

[9]. Лигнины (структура, свойства, реакции) / Под ред. В.В. Сарканена, К.Х. Людвиг; Пер. с англ. - М.: Лесн. пром-сть, 1975. - 698 с. [9]. Практические работы по химии древесины и целлюлозы/ А.В. Оболенская, В.П. Щеголев, Г.Л. Аким и др. - М.: Лесн. пром-сть, 1965. - 411 с.

Поступила 24 января 1996 г.

УДК 676.16.024.6

*А. В. БЫВШЕВ, А. К. ВЕРЕТНОВ*

**Красноярская государственная технологическая академия**

Бывшев Анатолий Викторович родился в 1933 г., окончил в 1958 г. Красноярский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии ЦБП Красноярской государственной технологической академии, Заслуженный изобретатель РФ. Имеет более 120 печатных трудов в области диспергирования волокнистых материалов растительного и минерального происхождения, создания новых размалывающих аппаратов и способов получения полуфабрикатов.



Веретнов Анатолий Константинович родился в 1942 г., окончил в 1965 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры ЦБП. Имеет более 30 печатных трудов в области диспергирования волокнистых материалов.



### **РАЗМОЛ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОФИЛИРОВАННОЙ ГАРНИТУРЕ**

Для улучшения размалывающей способности ножевой гарнитуры предложено использовать ножны специального профиля с узкими прорезями, препятствующими скольжению волокнистой массы.

It has been suggested that the specially-profiled narrow-slotted knives preventing pulp slipping should be used to improve the beating capacity of a knife tackle.

Для повышения прочностных свойств бумаги необходимо в процессе размола целлюлозных материалов проводить глубокую фибрилляцию волокон без значительного сокращения их длины. Существующие ножевые машины плохо приспособлены для такой обработки, поскольку при работе в энергетически оптимальных режимах они сильно укорачивают волокно. Происходит это из-за недостаточного использования гидродинамических воздействий, способных фибриллировать стенки волокон без их резания.

Реологические исследования [4] показывают, что водно-волоконистые суспензии имеют флокулярное строение и при концентрациях выше 0,2 ... 0,4 % их можно отнести к вязко-пластичным системам, текучесть которых определяется предельным напряжением сдвига и величиной пластической вязкости из уравнения Бингама:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} + \theta,$$

где  $\tau$  – касательное напряжение сдвига;

$\eta$  – пластическая вязкость;

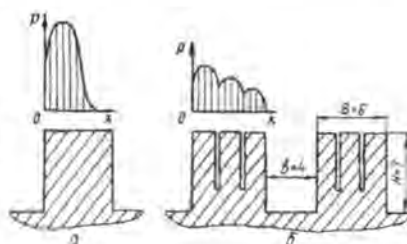
$\dot{\gamma}$  – градиент скорости;

$\theta$  – предельное напряжение сдвига.

При защемлении флокена между скрещивающимися ножами в узкой зоне (ширина 2 ... 3 мм) [5], примыкающей к предельной кромке, возникают нормальные и касательные напряжения. Нормальные напряжения воздействуют локально на участки соприкосновения волокон в сжатом флокулярном каркасе, что приводит к их дроблению и разрыву. Касательные напряжения сил вязкостного трения возникают при слоистой вязко-пластичной деформации сдвига волокнистой массы, что вызывает внешнюю и внутреннюю фибрилляцию, увеличивающую прочность бумажного листа. На обычной ножевой гарнитуре преобладают нормальные напряжения, укорачивающие волокно, а зона размола, в которой проявляются гидродинамические воздействия касательных напряжений, занимает только часть ножа, где волокна удерживаются передней кромкой, в то время как остальная поверхность ножа остается практически незагруженной, вследствие пристенного скольжения массы (рис. 1, а).

Средством усиления гидродинамических воздействий является специальный профиль рабочей поверхности ножа, обеспечивающий ликвидацию пристенного скольжения. Нож приобретает способность удерживать волокнистую массу при нанесении на его поверхность узких продольных прорезей шириной 0,3 ... 0,8 мм [1-3]. Введение в зону размола прорезей, препятствующих пристенному скольжению, стабилизирует слоистое течение вязко-пластичной волокнистой массы по всему объему межножевого пространства, что изменяет соотношение между режущими и фибриллирующими воздействиями в

Рис. 1. Распределение нагрузки  $P$  на ножах плоской ( $a$ ) и профилированной ( $b$ ) гарнитуры ( $B$  и  $H$  – ширина и высота ножа;  $b$  – ширина ячейки)



пользу последних. Расширение зоны размла при использовании прорезей позволяет равномернее распределить нагрузку по ширине ножа (рис. 1, б) и вести размол в более мягких условиях при меньшем сжатии флокена и сниженном расходе энергии. Касательные напряжения, которые возникают при слоистом течении, принимающем форму пластической деформации, расщепляют волокна в продольном направлении, делая их гибкими и пластичными, что обеспечивает при отливе получение плотного и прочного бумажного листа.

Исследование размалывающей способности профилированной гарнитуры проводили на стендовой установке (рис. 2) при периодическом размле сульфатной беленой хвойной (ХБ-3) и лиственной (ЛБ-0) целлюлозы в лабораторной мельнице с диаметром дисков 200 мм. Масса в мельницу 1 поступала самотеком из бака-питателя 4 и после ножевого воздействия возвращалась в его верхнюю часть. Пропускную способность мельницы поддерживали постоянной с помощью крана 2 и контролировали расходомером 3. Рабочий зазор между ножами устанавливали при перемещении диска статора винтовым присадочным устройством 5 и фиксировали с точностью  $\pm 0,05$  мм. Каждый вид целлюлозы размалывали сначала на гарнитуру с обычными плоскими ножами, а затем на гарнитуру с профилированной рабочей поверхностью. Принятый профиль ножей (см. рис. 1, б) соответствовал размерным параметрам профилированной гарнитуры ПГ-1, спроектированной для промышленных мельниц МД-31 и предназначенной для массового размла лиственной и хвойной целлюлозы.

Размеры ячеек и ножей гарнитуры определяются размерами флокенов и длиной волокна. Так, размеры ячейки регламентируются условиями беспрепятственного прохождения массы от центра диска к его периферии. Свободное прохождение массы в ячейке будет иметь место при следующем условии:

$$l_{\phi} \leq b,$$

где  $l_{\phi}$  – размер флокена;

$b$  – ширина ячейки профилированной гарнитуры.

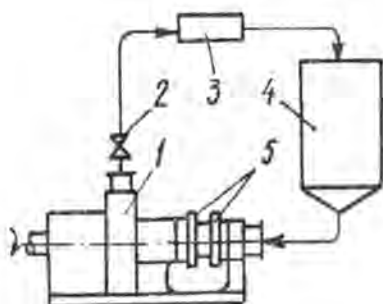


Рис. 2. Схема установки: 1 – дисковая мельница; 2 – кран; 3 – расходомер; 4 – бак; 5 – винтовое присадочное устройство

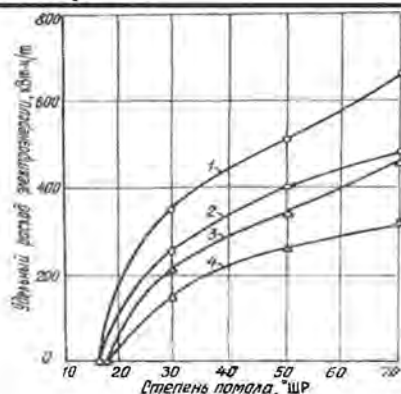


Рис. 3. Удельный расход электроэнергии при размоле сульфатной целлюлозы на профилированной (2, 4) и обычной (1, 3) гарнитурах: 1, 2 – хвойная ХБ-3; 3, 4 – лиственная ЛБ-0

Ширина зоны размола  $b_p$  [5] соизмерима со средней длиной целлюлозного волокна  $l_b$ :  $b_p \approx l_b \approx 2 \dots 3$  мм. За пределами зоны размола волокнистая масса скользит вдоль поверхности ножа, не испытывая сдвиговых воздействий, а силы трения между стенкой металлического ножа и массой недостаточны для расщепления волокна. Поэтому ширину ножей  $B$  обычной гарнитуры дисковых мельниц принимают не более  $3 \dots 4$  мм [5], т. е.  $B \leq (1,0 \dots 1,3) b_p$ .

Для профилированного ножа, разделенного двумя прорезями шириной 0,5 мм на три зоны, размер участка увеличивается до  $B \approx 3 b_p$ . Много энергии расходуется ножевой гарнитурой на перемещение флокулярных элементов волокнистой массы в ячейках вдоль стенок ножей и при переходах флоконов из ячеек ротора в статор и обратно. Это движение имеет сходство с турбулентным в однородных жидкостях и так же, как оно, рассеивает много энергии. Турбулизация в ячейках усиливается при увеличении высоты ножа  $H$ . Для предотвращения больших потерь на турбулизацию  $H$  не должна превышать двойной размер флокена:  $H < 2 l_\phi$ . Исходя из реологических свойств волокнистых суспензий и размеров флоконов ( для исследуемой целлюлозы  $l_\phi = 3,0 \dots 4,5$  мм ) принимаем  $b = 4$  мм,  $H = 7$  мм,  $B = 6$  мм.

Для возможности сравнения размалывающей способности плоской ( обычной ) и профилированной гарнитур выдерживали постоянными концентрацию и температуру массы, скорость вращения ротора, объемную производительность и график размола в виде функциональной зависимости степени помола (СП) от времени:  $СП = f(t)$ . В качестве переменных факторов были следующие: потребляемая мощность, зазор между ножами и прочностные показатели отливок. Хвойную целлюлозу размалывали при концентрации  $C = 2$  %, лиственную – при  $C = 3$  %. При степени помола 30, 50 и 70 °ШР отбирали пробы массы для изготовления отливок. Размалывающую способность плоской и профилированной гарнитуры определяли по энергоемкости процесса и прочности отливок.

При одном и том же времени обработки волокон процесс размола на профилированной гарнитуре проходит при большей величине зазора между дисками, а следовательно, и меньшей потребляемой мощности по сравнению с обычной гарнитурой. Расщепляющее воздействие на профилированных ножах достигается при меньшей степени сжатия волокна и более равномерном распределении нагрузки по ширине ножа. Результаты, представленные на рис. 3 и в таблице, показывают, что профилированные ножи снижают удельный расход электроэнергии на размол целлюлозы и увеличивают прочность отливок. Сокращение расхода электроэнергии на размол хвойной целлюлозы на профилированной гарнитуре при СП = 30; 50; 70 °ШР соответственно составило 26; 21; 30 %, на размол лиственной – 26; 20; 33 %.

**Прочностные показатели отливок целлюлозы при размоле на обычной (числитель) и профилированной (знаменатель) гарнитурах.**

Целлюлоза	Сопротивление				Плотность листа, г/см <sup>3</sup>
	разрыву, км	излому, ч.д.п.	продавливанию, МПа	раздиранию, Н	
ХБ-3					
30 °ШР	6,75	650	0,307	1,01	0,550
	7,25	745	0,342	1,21	0,541
50 °ШР	9,21	1195	0,432	0,75	0,575
	9,95	1590	0,475	0,932	0,593
70 °ШР	9,31	970	0,446	0,65	0,580
	10,93	1740	0,510	0,79	0,610
ЛБ-0:					
30 °ШР	3,75	12	0,190	0,49	0,560
	4,35	31	0,212	0,70	0,575
50 °ШР	5,95	67	0,250	0,31	0,585
	6,84	175	0,285	0,52	0,614
70 °ШР	6,08	265	0,291	0,20	0,585
	8,61	432	0,332	0,36	0,625

Сопротивление разрыву, излому, продавливанию, раздиранию и плотность листа отливок целлюлозы, размолотой на профилированной гарнитуре, соответственно увеличиваются в зависимости от степени помола на 10 ... 26; 40 ... 80; 10 ... 15; 15 ... 20 и 10 ... 15 %, что свидетельствует о значительно меньшем укорачивании волокон и большей их пластификации по сравнению с обычной гарнитурой.

Технологическая и энергетическая эффективность профилированной гарнитуры объясняется усилением фибриллирующих воздействий касательных напряжений пластического сдвига при расширении зоны размола на всю ножевую поверхность. Это дает возможность снизить степень сжатия массы между ножами, сократить энергозатраты, уменьшить рубящий эффект и увеличить срок службы гарнитуры.

Профилированная гарнитура в разное время успешно прошла производственные испытания на Красноярском ЦБК, Братском ЛПК. По сравнению с серийной гарнитурой R-1000.001 на профилированной удельный расход энергии снизился на 20 ... 25 %, прочностные показа-