образцов. Подобная тенденция справедлива как для нано-, так и для микротонких волокон.

Расчет критической длины стеклянных волокон позволил установить, что разрушение стекловолоконистых бумагоподобных материалов происходит преимущественно за счет выдергивания стеклянных волокон из структуры листа. Из теории прочности композитов известно, что если длина волокна меньше своего критического значения, то в зоне разрушения материала будет наблюдаться выдергивание отдельного волокна, а не его разрушение. Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о многократно завышенных значениях критической длины по сравнению со средней длиной исследуемых марок стеклянных волокон.

Определение фильтрующих свойств бумагоподобных материалов показало отсутствие значимой корреляции этих показателей со средней длиной волокна в исследуемом диапазоне значений.

Необходимо отметить, что, несмотря на слабую связь фундаментальных свойств стеклянных волокон с прочностью материала, в исследуемом диапазоне значений (см. табл. 1, 2) при дальнейшем снижении средней длины волокна происходит резкое снижение всех потребительских свойств материала, образцы приобретают повышенную пылимость и «рассыпаются» в руках вследствие перехода значительной части стеклянных волокон в «мельштоф», не способный образовывать волоконистый каркас структуры.

Таким образом, в ходе проведенных исследований и расчета критической длины волокон установлен механизм разрушения бумагоподобных материалов фильтровального назначения из нано- и микротонких стеклянных волокон. Подтвержден низкий вклад межволоконных сил связи в общую проч-

ность материала из стеклянных волокон. Установлены значения средней длины стеклянных волокон (1,2 мм для всех исследованных марок) для получения материалов с удовлетворительными прочностью и характеристиками структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов С.Н.* Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 695 с.
2. *Карлссон Х.* Гид по волокну. Анализ волокна и его применение в ЦБП: справочное руководство: пер. с англ. А.М. Кряжева. Kista Snabbtryck, Sweden, 2008. 118 с.
3. *Кларк Дж.* Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний): пер. с англ. А.В. Оболенской и Г.А. Пазухиной. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.
4. Фракционный состав по диаметру штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги специального назначения / В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский // Лесн. журн. 2011. № 5. С. 101–105. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Фракционный состав по длине штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги. Методы определения / В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 101–106. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 15.07.13

The Effect of Glass Fiber Critical Length on the Quality of Paper-Like Filter Materials

N.V. Sysoeva, Candidate of Engineering, Associate Professor
V.V. Kovalenko, Teaching Assistant

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia.
E-mail: n.sisoeva@narfu.ru

The influence of glass fiber critical length on the quality of paper-like filter was studied. The research aimed to determine the critical length after which we can see a decline in filtering and strength properties of paper-like material. Our objects of research were nano- and microthin glass fibers 0.1 and 0.25 μm in diameter respectively. These fibers were used to produce laboratory samples of filter material with the density of 100 g/m^2 . The fundamental properties of glass fibers were estimated by standard methods according to ISO. The structure quality of the samples obtained was controlled by up-to-date methods and instrumentation, such as PTA-Line formation module. The results of the research provide data on fundamental properties of glass fibers and their impact on the quality characteristics of paper-like materials. In addition, we analyzed differences in formation of sheet structure using nano- and microthin fibers. The fracture mechanism of paper-like filter materials based on glass fibers was determined. This mechanism indicates that when subjected to tensile stress, the fibers are pulled out of the structure but not destroyed. The critical length

for micro- and nanothin glass fibers was found to be 1.2 mm. Higher values cause a decline in filtering and strength properties of paper-like material.

Keywords: paper-like filter materials, glass fiber, glass fiber strength, critical length.

REFERENCES

- 1.Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow,1970. 695 p.
 - 2.Karlsson H. *Fibre Guide. Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry* (Russ. ed.: Karlsson Kh. *Gid po voloknu. Analiz volokna i ego primeneniye v TsBP. Spravochnoe rukovodstvo*. Kista Snabbtryck, Sweden. 2008. 118 p.).
 - 3.Clark D. *Pulp Technology and Treatment for Paper*. 1978 (Russ. ed.: Klark Dzh. *Tekhnologiya tsellyulozy (nauka o tsellyuloznoy masse i bumage, podgotovka massy, pererabotka ee na bumagu, metody ispytaniy)*. Moscow, 1983. 456 p.).
 - 4.Kovalenko V.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Fraktsionnyy sostav po diametru shtapel'nykh steklyannykh volokon, ispol'zuemykh v proizvodstve bumagi spetsial'nogo naznacheniya [Fractional Composition by Diameter of Staple Glass Fibers Which Are Used for Making Special Types of Paper]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 5, pp. 101–105.
 - 5.Kovalenko V.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Fraktsionnyy sostav po dline shtapel'nykh steklyannykh volokon, ispol'zuemykh v proizvodstve bumagi. Metody opredeleniya [Fractional Composition Along the Length of Staple Glass Fibers Which Are Used in Paper-Making Production. Measuring Methods]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 6, pp. 101–106.
-