

тели бумаги и срок службы гарнитуры соответственно увеличились на 15 ... 20 и 30 %.

Нанесение канавок на поверхность ножей осуществлено на копировально-прошивочном станке 4Г721М. Электрофизическая прошивка прорезей увеличивает стоимость гарнитуры на 8 ... 10 %, что окупается в процессе эксплуатации. Для профилирования ножей гарнитуры можно использовать и другие методы электрофизической и электрохимической обработок высокопрочных сплавов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. А.с. 408973 СССР, МКИ<sup>3</sup> Д 21 Д 1/ 30. Размольная металлическая гарнитура / А.В. Бывшев, А.К. Веретнов (СССР). - № 1791025 / 29-33; Заявлено 1.06.72; Опубл. 30.11.73, Бюл. № 48 // Открытия. Изобретения. - 1973. - № 48. - С. 72. [2]. А.с. 1680847 СССР, МКИ<sup>3</sup> Д21Д 1/ 30. Размольная металлическая гарнитура / А.В. Бывшев, А.К. Веретнов, Е.Е. Савицкий (СССР). - № 4668626 / 12; Заявлено 28.03.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 36// Открытия. Изобретения. - 1991. - № 36. - С. 72. [3]. Бывшев А.В., Савицкий Е.Е. Механическое диспергирование волокнистых материалов. - Красноярск: Изд-во госуниверситета, 1992. - 210 с. [4]. Веретнов А.К., Бывшев А.В. Термоструктурные изменения целлюлозных волокон и их влияние на реологические свойства суспензий целлюлозы // Лесн. журн. - 1973. - № 5. - С. 109-113. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Легоцкий С.С., Гончаров В.Н. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. - М.: Лесн. пром-сть, 1990. - 220 с.

Поступила 22 января 1996 г.

УДК 676.054.012

*А.Я. АГЕЕВ*

Уральская государственная лесотехническая академия

#### **ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ НАПРЯЖЕНИЙ В ВОЛОКНИСТЫХ СУСПЕНЗИЯХ\***

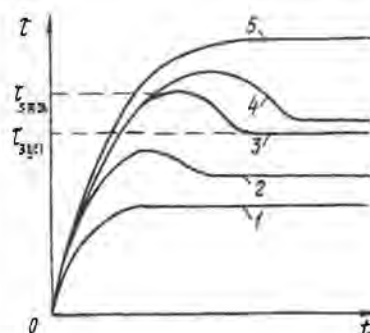
Установлены особенности снижения касательных напряжений в волокнистой суспензии в зависимости от величины градиента сдвига; сделана попытка объяснить это снижение конкуренцией между скоростью тиксотропного восстановления структуры, являющейся внутренним параметром конкретной волокнистой системы, и внешним воздействием – градиентом сдвига.

\*Печатается в порядке обсуждения.

The features of tangential stresses decrease in the suspended fibrous matter depending on the shear gradient value have been determined. An effort to explain this decrease by the competition between the rate of thixotropic reduction of the structure which is the internal parameter of the concrete fibrous system, and the external action being shear gradient, has been made.

Анализ результатов экспериментальных исследований [1, 2] показал, что реологические характеристики одной и той же бумажной массы, полученные на одном и том же вискозиметре, могут существенно различаться, если масштаб времени наблюдения различен при одних и тех же градиентах сдвига. Исследователи объясняют это релаксационными явлениями в бумажной массе (рис. 1.) [2].

Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига  $\tau$  от продолжительности деформации  $t$  при различных значениях угловой скорости: 1 -  $\omega_1$ ; 2 -  $\omega_2$ ; 3 -  $\omega_3$ ; 4 -  $\omega_4$ ; 5 -  $\omega_5$  ( $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ )



При малых скоростях сдвига зависимость напряжения сдвига от продолжительности наблюдения  $\tau = f(t)$  монотонно достигает установившегося значения. По мере увеличения скорости на кривой  $\tau = f(t)$  появляется максимум с постепенным снижением напряжения до установившегося значения. При высоких скоростях эта зависимость вновь приобретает монотонный вид. Наблюдаемое изменение формы функции  $\tau = f(t)$  было объяснено явлениями релаксации напряжений в волокнистой суспензии.

Подобный экспериментальный факт наблюдается и в наших исследованиях.

На рис. 2 представлены осредненные кривые, которые показывают снижение напряжений сдвига в волокнистых суспензиях, представляющих сложную композицию из целлюлозных и минеральных волокон, включающих наполнитель-связующее и имеющих различную концентрацию (2,50 и 0,75 %) во времени при постоянном градиенте сдвига (скорости деформации суспензии).

Визуальное сравнение экспериментальных результатов, приведенных на рис. 2, показывает, что закономерность их изменения не отличается от данных работ [2]. Однако для объяснения снижения напряжений сдвига во времени нами предложена трактовка, отличная от представленной в [2].

Рассмотрим принципиальную схему зависимости напряжения сдвига от времени воздействия на структуру (см. рис. 1). Данные

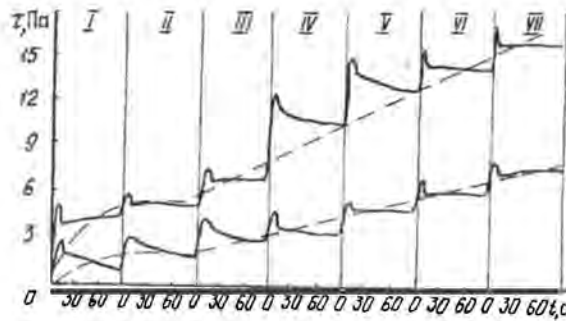


Рис. 2. Зависимость  $\tau = f(t)$  для целлюлозно-минеральной композиции при постоянных скоростях вращения  $\dot{\gamma}$  внутреннего цилиндра (I –  $\dot{\gamma} = 8 \text{ с}^{-1}$ ; II – 10; III – 20; IV – 30; V – 60; VI – 95; VII – 195  $\text{с}^{-1}$ ) и различных значениях концентрации массы  $C$  (верхняя кривая при  $C = 2,50\%$ ; нижняя – 0,75%)

зависимости получены путем наблюдения за механизмом течения волокнистой суспензии на ротационном и трубном вискозиметрах. В соответствии с представлениями О.А. Терентьева при низких значениях угловой скорости реологическая кривая  $I$  соответствует стадии структурированного потока. Разрушенные в результате сдвига межволоконные связи успевают за время наблюдения полностью тиксотропно восстановиться. При этом происходит монотонное нарастание напряжений сдвига и переход их к установившимся значениям. Кривая течения имеет монотонный вид и описывает движение волокнистой системы с неразрушенной структурой.

При повышении скорости деформации рассматриваемой системы монотонная кривая  $I$  переходит в кривые 2–4, имеющие максимум. Снижение напряжений  $\tau_{\text{max}}$  до  $\tau_{\text{уст}}$  объясняется тем, что скорость разрушения межволоконных контактов превышает скорость тиксотропного восстановления. В начальный момент наблюдения (при  $\tau_{\text{max}}$ ) число межволоконных контактов велико. По мере наблюдения возрастает число разрушенных контактов, так как скорость их восстановления значительно меньше и структура не успевает тиксотропно восстановиться. Такие скорости сдвига, по представлениям [2], соответствуют процессу выравнивания из стержня отдельных волокон и диспергирования их в пристенном слое чистой воды. Дальнейшее увеличение градиента сдвига приводит к полному разрушению структуры. Скорость тиксотропного восстановления существенно ниже скорости разрушения контактов и не успевает проявиться. Разрушение стержня происходит мгновенно, волокна диспергированы в потоке и разобщены. Вид кривой определяется только силами вязкостного трения. Таким образом, снижение напряжений сдвига во времени при постоянной скорости деформации волокнистой суспензии можно объяснить тиксотропными процессами, протекающими в ней при ее движении под действием внешних сил.

В соответствии с общеизвестными представлениями релаксацию внутренних напряжений в образце можно наблюдать, если начальную величину деформации зафиксировать жесткими связями. В этом случае внутренние напряжения самопроизвольно снимаются за счет перемещения ионов, атомов, атомных групп, отдельных звеньев цепей молекул. В исследованиях на ротационном вискозиметре процесс осуществляют при постоянной скорости деформации. При этом снижение напряжений во времени происходит за счет непрерывной перестройки положения отдельных структурных единиц суспензии (волокон, частиц наполнителя, связующего) в направлении вектора скорости. Структура суспензии подстраивается к приложенной внешней нагрузке (крутящему моменту цилиндра), стремясь к образованию новой структуры, элементы которой расположены так, что при определенных условиях, в частности небольшой скорости вращения цилиндра  $\dot{\gamma}$  и возможности проскальзывания, можно наблюдать ее образование: сдвиг между структурой и вращающимся цилиндром осуществляется по водной прослойке, т. е. волокнистая суспензия проявляет реонексию.

Другим доказательством, что бумажная масса при постоянной скорости сдвига проявляет не релаксацию, а тиксотропию, является изменение скорости снижения напряжений во времени в зависимости от температуры.

При релаксации скорость спада напряжений увеличивается с повышением температуры, так как возрастает тепловая энергия молекул воды (или волокон) и происходит более быстрая перегруппировка их. При снижении температуры скорость спада напряжений уменьшается. Скорость же тиксотропного восстановления структуры с увеличением температуры снижается, поскольку большая часть структурных элементов системы обладает более низкой энергией активации и, следовательно, способна к преодолению энергетического барьера притяжения. Для подтверждения этого были проведены исследования с волокнистыми суспензиями при различных температурах. Волокнистую суспензию доводили до высокой степени разрушения за счет высоких градиентов сдвига между коаксиальными цилиндрами, останавливали вращающийся цилиндр и измеряли величину напряжения при повторном его включении через определенные промежутки времени. При этом предполагалось, что при тиксотропном восстановлении структуры в зависимости от скорости ее восстановления напряжение должно возрастать до первоначальных значений в неразрушенной структуре. Время возрастания напряжения до первоначального в неразрушенной структуре сравнивалось с временем снижения напряжения до установившегося при постоянной скорости вращения цилиндра. Анализ рис. 2 и рис. 3 показывает, что снижение напряжения во времени имеет примерно такую же продолжительность, как и увеличение напряжения при тиксотропном восстановлении структуры.

Скорость тиксотропного восстановления структуры определяет форму функции  $\tau = f(t)$ . При малой скорости тиксотропного восстановления структура не успевает тиксотропно восстановиться уже при малых  $\dot{\gamma}$  (см. рис. 2, нижняя кривая). Это имеет место при низких кон-

центрациях и высоких степенях помола, когда расстояния между волокнами возрастают, а их длина невелика. Снижение скорости тиксотропного восстановления структуры приводит к смещению аномалии вязкости реологической кривой к началу координат.

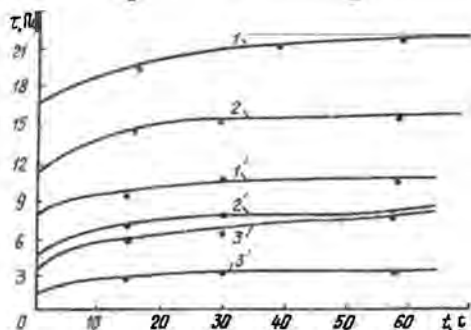


Рис.3. Тиксотропное восстановление структуры целлюлозно-минеральной композиции при  $C = 2,50\%$  (1, 2, 3),  $C = 0,75\%$  (1', 2', 3') и  $\dot{\gamma} = 195 \text{ с}^{-1}$  (1, 1'),  $\dot{\gamma} = 95 \text{ с}^{-1}$  (2, 2'),  $\dot{\gamma} = 8 \text{ с}^{-1}$  (3, 3')

При большой скорости тиксотропного восстановления, имеющей место при высоких концентрациях длиноволокнистой массы, аномалия вязкости на реологической характеристике растягивается в направлении от начала координат. Полное разрушение структуры происходит при более высоких градиентах сдвига (рис. 4).

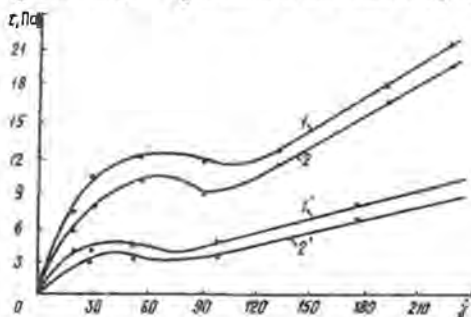


Рис. 4. Реологические характеристики целлюлозно-минеральной композиции при  $C = 2,50\%$  (1, 2),  $C = 0,75\%$  (1', 2') и температуре 290 (1, 1') и 315 К (2, 2')

Отношение  $\tau_{\text{max}}/\tau_{\text{уст}}$  характеризует способность структуры к снижению создаваемых в ней при деформации внутренних напряжений. Оно позволяет оценивать склонность волокнистого слоя к деформированию (уплотнению) в процессе обезвоживания и формирования бумажного полотна. Большая величина этого отношения показывает большую склонность к упругому сжатию волокнистого слоя в процессе обезвоживания. Для меньшего отношения характерна большая склонность к осаждению волокон с небольшой степенью упругого сжатия. Учет этой зависимости позволит уточнить методики расчета обезвоживания и формирования бумажного полотна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Агеев А.Я. Теоретические основы и практика формирования и обезвоживания бумажного листа из асбестовых волокон: Дис...докт. хим наук. - Свердловск, 1986.-532 с. [2]. Бабин А.И. Экспериментальные и теоретические исследования релаксационных свойств бумажных масс для оценки эффективности работы гидравлического оборудования целлюлозно-бумажного производства: Дис... канд. техн. наук. - Л., 1979.-116 с.

Поступила 22 мая 1995 г.