

сов В. В. О связи энергии активации вязкого течения растворителя с мольной сольватацией сульфатного лигнина в растворах // Лесн. журн.—1977.— № 3.— С. 97—100.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Некрасов В. В. О сольватации лигнина в растворах диоксана // Лесн. журн.—1973.— № 1.— С. 168—170.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Некрасов В. В. Сольватация макромолекул сульфатного лигнина в метилцеллозольве и тетрагидрофуруриловом спирте // Лесн. журн.—1979.— № 3.— С. 87—89.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Некрасов В. В., Соколов О. М., Боховкин И. М. О сольватации сульфатного лигнина в некоторых органических растворителях // Лесн. журн.—1975.— № 2.— С. 114—117.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. ОСТ 13—183—83. Лигносальфонаты технической.— Взамен ОСТ 81—79—74; Введ. 01.11.84 до 01.11.89. [7]. Соколов О. М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации: Учеб. пособие.— Л.: ЛТА, 1978.— 76 с. [8]. Соколов О. М., Фесенко А. В. Расчет на ЭВМ «Минск-32» молекулярных масс и молекулярно-массовых распределений по данным гель-хроматографии.: Методические указания.— Архангельск, 1979.— 32 с.

Поступила 31 марта 1989 г.

УДК 676.017 : 539.412

ВЛИЯНИЕ СКРУЧИВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЕДИНИЧНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН

А. В. БЫВШЕВ, Н. М. МЕЛЬНИЧУК, Е. Е. САВИЦКИЙ,
В. В. ЛЕВШИНА

Сибирский технологический институт

Известно, что явление скручивания волокон наблюдается на различных стадиях бумагоделательного производства, в частности, в процессе размола. Особенно это явление присуще размолу целлюлозы при высокой концентрации — выше 20 %. Установлено [2], что волокна целлюлозной суспензии 30 %-й концентрации, пропущенные через рафинер, скручиваются вдоль их широких сторон и лежат на своих узких сторонах. Вследствие этого они выглядят более тонкими, чем обычные волокна. В действительности продольное сжатие волокон слегка увеличивает площадь поперечного сечения их стенок. Поскольку размол в рафинере при высокой концентрации массы несколько уменьшает фибриллирование и вызывает сжатие и скручивание волокон, площадь эффективного контакта смежных волокон снижается, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению прочности бумаги на разрыв.

Авторы [5] показали, что скручивание волокон снижает потенциальную прочность бумаги примерно на 40 %.

При изучении явления кручения одиночных волокон [6] установлено, что оно связано со спиральным расположением микрофибрилл во вторичной стенке целлюлозного волокна, прежде всего в слое S_2 . При увлажнении целлюлозного волокна под нагрузкой вращение происходит против часовой стрелки (если его рассматривать со стороны закрепленного конца) и может достигать шести полных витков [3]. Увлажнение приводит к удлинению волокна (за счет скручивания спирали микрофибрилл), а сушка — к сокращению с одновременным возникновением значительных механических усилий. Волокна ранней древесины сосны при увлажнении более склонны к кручению по сравнению с волокнами поздней древесины.

С использованием микроскопических методов исследования [4] было показано, что волокна разрушаются в тех областях, где они скручиваются и изгибаются.

Анализируя литературные данные, можно сделать вывод, что вопросы, связанные с исследованием явления скручивания единичных целлюлозных волокон и его влиянием на физико-механические свойства

волокон, практически не изучены. В процессе размола волокна испытывают различного рода деформации: растяжение, сжатие, кручение, изгиб. С изменением условий ведения процесса размола изменяются величины и характер деформаций. Естественно, наложение их должно изменять механические характеристики волокон, их форму и размеры. При комбинированном размолу (когда на первой ступени обработку проводят при высокой концентрации массы, а домол массы идет на последующих ступенях при низкой концентрации) исчезает преимущество в бумагообразующих свойствах, приобретаемое волокнами на первой ступени, по сравнению с аналогичным размолу, но при низкой концентрации. На наш взгляд, одна из основных причин этого — существенное ослабление волокон при приложении к ним на первой ступени обработки (при высокой концентрации массы) многочисленных крутильных напряжений.

Цель настоящей работы — изучить влияние скручивания волокон на их прочность при растяжении вдоль оси волокна.

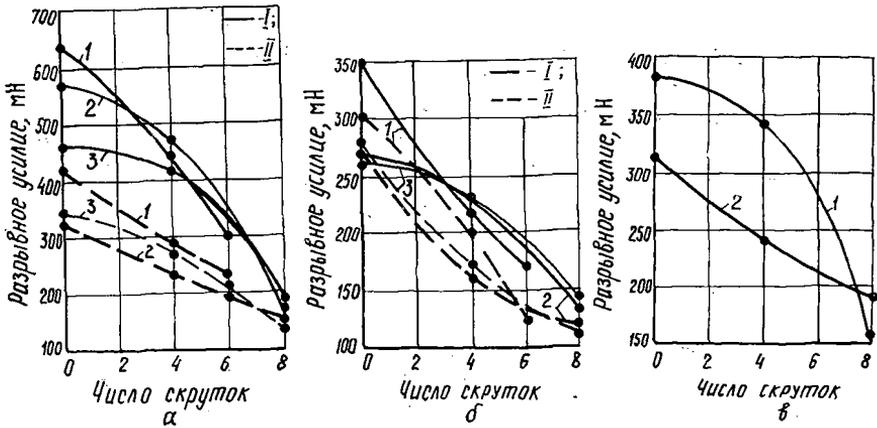
Объектом исследования являлись образцы промышленных сульфатных небеленых целлюлоз марки НС-2 Соломбальского ЦБК, марки Э-1, а также целлюлозные волокна ранней и поздней древесины сосны и лиственницы, полученные лабораторным способом, с содержанием лигнина от 17 до 4 %. Делигнификация предварительно разделенных на раннюю и позднюю часть образцов древесины сосны и лиственницы была проведена в батареевом автоклаве сульфатным способом. Режим варки: расход активной щелочи — 24 % к а.с. древесине, содержание активной щелочи — 30 г/л в ед. Na_2O , степень сульфидности — 30 %, гидромодуль 1:8, продолжительность стоянки при температуре 170 °С — 15, 60, 120 мин.

Волокна вклеивали с помощью эпоксидного клея в бумажную рамку. Длина испытуемого участка волокна для всех образцов была постоянна — 1 мм, что соответствовало ширине прорези рамки. Это исключало влияние длины волокон на результаты испытаний. Полученные образцы выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре до полного затвердевания клея. Проникновение эпоксидного клея в испытуемый участок волокна не наблюдалось. Вклеенные волокна отсматривали в ланаметре для того, чтобы отобрать прямые волокна, не подвергнутые скрутке. Затем отсмотренные волокна подвергали скрутке. Рамку с вклеенным в нее волокном погружали в воду с целью улучшения его эластических свойств. Затем рамку разрезали, чтобы закрутить волокно вокруг оси на определенное число оборотов (1 об — 360 °), после чего ее вновь склеивали. Волокна лиственницы и сосны (при продолжительности делигнификации 15 мин) скручивались на 4 и 6 об, а волокна остальных целлюлоз — на 4 и 8 об.

Испытание единичного волокна на разрыв проводили на разрывной машине ФО-1с, представляющей собой динамометр маятникового типа. Скорость деформации была постоянной — 0,0013 м/с. Бумажную рамку с закрученным волокном вновь смачивали в воде и помещали в зажимные головки разрывной машины. Рамку разрезали, волокно подвергали разрыву. Участки разорванного волокна рассматривали в ланаметре для исключения результатов, полученных не при разрыве волокна, а его вырыве из бумажной рамки. Для обработки экспериментальных результатов использовали методы математической статистики. Расчет объема выборки проводили согласно данным работы [1]; он составил 50 волокон независимо от способа получения и природы волокна. Как показали наши многочисленные исследования, относительная ошибка в среднем составляла 10 %.

На рисунке представлена зависимость среднего разрывного усилия волокон исследуемых образцов целлюлозы от числа скруток. Установлено, что у волокон лиственницы поздней падение разрывного усилия происходит значительно быстрее по сравнению с волокнами ранней (рис. а). Это связано с морфологическими особенностями лиственничной целлюлозы: ее поздние волокна имеют толстые стенки, обладают высокой плотностью, а следовательно, и жесткостью. У сосновой целлюлозы нет таких резких различий между ранними и поздними трахеидами. Поэтому разрывное усилие волокон сосны как ранних, так и поздних снижается медленнее и равномернее с увеличением числа скруток (рис. б).

Волокна с более высоким содержанием остаточного лигнина при скручивании быстрее снижают разрывное усилие по сравнению с более делигнифицированными. Это, по-видимому, связано с тем, что слабо



Зависимость разрывного усилия от числа скруток волокон сульфатной целлюлозы: а — лиственничной; б — сосновой; I — поздние волокна; II — ранние волокна; 1 — содержание остаточного лигнина 15 %; 2 — 6 %; 3 — 3 %; в — марки НС-2 — 1, Э-1 — 2

делигнифицированные волокна обладают высокой жесткостью, и уже небольшие деформации их приводят к уменьшению разрывного усилия. В целом, падение прочности волокон при скрутке происходит в среднем на 50 %.

Такой же характер изменения физико-механических свойств волокон при скрутке присущ образцам промышленных целлюлоз (рис. в).

Основываясь на теории кручения, мы предположили, что если зависимость между растягивающими усилиями и относительной деформацией волокон записать в обычной степенной форме:

$$f = AS\varepsilon^n, \quad (1)$$

где f — растягивающее усилие, Н;
 S — площадь поперечного сечения волокна, м²;
 n, A — постоянные;
 ε — относительная деформация,

то усилие разрыва для волокна, закрученного вокруг его оси:

$$f_p = AS(\varepsilon_0 - \varepsilon_3)^n = AS\varepsilon_0^n \left(1 - \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_0}\right)^n. \quad (2)$$

Здесь ε_0 — критическая относительная деформация (в момент разрыва) незакрученного волокна;

ε_3 — относительная деформация элементов волокна в результате закрутки.

Приближенно

$$f_p = f_{p_0} \left(1 - \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_0}\right)^n \approx f_{p_0} - f_{p_0} \frac{n}{\varepsilon_0} \varepsilon_3, \quad (3)$$

где f_{p_0} — сила разрыва незакрученного волокна, Н.

Длину винтовой линии (форму которой приобретает исходный прямолинейный элемент на поверхности волокна, закручивающийся вокруг своей оси) находим из выражения:

$$l = \sqrt{a^2 + \frac{h^2}{4\pi^2 m^2}} 2\pi m = \sqrt{4\pi^2 m^2 a^2 + h^2}. \quad (4)$$

Здесь a — радиус волокна, м;
 h — длина базиса, м;
 m — число скруток.

Относительная деформация

$$\varepsilon_3 = \frac{\sqrt{4\pi^2 m^2 a^2 + h^2} - h}{h} \approx \frac{2\pi^2 m^2 a^2}{h^2}, \quad (5)$$

а сила разрыва

$$f_p = f_{p_0} \left(1 - \frac{n}{\varepsilon_0} \frac{2\pi^2 m^2 a^2}{h^2} \right). \quad (6)$$

Это выражение можно переписать в виде

$$f_p = f_{p_0} \left(1 - \frac{m^2}{m_{кр}^2} \right), \quad (7)$$

где $m_{кр}$ — критическое число скруток, при достижении которого волокно разрывается без растяжения.

Были проведены расчеты по определению критического числа скруток, при достижении которого волокно разрывается без растяжения. Расчетные критические числа скруток составили для волокон целлюлозы: из лиственничной ранней древесины — 10—11, из лиственничной поздней древесины — 10—11, из сосновой ранней древесины — 10—11, из сосновой поздней древесины — 11—12, марки НС-2 — 10—11, марки Э-1 — 13. Экспериментальные данные по определению критического числа скруток волокон близки к расчетным и составили 9—10, после чего волокно разрывалось.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Денисенко В. П., Третицкий М. И. Корреляционный анализ в целлюлозно-бумажном производстве.— М.: Лесн. пром-сть, 1968.— 152 с. [2]. Кларк Д. Технология целлюлозы.— М.: Лесн. пром-сть, 1983.— 456 с. [3]. Фролов М. В. Структурная механика бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 270 с. [4]. Page D. H. The collapse behavior of pulp fibers // *Tappi*.— 1967.— V. 50, N 9.— P. 449—455. [5]. Perez M., Kallmes O. The role fiber curl in paper properties. Part X of series on the structure of paper // *Tappi*.— 1965.— V. 48, N.10.— P. 601—606. [6]. Twisting energy of holocellulos fibers / R. E. Mark, J. Thorpe, A. J. Angello и др. // *J. Polymer science*.— 1971.— V. 7, N 36.— P. 177—195.

Поступила 24 октября 1988 г.

УДК 674.815-41

КОМПОЗИЦИОННОЕ КАРБАМИДОФЕНОЛЬНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПОНИЖЕННОЙ ТОКСИЧНОСТИ

И. А. ГАМОВА, Н. С. ТИМЕ, Л. И. ЛИХАЧЕВА, А. А. ЭЛЬБЕРТ

Ленинградская лесотехническая академия

Среди разнообразных способов снижения токсичности древесностружечных плит (ДСП), описанных в литературе [3, 7, 8], обращает на себя внимание большое количество исследований, направленных на модификацию карбамидоформальдегидной смолы соединениями, которые способствуют уменьшению содержания свободного формальдегида в смоле, а также увеличению устойчивости смолы к термогидролитическому воздействию. К таким соединениям относятся изоцианаты, альбумин, меламино- и фенолоформальдегидные смолы. Известно также,