

УДК 676.2.036

В.К. Дубовый, Я.В. Казаков

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.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Сопоставлены деформационные характеристики листовых материалов из минеральных волокон, изготовленных при использовании 20...80 % минерального связующего. Показано, что введение связующего не только повышает значения деформационных и прочностных характеристик, но и влияет на характер деформирования листового материала при растяжении; установлено, что материал становится более прочным и более жестким, при этом снижается его растяжимость.

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

Материалы из минеральных волокон, изготовленные традиционным бумагоделательным способом, используют в качестве фильтровальных, тепло- и шумоизоляционных материалов, для работы при повышенной температуре, в кислых и щелочных средах. Однако, в отличие от целлюлозных материалов, они не обладают способностью к образованию достаточно прочных межволоконных связей, их механическая прочность невелика. Поэтому при разработке технологии бумагоподобных материалов из минеральных волокон используют различные упрочняющие добавки, в частности соединения алюминия. Теоретические представления о механизме упрочняющего действия соединений алюминия в целлюлозных материалах позволяют предположить, что аналогичные механизмы вполне работоспособны и для некоторых видов минеральных волокон. Как таковой, сульфат алюминия связующим не является, а упрочняющее действие проявляют продукты, образующиеся в результате его гидролиза и активного регулирования pH с помощью щелочи. Можно предположить, что полиядерные ацидокомплексы алюминия способны вовлекать в свою структуру различные анионы, в том числе и гидроксилы, расположенные на поверхности минеральных волокон.

Испытания проведены на образцах стеклянных волокон с диаметром 0,2 и 0,7 мкм, а также каолиновых и базальтовых волокон. Масса отливок составляла 25 и 50 г/м². Расход связующего (сульфат алюминия в пересчете на Al₂O₃) составлял 20, 40, 60 и 80 %. Отлив осуществляли при pH 7,0...7,5. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Результаты механических испытаний отливок из стеклянных, каолиновых и базальтовых волокон с различным количеством связующего

| Расход связующего, % | δ , мм | 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 | | | | | | | | | | | |
| Стекловолокно диаметром 0,2 мкм | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 102 | 0,413 | 1,699 | 0,342 | 0,085 | 0,017 | 0,107 | 8,36 | 0,347 | 0,077 | 0,271 | 434 | 110 | 338 |
| | 193 | 0,659 | 2,166 | 0,945 | 0,108 | 0,047 | 0,088 | 3,89 | 0,899 | 0,402 | 0,496 | 1124 | 503 | 620 |
| 20 | 104 | 3,363 | 1,139 | 0,569 | 0,057 | 0,028 | 0,813 | 61,6 | 2,122 | 1,053 | 1,069 | 2652 | 1316 | 1337 |
| | 228 | 8,391 | 0,809 | 0,243 | 0,040 | 0,012 | 0,939 | 167,8 | 4,211 | 1,494 | 2,717 | 5263 | 1867 | 3396 |
| 40 | 111 | 4,752 | 0,559 | 0,196 | 0,028 | 0,010 | 1,100 | 208,2 | 1,481 | 0,538 | 0,943 | 1851 | 673 | 1179 |
| | 220 | 9,988 | 0,577 | 0,231 | 0,029 | 0,012 | 1,160 | 265,1 | 3,202 | 1,537 | 1,665 | 4003 | 1922 | 2081 |
| 60 | 172 | 3,792 | 0,533 | 0,187 | 0,027 | 0,009 | 0,559 | 85,3 | 1,009 | 0,403 | 0,607 | 1262 | 504 | 758 |
| | 211 | 9,304 | 0,707 | 0,354 | 0,035 | 0,018 | 1,107 | 111,6 | 3,076 | 1,455 | 1,620 | 3844 | 1819 | 2025 |
| 80 | 95 | 5,114 | 0,614 | 0,276 | 0,031 | 0,014 | 1,355 | 173,2 | 1,391 | 0,622 | 0,769 | 1739 | 777 | 962 |
| | 206 | 11,86 | 0,651 | 0,293 | 0,033 | 0,015 | 1,484 | 159,8 | 3,649 | 1,572 | 2,078 | 4562 | 1964 | 2597 |
| Стекловолокно диаметром 0,7 мкм | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 109 | 0,163 | 2,445 | 0,519 | 0,122 | 0,026 | 0,040 | 2,03 | 0,251 | 0,071 | 0,180 | 314 | 89 | 225 |
| | 208 | 0,369 | 2,840 | 0,934 | 0,142 | 0,047 | 0,045 | 1,84 | 0,666 | 0,259 | 0,407 | 832 | 324 | 508 |
| 20 | 81 | 0,192 | 1,824 | 0,274 | 0,091 | 0,014 | 0,061 | 1,82 | 0,229 | 0,049 | 0,181 | 287 | 61 | 226 |
| | 179 | 0,976 | 2,046 | 0,716 | 0,102 | 0,036 | 0,138 | 7,12 | 1,130 | 0,335 | 0,795 | 1413 | 419 | 993 |
| 40 | 107 | 0,234 | 1,526 | 0,382 | 0,076 | 0,019 | 0,055 | 4,24 | 0,233 | 0,070 | 0,163 | 291 | 87 | 203 |
| | 255 | 1,885 | 1,575 | 0,551 | 0,079 | 0,028 | 0,193 | 15,37 | 1,645 | 0,525 | 1,120 | 2056 | 656 | 1400 |
| 60 | 86 | 2,034 | 0,775 | 0,194 | 0,039 | 0,010 | 0,621 | 110,9 | 0,804 | 0,171 | 0,633 | 1004 | 213 | 791 |
| | 164 | 6,505 | 0,734 | 0,183 | 0,037 | 0,009 | 1,062 | 214,8 | 2,477 | 0,508 | 1,969 | 3097 | 635 | 2462 |
| 80 | 91 | 1,659 | 1,084 | 0,325 | 0,054 | 0,016 | 0,503 | 48,8 | 1,021 | 0,292 | 0,729 | 1276 | 365 | 911 |
| | 171 | 6,606 | 0,814 | 0,285 | 0,041 | 0,014 | 0,993 | 118,3 | 2,773 | 0,918 | 1,856 | 3466 | 1147 | 2320 |
| Каолиновое волокно диаметром 1,9 мкм | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 180 | 0,048 | 2,786 | 0,279 | 0,139 | 0,014 | 0,007 | 0,27 | 0,093 | 0,009 | 0,084 | 116 | 11 | 104 |
| | 191 | 0,081 | 2,408 | 0,450 | 0,120 | 0,023 | 0,012 | 0,74 | 0,119 | 0,049 | 0,071 | 149 | 61 | 88 |
| 20 | 189 | 0,126 | 1,376 | 0,344 | 0,069 | 0,017 | 0,017 | 1,32 | 0,089 | 0,028 | 0,060 | 111 | 35 | 75 |
| | 229 | 0,729 | 1,022 | 0,306 | 0,051 | 0,015 | 0,081 | 8,65 | 0,446 | 0,135 | 0,311 | 557 | 169 | 388 |

Окончание табл.

| Расход связующего, % | δ , мм | F_{\max} , Н | Δl , мм | | ε | $\varepsilon_{F_{\max}}$ | σ_{\max} , кПа | E_1 , МПа | A , мДж | | | TEA , Дж/м ² | | |
|---------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|
| | | | Δl | $\Delta l_{F_{\max}}$ | | | | | $A_{\text{общ}}$ | $A_{\text{нагр}}$ | $A_{\text{разгр}}$ | $TEA_{\text{общ}}$ | $TEA_{\text{нагр}}$ | $TEA_{\text{разгр}}$ |
| 40 | 188 | 0,161 | 1,216 | 0,304 | 0,061 | 0,015 | 0,023 | 2,34 | 0,113 | 0,033 | 0,080 | 142 | 41 | 101 |
| | 197 | 0,955 | 0,769 | 0,269 | 0,038 | 0,013 | 0,123 | 22,93 | 0,380 | 0,128 | 0,252 | 475 | 160 | 315 |
| | 215 | 0,135 | 1,807 | 0,090 | 0,090 | 0,005 | 0,016 | 0,90 | 0,111 | 0,011 | 0,101 | 139 | 13 | 126 |
| 60 | 254 | 0,600 | 1,062 | 0,372 | 0,053 | 0,019 | 0,060 | 6,96 | 0,336 | 0,110 | 0,226 | 420 | 137 | 283 |
| | 139 | 0,148 | 0,997 | 0,100 | 0,050 | 0,005 | 0,029 | 2,35 | 0,091 | 0,012 | 0,079 | 114 | 15 | 99 |
| 80 | 256 | 3,002 | 0,776 | 0,311 | 0,039 | 0,016 | 0,313 | 29,65 | 1,303 | 0,525 | 0,779 | 1629 | 656 | 973 |
| Базальтовое волокно диаметром 1,1 мкм | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 115 | 0,701 | 1,222 | 0,391 | 0,061 | 0,020 | 0,171 | 18,95 | 0,437 | 0,120 | 0,317 | 547 | 150 | 397 |
| | 172 | 0,492 | 2,242 | 0,853 | 0,112 | 0,043 | 0,073 | 3,63 | 0,603 | 0,227 | 0,376 | 753 | 283 | 470 |
| 20 | 123 | 2,023 | 0,751 | 0,338 | 0,038 | 0,017 | 0,302 | 30,39 | 0,780 | 0,327 | 0,453 | 974 | 409 | 565 |
| | 171 | 4,130 | 0,789 | 0,237 | 0,039 | 0,012 | 0,612 | 75,89 | 1,714 | 0,519 | 1,195 | 2142 | 649 | 1493 |
| 40 | 91 | 6,740 | 0,553 | 0,221 | 0,028 | 0,011 | 1,911 | 348,54 | 1,604 | 0,666 | 0,938 | 2005 | 833 | 1172 |
| | 155 | 13,513 | 0,570 | 0,199 | 0,028 | 0,010 | 2,291 | 334,18 | 2,837 | 1,170 | 1,667 | 3546 | 1462 | 2084 |
| 60 | 121 | 9,219 | 0,477 | 0,191 | 0,024 | 0,010 | 2,109 | 361,36 | 2,208 | 0,816 | 1,392 | 2760 | 1020 | 1740 |
| | 261 | 15,079 | 0,534 | 0,213 | 0,027 | 0,011 | 1,495 | 241,08 | 3,218 | 1,579 | 1,639 | 4022 | 1974 | 2048 |
| 80 | 92 | 4,587 | 0,517 | 0,181 | 0,026 | 0,009 | 1,320 | 228,03 | 0,993 | 0,356 | 0,637 | 1241 | 445 | 796 |
| | 128 | 12,061 | 0,479 | 0,192 | 0,024 | 0,010 | 2,891 | 435,80 | 2,760 | 1,077 | 1,683 | 3450 | 1346 | 2104 |

Примечание. 1. δ – толщина образца, мкм; F – нагрузка, Н; Δl – удлинение до разрыва, мм; $\Delta l_{F_{\max}}$ – удлинение до максимальной нагрузки, мм; ε – деформация разрыва, %; $\varepsilon_{F_{\max}}$ – деформация при максимальной нагрузке, %; σ – напряжение, МПа; E_1 – начальный модуль упругости, МПа; $A_{\text{общ}}$ – общая работа разрыва, мДж; $A_{\text{нагр}}$ – работа до максимальной нагрузки, мДж; $A_{\text{разгр}}$ – работа после максимальной нагрузки, мДж; $TEA_{\text{общ}}$ – общая энергия, поглощаемая при растяжении, Дж/м²; $TEA_{\text{нагр}}$ – энергия, поглощаемая до максимальной нагрузки, Дж/м²; $TEA_{\text{разгр}}$ – энергия, поглощаемая после максимальной нагрузки, Дж/м². 2. В числителе приведены данные для отливок массой 25 г/м², в знаменателе – 50 г/м².

Введение связующего не только улучшает деформационные и прочностные характеристики, но и влияет на характер деформирования листового материала при растяжении. На рис. 1, 2 представлены кривые зависимости напряжение–деформация для образцов из минеральных волокон с различным количеством связующего. Обнаружено, что материал становится не только более прочным, но и более жестким, что сопровождается снижением его растяжимости – максимум на кривых сдвигается к началу оси деформации.

При растяжении волокнистого материала со связующим рост жесткости структуры и ее реакцию на приложение нагрузки обеспечивают межволоконные силы связи. Это четко прослеживается на кривых напряжение–деформация: более крутой участок на ветви нагружения соответствует образцам с большим количеством связующего. У большинства образцов кривые после достижения точки максимума похожи по длине и наклону и ха-

рактически характеризуют сопротивление волокон растаскиванию в условиях разрушенных межволоконных контактов.

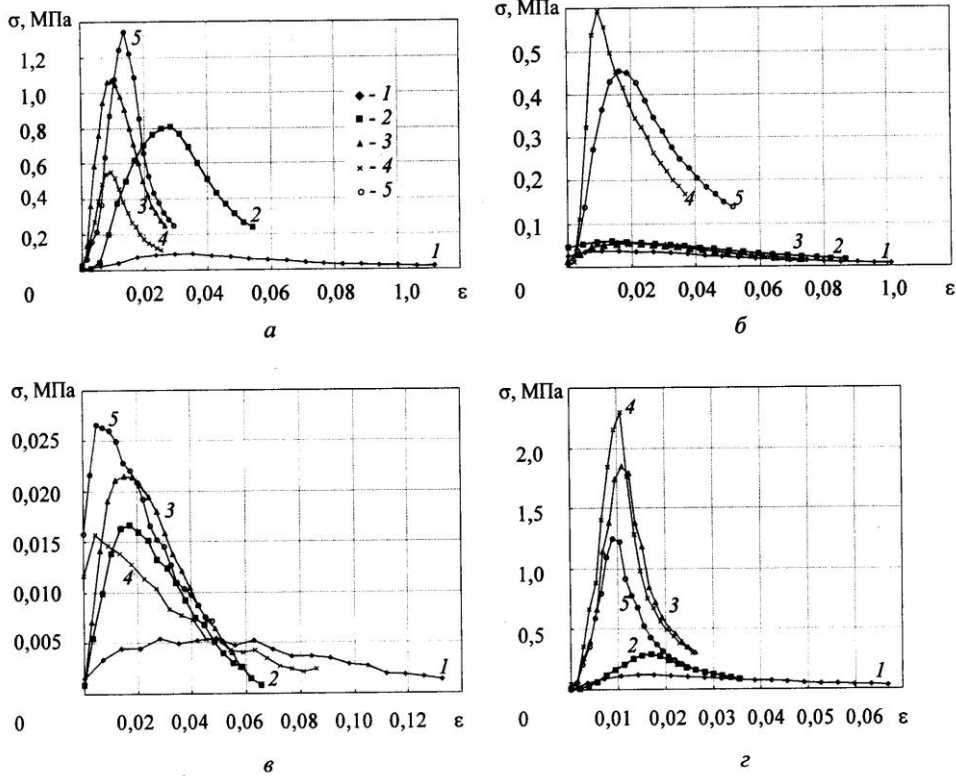


Рис. 1. Зависимость напряжение–деформация для образцов листовых материалов из минеральных волокон массой 25 г/м^2 с различным количеством связующего: 1 – 0 %; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80 %; а – стекловолокно 0,2 мкм; б – стекловолокно 0,7 мкм; в – каолин; г – базальт

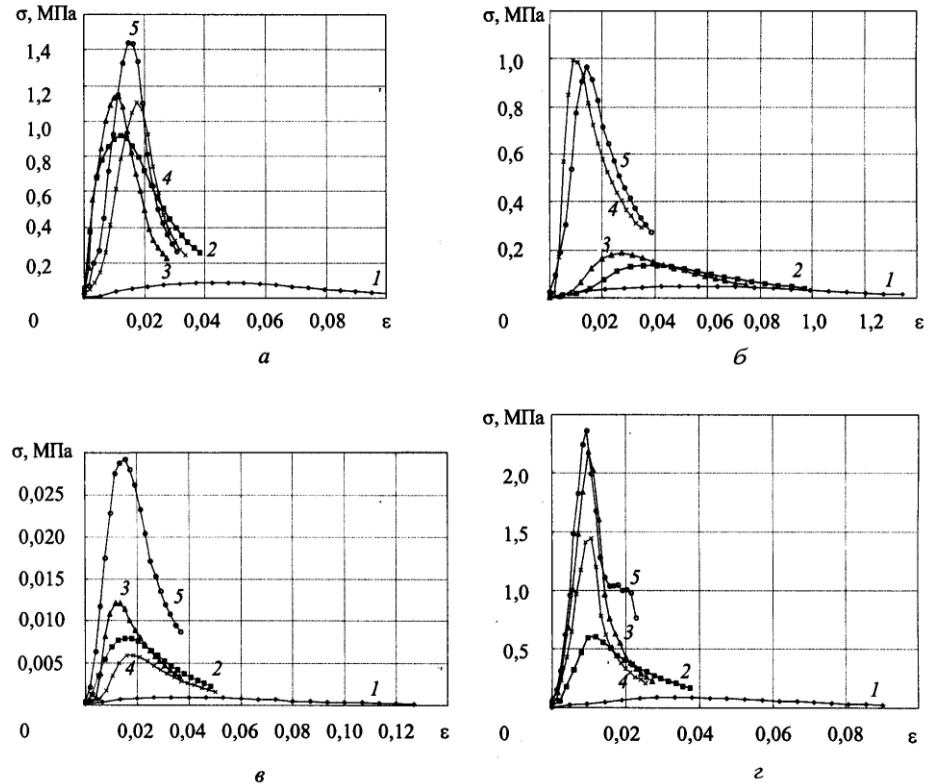


Рис. 2. Зависимость напряжение–деформация для образцов листовых материалов из минеральных волокон массой 50 г/м^2 с различным количеством связующего (см. обозначения на рис. 1)

Упрочняющий эффект от введения связующего для различных материалов проявляется в различной степени. Так, для отливок массой 25 г/м^2 из стекловолкна диаметром $0,2 \text{ мкм}$ упрочняющее действие проявляется уже при добавке 20% связующего, а отливкам из стекловолкна диаметром $0,7 \text{ мкм}$ для достижения сопоставимого эффекта требуется введение по крайней мере 60% связующего. Для материалов одной природы это может быть связано с различной площадью контактов волокон (у образцов одинаковой массы из более тонких волокон она больше), на которой за счет введения связующего формируются межволоконные связи.

Результаты испытаний образцов с увеличенной до 50 г/м^2 массой отливок подтвердили тенденцию, обнаруженную на тонких образцах массой 25 г/м^2 . Только были получены более четкие зависимости, поскольку на свойства материала в меньшей степени сказывались локальные колебания массы при общей более высокой абсолютной прочности листов.

Природа минерального материала также влияет на характеристики деформативности и прочности образцов, изготовленных с применением связующего. Так, даже при использовании связующего материал из каолино-

вых волокон остается весьма слабым. Прочность образцов возрастает в ряду: каолин, стекловолокно диаметром 0,7 мкм, стекловолокно диаметром 0,2 мкм, базальтовое волокно.

Выводы

1. Введение сульфата алюминия не только повышает значения деформационных и прочностных характеристик, но и влияет на характер деформирования листового материала из минеральных волокон при растяжении, которое оценивается по кривым напряжение–деформация; материал становится более прочным и жестким, что сопровождается снижением его растяжимости.

2. Наилучшим комплексом свойств деформативности и прочности обладает листовая материал (масса 50 г/м²) из базальтовых и стеклянных (диаметр 0,2 мкм) волокон.

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия
Архангельский государственный технический университет

V.K. Dubovyj, Ya.V. Kazakov

Application of Aluminum Sulfate for Increasing Deformational Characteristics of Paper-like Materials of the Mineral Fibers

Comparison of deformational characteristics of sheet materials made of mineral fibers manufactured by using 20...80 % mineral binding is carried out. Addition of binding is shown not only to increase the values of deformational and strengths characteristics but influence the deformation character of sheet material under tension. It is found that when material becomes stronger and stiffer its elasticity goes down.