

Из анализа показателей физико-механических свойств небеленой натронной целлюлозы следует, что ольха в относительно молодом возрасте (Д.2) дает волокнистый материал, разрывная длина и сопротивление излому которого не уступают целлюлозе из березы. Пониженные значения сопротивления раздираанию и продавливаю связаны, очевидно, с особенностями биометрических показателей волокон либриформа ольхи и березы, существенно различающихся между собой по возрасту. Аналогичные данные были получены ранее для целлюлозы из ольхи серой [1], 24-летняя древесина которой содержит значительно больше коротких волокон, чем береза примерно такого же возраста.

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность переработки ольхи черной обычными способами без каких-либо затруднений с получением волокнистых материалов, физико-механические свойства которых аналогичны, соответствующим полуфабрикатам из осины и березы. Следует отметить пониженную «смолистость» небеленой, сульфитной ольховой целлюлозы, что является одной из предпосылок для ее промышленной переработки. Принимая во внимание высокую энергию роста ольхи черной, ее можно рассматривать как перспективную древесную породу, расширяющую сырьевую базу целлюлозно-бумажной промышленности и занимающую экологическую нишу, которая недоступна другим видам древесных растений.

Однако для оптимизации режимов варки и улучшения свойств целлюлозы из древесины ольхи черной необходимо проводить дальнейшие исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Демченков П. А., Горбачева Г. Н., Бушмелева В. Н. Бумагообразующие свойства целлюлозы из серой ольхи // Химия и технология бумаги: Межвуз. сб.—Л., 1973.—Вып. 1.—С. 3—6. [2]. Ермаков И. В. Отличительные особенности ольхи черной на северном пределе распространения // Анатомия, физиология и экология лесных растений.—Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 1992.—С. 46—49. [3]. Ермаков И. В. Перспективы искусственного разведения ольхи черной в условиях Карелии // Селекционно-генетические исследования древесных пород Карелии.—Петрозаводск: Кар филиал АН СССР, 1987.—С. 94—99. [4]. Опыт промышленного использования тонкомерной древесины на Украине / Ф. А. Павленко, В. А. Поляков, В. Н. Бегеба и др.—М.: Лесн. пром-сть, 1974.—136 с. [5]. Поцхверашвили Б. С., Мургулия Л. С., Панозишвили К. П. Выработка целлюлозы высокого выхода и полуцеллюлозы из древесины ольхи // Химическая переработка древесины: Реф. информ.—1969.—№ 34.—С. 11—12.

Поступила 19 сентября 1993 г.

УДК 676.017

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛАХ ИЗ СТАТИЧЕСКИХ КРИВЫХ $\sigma$ — $\epsilon$ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ И НАГРУЖЕНИИ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

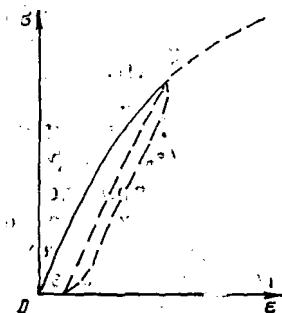
В. И. КОМАРОВ, Я. В. КАЗАКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Релаксационные процессы имеют большое практическое значение, так как в условиях эксплуатации материал часто претерпевает многократные деформации при больших частотах воздействия [8]. Можно предположить, что у целлюлозно-бумажных материалов релаксационные процессы обуславливают в определенной степени гистерезисные явления, которые проявляются в несовпадении деформационных кривых

напряжение — деформация ( $\sigma - \epsilon$ ), полученных при постепенном увеличении и уменьшении напряжения. После полной разгрузки образец не возвращается к своей первоначальной длине, т. е. в нем сохраняется остаточная деформация (рис. 1). Наличие гистерезисной петли часто связывают с процессом пластической деформации [1, 9], однако это может быть и следствием релаксационного характера развивающейся деформации. В связи с этим важнейшей характеристикой служит время релаксации напряжения  $n$ , величина которого обусловлена перегруппировками элементов структуры целлюлозно-бумажного материала и кинетикой деформации.

Рис. 1. Зависимость напряжения  $\sigma$  от деформации  $\epsilon$  целлюлозного материала



Одними из основных эксплуатационных свойств целлюлозно-бумажных материалов являются жесткость и прочность при приложении растягивающих нагрузок. Кривая зависимости  $\sigma - \epsilon$  представляет собой интегральную характеристику механических свойств материала и широко применяется в материаловедении, в гораздо меньшей степени — при оценке качества целлюлозно-бумажных материалов [3]. В работах [2, 4, 5, 6] показано, что для материалов с выраженными неупругими свойствами при изучении физических основ процессов деформирования и разрушения, а также решении многих технологических задач требуется уточнение закона Гука. В этом случае, рекомендуется применять закон деформирования типичного тела — линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами:

$$Hn\dot{\epsilon} + E\epsilon = \sigma + n\dot{\sigma}, \quad (1)$$

где:  $Hn$  — мгновенный модуль упругости;  
 $E$  — длительный модуль упругости;  
 $\sigma, \epsilon$  — напряжение и относительная деформация;  
 $\dot{\sigma}, \dot{\epsilon}$  — скорости роста напряжения и деформации.

Этот закон можно трактовать не только как феноменологический, но и, в первом приближении, как физико-статистический. Преимущества его заключаются в том, что создается возможность определения деформативных свойств различных материалов по единой методике. В зависимости от величины отдельных характеристик структуры материалов или для разных их состояний этот закон преобразуется в законы Максвелла (при  $E = 0$ ) или Гука (при  $n = 0$ ).

При нагружении и деформировании образца с постоянной скоростью, т. е. при стандартном испытании на растяжение, решение уравнения типичного тела при  $\epsilon = vt$  ( $v$  — скорость;  $t$  — время) и начальном условии ( $\sigma_0 = 0$ ) имеет вид [3]

$$\sigma(\epsilon) = E\epsilon + nv(H - E)\left(1 - e^{-\frac{\epsilon}{nv}}\right). \quad (2)$$

Для обработки кривых зависимости  $\sigma - \epsilon$  при испытании целлюлозно-бумажных материалов на растяжение была разработана программа [10], позволяющая рассчитать с помощью ЭВМ целый ряд характеристик деформативности и прочности, в том числе начальный модуль упругости  $E_1$  и модуль упругости в зоне предразрушения  $E_2$ . Используя коэффициенты  $E_1$  и  $E_2$ , перепишем уравнение (2):

$$\sigma(\epsilon) = E_2 \epsilon + n \nu (E_1 - E_2) \left( 1 - e^{-\frac{\epsilon}{n\nu}} \right). \quad (3)$$

При исследовании возможности применения уравнения (3) для определения времени релаксации напряжения в целлюлозно-бумажном материале были использованы образцы сульфатной небеленой целлюлозы со степенью делигнификации 20, 30, 40, 50 ед. Каппа. Целлюлозу размальывали до 30 °ШР, масса 1 м<sup>2</sup> образцов составляла 75 г. Испытания проводили на разрывной машине Р-50, скорость приложения нагрузки 50 мм/мин. Расчет времени релаксации напряжения производили при  $\epsilon \approx 0,5 \epsilon_p$  ( $\epsilon_p$  — деформация разрушения). Для проверки полученных результатов проведены испытания тех же образцов на релаксометре напряжения, конструкция которого разработана в С.-Петербургском государственном технологическом университете растительных полимеров [7]. Результаты эксперимента представлены в таблице.

№ образца	Число Каппа	Обработка кривой $\sigma - \epsilon$					Испытание на релаксометре напряжения		
		$E_1$ , МПа	$E_2$ , МПа	$\sigma$ , МПа	$\epsilon$ , %	$n$ , с	$\sigma$ , МПа	$\epsilon$ , %	$n$ , с
1	20	9080	1340	53,3	1,5	5,2	51,3	1,5	11,7
2	30	9880	1260	58,2	1,5	5,9	53,9	1,5	10,2
3	40	7780	1330	51,2	1,5	5,9	49,2	1,5	11,2
4	50	8560	1130	57,0	1,5	6,8	56,7	1,5	9,4

Как видно из таблицы, величины времени релаксации, полученные расчетным путем по уравнению (3) и при испытании на релаксометре напряжения, имеют один порядок. Различия можно объяснить различным режимом приложения нагрузки.

Таким образом, с помощью ЭВМ [10] можно получить коэффициенты уравнения (3) и использовать его для получения дополнительной характеристики — времени релаксации напряжения. Зная  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $n$  и задаваясь значениями  $\epsilon$  в пределах от 0 до  $\epsilon_p$ , можно рассчитать значения  $\sigma$  и построить расчетную кривую  $\sigma - \epsilon$ .

На рис. 2 представлена зависимость  $\sigma - \epsilon$  образца № 3 сульфатной небеленой целлюлозы. Практическое совпадение экспериментальных и

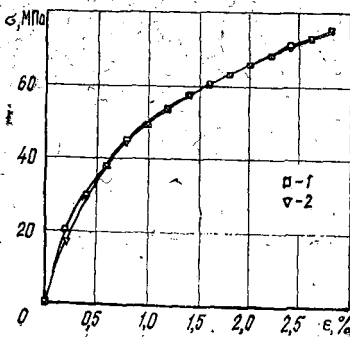


Рис. 2. Зависимость  $\sigma - \epsilon$  образца целлюлозы № 3: 1 — экспериментальные точки; 2 — точки, вычисленные по уравнению (3)

рассчитанных по уравнению (3) данных подтверждает правильность подхода к применению уравнения типичного тела для описания процесса деформирования целлюлозно-бумажных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бабурин С. В., Киприанов А. И. Реологические основы процесса целлюлозно-бумажного производства.— М.: Лесн. пром-сть, 1983.— 142 с. [2]. Гермелис А. А., Латишенко В. А. Определение реологических характеристик полимерных материалов из статических кривых « $\sigma - \epsilon$ », кривых ползучести и релаксации // Механика полимеров.— 1967.— № 6.— С. 977—988. [3]. Комаров В. И. Анализ зависимости напряжение — деформация при испытании на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн.— 1993.— № 2—3.— С. 124...131.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Малмейстер А. К. Статистическая интерпретация реологических уравнений // Механика полимеров.— 1966.— № 2.— С. 151—158. [5]. Малмейстер А. К., Тамуж В. П., Тегерс Г. А. Сопrotивление жестких полимерных материалов.— Рига: Зинатне, 1972.— 500 с. [6]. Ржаницын А. Р. Теория ползучести.— М.: Стройиздат, 1968.— 418 с. [7]. Романов В. А. Методики оценки упругорелаксационных и деформационных свойств бумаги.— Л.: ЛТИ ЦБП, 1988.— 70 с. [8]. Тагер А. А. Физико-химия полимеров.— М.: Химия, 1978.— 544 с. [9]. Фляте Д. М. Свойства бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 680 с. [10]. Хабаров Ю. Г., Комаров В. И. Оценка последовательности разрушения целлюлозных волокнистых материалов // Бум. пром-сть.— 1986.— С. 16—17.

Поступила 20 декабря 1993 г.

УДК 676.017

## РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. КОМАРОВ, Я. В. КАЗАКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Коэффициент Пуассона  $\nu$  является одной из основных характеристик материала, которая необходима во многих расчетах. При испытаниях целлюлозно-бумажных материалов определение этого коэффициента затруднено. В работе [2] предложена методика, позволяющая рассчитывать коэффициент Пуассона для полимерных материалов.

Нами проведена оценка возможности использования вышеуказанной методики при испытаниях на растяжение целлюлозно-бумажных материалов. В первую очередь необходимо было установить правильность подхода к решению данной задачи [3].

Известно, что под воздействием одноосного растяжения при разрушении полимерного материала одновременно происходят крейзование и образование полосы сдвига [1]. При деформировании целлюлозно-бумажных материалов в определенной степени наблюдается и пластическая деформация, которая, как можно предположить, также определяется этими механизмами разрушения структуры. Поэтому качественная оценка их вкладов в пластическую составляющую деформации, а значит, и в прочность вообще, представляется важной для интерпретации процессов деформации и разрушения.

Исходным уравнением предлагаемой методики является соотношение [4]

$$\frac{\Delta V}{V} / \left( \frac{\Delta L}{L} \right) = 1 - 2\nu, \quad (1)$$

где  $\Delta V$  — объемная деформация;

$V$  — исходный объем деформируемой части образца;