

УДК 676.038.2

ПРЕССОВАНИЕ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА ИЗ НЕРАЗМОЛОТЫХ ВОЛОКОН

© В.М. Дробосюк, Л.В. Литвинова, Г.К. Малиновская*

Санкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095
(Россия), e-mail: m-gk@mail.ru

Для обоснования технологического режима изготовления бумаги из неразмолотых волокон рассмотрен механизм увеличения площади межволоконных контактов за счет интенсивного прессования слоя набухших волокон. Проведен теоретический анализ изменения структуры поверхностных слоев волокон при прессовании. Показано, что увеличение площади межволоконного взаимодействия обеспечивается изменением укладки микроэлементов стенки в межволоконном контакте.

Ключевые слова: бумагообразующая способность волокон, площадь контакта, прессование.

Введение

Известно, что для достижения необходимой механической прочности изготавливаемой бумаги волокнистая масса подвергается механическому размолу. При размоле от волокон частично отделяются фибриллы, которые в дальнейшем процессе изготовления бумаги участвуют в образовании межволоконных связей, обеспечивая ее необходимую прочность. При вторичной переработке размолотых волокон снижается прочность и уменьшается средняя длина волокон, что приводит к необратимым потерям волокнистого сырья со сточной производственной водой. Для существенного снижения потерь волокнистого сырья, сохранения исходной прочности и длины индивидуальных волокон рассмотрена возможность изготовления бумаги без внешней фибрилляции волокон.

Экспериментальная часть

Прочность листа бумаги при случайно ориентированной в плоскости листа укладке волокон определяется следующей зависимостью:

$$BL = \frac{0,264}{4 \times \pi \times g_i} \times \frac{S_{cont}}{\delta_f \times (2 \times L_{gluc})^2} \times \frac{\lambda_f}{\omega_f} \times F_H \quad (1)$$

где BL – разрывная длина бумаги (м); g_i – ускорение свободного падения (m/c^2); δ_f – грубость волокон (кг/м); S_{cont} – площадь межволоконного контакта (m^2); λ_f – средняя длина волокон (м); ω_f – средняя ширина волокон (м); L_{gluc} – линейный размер глюкозида (м); F_H – сила межмолекулярной водородной связи (Н).

Дробосюк Виктор Михайлович – старший научный сотрудник, кандидат химических наук
Литвинова Лидия Владимировна – старший научный сотрудник, кандидат химических наук
Малиновская Галина Кирилловна – старший научный сотрудник, кандидат химических наук,
e-mail: m-gk@mail.ru

Как следует из уравнения (1), разрывная прочность бумаги пропорциональна площади межволоконного контакта, определяющей количество глюкозидов на поверхности волокна, способных образовывать межмолекулярные водородные связи между поверхностными глюкозидами контакти-

* Автор, с которым следует вести переписку.

рующих волокон. Микроскопический анализ показывает, что поперечное сечение набухших волокон можно аппроксимировать эллипсом, величина наибольшего радиуса кривизны которого составляет 45–50 мкм. Площадь возможного межмолекулярного взаимодействия гидроксильных групп, расположенных на криволинейной поверхности, с учетом максимальной длины водородной связи 3 Å составит 0,4 μ^2 . При данной величине площади межмолекулярного взаимодействия и энергии межмолекулярных водородных связей 8 кДж/моль разрывная длина высушенной бумаги составит, согласно уравнению (1), 100–200 м. Традиционно увеличение площади взаимодействия достигается за счет внешней фибрилляции волокон.

Увеличение площади межволоконных контактов без внешней фибрилляции волокон возможно при оптимальном режиме прессования набухших волокон. На лабораторном вальцовом прессе между прессовых суконов проводили обезвоживание образцов бумажного полотна из сульфатной хвойной целлюлозы с исходной сухостью 25–30% до сухости 60–65%. Разрывная прочность образцов бумаги составляла 5000 м, плотность – 600 кг/м³. Исходный волокнистый материал не подвергался предварительному размолу, степень помола составляла 12 °ШР. Анализ факторов, обеспечивающих сравнительно высокую разрывную прочность образцов бумаги из неразмолотых волокон, показал, что определяющим условием является величина линейного давления прессования, равная 80–100 кг/см.

При микроскопическом анализе волокон, прошедших стадию прессования, элементы разрушения стенок волокон не обнаружены, количество обрывов волокна не увеличилось по сравнению с исходным волокнистым материалом. Отсутствие элементов разрушения стенок волокон при интенсивном прессовании подтверждается следующими оценками:

– при линейном давлении 100 кг/см пресса с диаметром прессовых валов 7,5 см величина давления сжатия, действующая на один межволоконный контакт, составляет 40 МПа;

– модуль деформации аморфной области целлюлозных волокон приближается к величине 20000 МПа;

– отношение давления сжатия к модулю деформации равно 0,002. Необратимая деформация стенок волокон была бы возможна при соотношении величин, равных 0,1.

Таким образом, изготовление прочных образцов бумаги без внешней фибрилляции волокон возможно при увеличении площади межволоконного взаимодействия за счет интенсивного прессования, исключая разрушение структуры стенки волокон.

Известно, что площадь межволоконного взаимодействия ограничивается радиусом кривизны поверхности контактирующих волокон [1]. Экспериментально измеряемые значения давления, действующие в зоне межволоконного контакта, недостаточны для необратимого изменения формы поперечного сечения контактирующих волокон. Увеличение площади межволоконного взаимодействия достигается только при прессовании слоя набухших волокон и обеспечивается не выпрямлением стенки волокна, а изменением укладки микроэлементов стенки в зоне межволоконного контакта.

При контакте с водой длина дезориентированных участков макромолекулы целлюлозы существенно меняется из-за изменения баланса энергии взаимодействия в системе: «макромолекула целлюлозы – макромолекула целлюлозы»; «макромолекула целлюлозы – молекулы воды» [2]. На основании положений работы [3] проведен теоретический анализ сорбции воды полимерной фазой макромолекул целлюлозы. Получены аппроксимационные зависимости для оценки энергетических параметров взаимодействия слоев набухших полимеров при воздействии сжимающего давления. Минимальная величина объемной доли глюкозидов в аморфной части целлюлозы при ее предельном насыщении молекулами сорбированной воды составляет 0,5. Величина весовой доли макромолекул целлюлозы, вовлеченных в кристаллическую фазу, уменьшается с увеличением общего содержания воды в полимерной фазе с 0,7 до 0,5. Доля общего объема водонасыщенной полимерной фазы, занятая молекулами воды, равна 0,35. Длина дезориентированных участков макромолекул целлюлозы возрастает в 5 раз с увеличением влагосодержания полимерной фазы от воздушно-сухого состояния до состояния предельного насыщения.

В процессе прессования увеличение плотности укладки элементарных фибрилл сопровождается обязательным снижением длины дезориентированных участков макромолекул целлюлозы в аморфной части и, как следствие, возрастанием абсолютной величины химического потенциала молекул воды в полимерной фазе. Величина давления в зоне межволоконного контакта должна превышать величину осмотического давления молекул воды, обусловленного изменением их химического потенциала в сжимаемой полимерной фазе. При этом внешнее давление обеспечивает плотную укладку элементарных фибрилл, кото-

рая не разрушается при выходе волокнистого слоя из зоны сжатия прессовыми валами. Изменение взаимного расположения элементарных фибрилл сопровождается перераспределением внутри- и межмолекулярных водородных связей дезориентированных участков макромолекул аморфной фазы.

Величина давления сжатия слоя волокон (P_{sh}) в зоне межволоконного контакта представляет собой сумму двух составляющих: осмотического давления ($P_{osm.}$) и давления деформации (P_{deff}) стенки волокна:

$$P_{sh} = \frac{0,264 \times \pi}{4} \times \frac{S_{cont}}{\omega_f^2} \times (P_{osm.} + P_{deff.}) \quad (2)$$

Для изготовления бумаги с разрывной длиной 5000 м максимальное давление сжатия волокнистого слоя составляет 11,2 МПа.

Прочность изготавливаемых образцов бумаги достигается при прессовании волокнистого слоя, помещенного между двумя прессовыми сукнами. Результаты экспериментальных измерений толщин слоя волокон и прессового сукна в зависимости от давления сжатия представлены в виде уравнений, позволяющих вычислить значения линейного давления прессования (P_{line}) системы: «прессовое сукно – бумажное полотно – прессовое сукно».

Толщина сукна (h_{felt}) и толщина слоя набухших волокон (h_{sheet}) в зависимости от давления сжатия определяются как:

$$h_{felt} = \frac{q_{felt}}{360 \times P_i^{0,35} + 380}; \quad (3)$$

$$h_{sheet} = \frac{q_{sheet}}{515 \times P_i^{0,28} + 10}, \text{ (м)}, \quad (4)$$

где q_{felt} – вес квадратного метра прессового сукна (кг/м²); P_i – давление сжатия в зоне прессования системы (МПа); q_{sheet} – вес квадратного метра слоя волокон (кг/м²).

Величина линейного давления прессования в вальцовом прессе вычисляется как:

$$P_{line} = \frac{a_h}{g_i} \times 10^4 \times \int_{-1}^1 P_i d\left(\frac{x_i}{a_h}\right) \text{ (кг/см)}, \quad (5)$$

где a_h – половина длины зоны сжатия системы (м),

$$a_h = R \times \sqrt{1 - \left(1 - \frac{h_o - h_{min}}{2 \times R}\right)^2};$$

h_o, h_{min} – толщина системы без внешней нагрузки и при максимальном давлении сжатия (м); R – радиус прессовых валов вальцового пресса (м); x_i – координата вдоль зоны сжатия.

Расчетные значения линейного давления прессования в зависимости от диаметра валов вальцового пресса представлены в таблице. Приняты наиболее типичные значения удельного веса прессового сукна (1,1 кг/м²) и бумажного полотна (0,1 кг/м²).

С увеличением диаметра прессовых валов существенно возрастает необходимое линейное давление прессования. К прессовому сукну предъявляются требования сочетания высокой эластичности и достаточной износостойкости, что может быть удовлетворено за счет оптимального химического состава волокон сукна.

Линейное давление прессования в зависимости от диаметра валов пресса

| Диаметр валов вальцового пресса, см | Линейное давление, кг/см |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 7,5 | 85 |
| 10 | 100 |
| 15 | 125 |
| 20 | 142 |

Выводы

Выполнен теоретический анализ изменения структуры поверхностных слоев набухших волокон при прессовании волокнистого слоя. Показано, что увеличение площади межволоконного взаимодействия обеспечивается изменением укладки микроэлементов стенки волокон в зоне межволоконного контакта.

Получены расчетные формулы для вычисления параметров процесса прессования, позволяющие прогнозировать свойства конечного продукта и оптимизировать процесс.

Список литературы

1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М., 1989. 506 с.
2. Нестеров А.Е., Липатов Ю.С. Термодинамика растворов и смесей полимеров. Киев, 1984. 298 с.
3. Смирнова Н.А. Методы статистической термодинамики в физической химии. М., 1973. 480 с.

Поступило в редакцию 24 декабря 2013 г.

После переработки 14 апреля 2014 г.

Drobosjuk V.M., Litvinova L.V., Malinovskaja G.K. PAPER WEB PRESSING WITH UNGROUND FIBERS
State Technological University of Plant Polymers, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095 (Russia),
e-mail: m-gk@mail.ru*

For justifying process condition of paper making with unground fibers the mechanism of increasing interfiber contact area owing to intensive pressing of a layer of swollen fibers was considered. The changes in the structure of surface fibrous layers were analyzed theoretically. It was shown that the increase in the area of interfiber interaction was due to changes in laying of wall microelements in interfiber contact.

Keywords: paper forming ability, pressing, contact area.

References

1. Dzhonson K. *Mehanika kontaktного vzaimodejstviya*. [Contact mechanics]. Moscow, 1989, 506 p. (in Russ.).
2. Nesterov A.E., Lipatov Ju.S. *Termodinamika rastvorov i smesey polimerov*. [Thermodynamics of polymer solutions and mixtures]. Kiev, 1984, 298 p. (in Russ.).
3. Smirnova N.A. *Metody statisticheskoy termodinamiki v fizicheskoy himii*. [Methods of statistical thermodynamics in physical chemistry]. Moscow, 1973, 480 p. (in Russ.).

Received December 24, 2013

Revised April 14, 2014

* Corresponding author.