

ISSN 0023-1118

ХИМИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

Полимеры • Волокна • Текстиль • Композиты

KHIMICHESKIE VOLOKNA
POLYMERS • FIBRES • TEXTILES • COMPOSITS

www.khimvol.su



2025

УДК 676.1.054.1

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.А. Литвинов*, Я.В. Казаков**, Н.П. Мидуков*, В.С. Куров*, М.В. Колосова*

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна;

**Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск

Многослойные волокнистые композиционные материалы, в частности картон, обладают сложной макроструктурой, включающей различные виды волокон, а также химические компоненты (минеральные наполнители, проклеивающие вещества, флокулянты, красители и др.). Последние в разной степени оказывают влияние на взаимное расположение волокон. Свойства материала определяются макроструктурой, формирующейся при взаимодействии волокон в процессе формования и пространственной укладки в целлюлозосодержащем композиционном материале. Склонность волокон к флокулообразованию на стадии подготовки волокнистой суспензии является основной причиной неравномерности структуры волокнистого композиционного материала. Одним из основных направлений повышения однородности его структуры является многослойное формование. Результаты исследований показывают, что при разделении волокнистого материала массой 120 г/м^2 на слои однородность улучшается. Наиболее эффективное двухслойное формование в основном применяется для производства картона лайнера с использованием основных видов полуфабрикатов. Формование листа картона в три слоя в меньшей степени снижает неоднородность на просвет, а добавление четвертого слоя не только не изменяет ее, но и может оказать негативное влияние на равномерность распределения волокон. Экспериментально установлено снижение неоднородности формования картона для плоского слоя гофрокартона с появлением покровных слоев, изготовленных из беленых волокон. Установлено также незначительное повышение однородности при формировании двух покровных слоев из беленых волокон. Трехслойное формование плоского слоя гофрокартона с белыми покровными слоями снизило количество флоккул большого размера, что может положительно сказаться на его печатных свойствах, но при этом повысит затраты на модернизацию формирующей части картоноделательной машины.

Многослойный целлюлозосодержащий композиционный материал нашел широкое применение при производстве гофрокартона, который состоит из плоских слоев (многослойных лайнеров) и флутинга (гофрированного слоя). Особые требования предъявляются к покровным слоям гофрокартона. Для их производства используются крафт-лайнеры из первичного волокна и тест-лайнеры из вторичного. В нашей стране для производства картона лайнера может быть использована комбинация первичных волокон для покровного слоя, вторичных – для нижнего. Нижний слой картона лайнера обычно формируют из вторичных волокон макулатуры МС-5Б, основой которого является гофрированный картон. Однако использование вторичного волокна ухудшает качество продукции, снижает механические, оптические и печатные свойства. Одним из способов сохранения механических свойств яв-

ляется многослойное формование. Улучшение механических свойств картона при многослойном формировании связано с более равномерным распределением волокон, которое определяет равномерность распределения межволоконных и межмолекулярных водородных связей [1-3]. Однако постоянное изменение состава сырья периодически требует уточнения данных о неоднородности многослойных волокнистых композиционных материалов в зависимости от числа слоев. В России за последние 10 лет состав волокнистого сырья постоянно изменялся вследствие повышения доли использования вторичных волокон различной природы.

Несмотря на то, что на неравномерность формования картона влияют химикаты, в том числе минеральные наполнители, флокулянты, клеящие агенты и др., решающее значение имеет флокулообразование в водной волокнистой суспензии [4-7]. Поэтому результаты оценки влияния природы волокон без влияния химика-

тов могут быть использованы в качестве практических рекомендаций для производителей картона. В связи с этим актуальными являются экспериментальные исследования по оценке влияния числа слоев с разной комбинацией сырья на неоднородность волокнистого композиционного материала, что представляет цель данного исследования. Исследования выполнены при финансовой поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга*.

Экспериментальные исследования по оценке структуры бумаги проводились с использованием вторичных и первичных волокон. Были использованы волокна макулатуры из офисных видов бумаги (Svetocopy Classic, ОАО «Светогорский ЦБК»). В такой макулатуре содержится беленая сульфатная целлюлоза лиственных и хвойных пород, а также волокна, полученные на основе беленой химико-термомеханической массы. В офисную бумагу обычно добавляют минеральный наполнитель (карбонат кальция), крахмал, гидрофобизирующий клей, флокулянты. Эти компоненты частично удаляются при роспуске макулатуры, подготовке бумажной массы и формировании полотна бумаги. Другим видом сырья была макулатура из гофрокартона. В композицию материала, из которого производится гофрокартон, обычно входит сульфатная небеленая целлюлоза хвойных пород, из которой изготавливают лайнеры, а также волокна целлюлозы высокого выхода, из которых производят гофрированный слой (флутинг). В работе использовались и первичные волокна беленой сульфатной целлюлозы хвойных и лиственных пород ОАО «Сыктывкарский ЛПК». Также были проведены испытания картона с использованием беленых целлюлозных волокон для формирования покровного слоя лайнера и небеленых целлюлозных волокон нижнего слоя.

Бумажную массу подвергали размолу и подготовке в лаборатории по международным и российским стандартам. Формирование многослойной отливки производили по методу, описанно-

му ранее [8, 9], масса каждой отливки диаметром 200 мм (площадь 0.0314 м^2) составляла $3.7 \pm 0.15 \text{ г}$. Масса 1 м^2 одно-, двух-, трех- и четырехслойных образцов была одинаковой – $120 \pm 5 \text{ г}$, толщина образцов находилась в пределах от 200 до 250 мкм в зависимости от природы волокна, степени помола и числа слоев.

Оценка формирования многослойного волокнистого материала осуществлялась с помощью прибора TENCHAP SAS F-sensor, изготовленного в техническом центре исследования бумаги Гренобля (Франция) [10]. Прибор позволяет исследовать структуру формирования волокнистого материала массой от 5 до 600 г/м^2 . В работе использовались два режима оценки формирования: печатная бумага (для образцов, полученных из беленых целлюлозных волокон) и картон (для образцов, полученных из небеленых целлюлозных волокон). Прибор оценки формирования позволял автоматически регулировать яркость стробоскопа в зависимости от режима. Неоднородность распределения оценивалась по интенсивности проходимого света, которая находится в обратной зависимости от индекса формирования. Прибор позволил определить распределение флоккул по размерам, которые классифицировались на группы – по толщине 1, 2, 3, 6, 10, 16 мм. По неоднородности проходимого света устанавливалось качество формирования многослойного волокнистого композиционного материала. При идеальном формировании просвет во всех точках был бы одинаков, а неоднородность просвета равна нулю. Образцы для исследования были получены в соответствии с международным стандартом с помощью приборов, находящихся в центре коллективного пользования «Биорефайнинг древесины и нанотехнологии» Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного технологического университета промышленных технологий и дизайна.

Изготовление отливок бумаги и картона проводилось на лабораторном листоотливном аппарате, который позволяет получить распределение волокон в плоскости листа без определенной ориентации по осям. Качество формирования сравнивается по интенсивности проходимого света (LT – *light transmission*). Многие приборы, определяющие индекс формирования, имеют показатель LT , характеризующий интенсивность проходимого света [11, 12]. В работе обсуждается взаимосвязь между количеством слоев и

*Совместный научный и научно-технический проект, выполняемый образовательными и научными организациями, расположенными на территориях Санкт-Петербурга и Республики Беларусь на тему «Разработка методов оценки и анализ неоднородности межволоконных связей в 2D/3D гетерогенной среде целлюлозных композиционных материалов» поддержан Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.

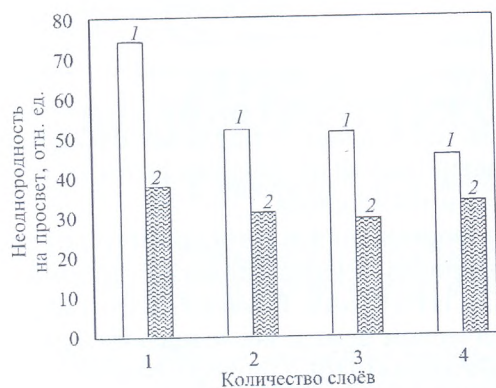


Рис. 1. Влияние числа слоев на неоднородность на просвет образцов, изготовленных из вторичных и первичных волокон:

1 – вторичные волокна, содержащиеся в офисной бумаге; 2 – первичные волокна сульфатной беленой целлюлозы из лиственных пород древесины (СФАБЛЦ).

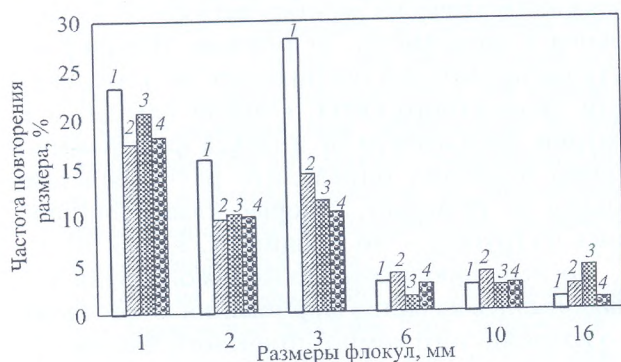


Рис. 2. Распределения флоккул по размерам для образцов, произведенных из вторичных волокон, содержащихся в офисной макулатуре с различным количеством слоев: 1 – один слой; 2 – два слоя; 3 – три слоя; 4 – четыре слоя.

неоднородностью образцов, получаемых из полуфабрикатов, которые используются на практике производства плоских слоев гофрокартона. Из рис. 1 видно, что неоднородность двухслойного образца, полученного из вторичных волокон, содержащихся в офисной бумаге, существенно снижается – с 74.3 до 52.0 отн. ед. В образцах из трех слоев неоднородность удалось уменьшить на 1%. В образцах из четырех слоев неоднородность распределения волокон незначительно ухудшилась. Тенденция снижения неоднородности при переходе с одно- на двухслойные образцы сохранилась во всех случаях.

Анализ распределения флоккул по размерам показывает смещение «моды» в сторону уменьшения размеров флоккул при переходе от одного слоя к двум и более. Из рис. 2 и 3 видно, что

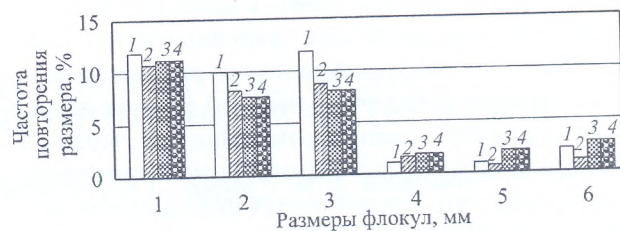


Рис. 3. Распределения флоккул по размерам образцов, произведенных из первичных волокон сульфатной беленой целлюлозы лиственных пород с различным количеством слоев:

1 – один слой; 2 – два слоя; 3 – три слоя; 4 – четыре слоя.

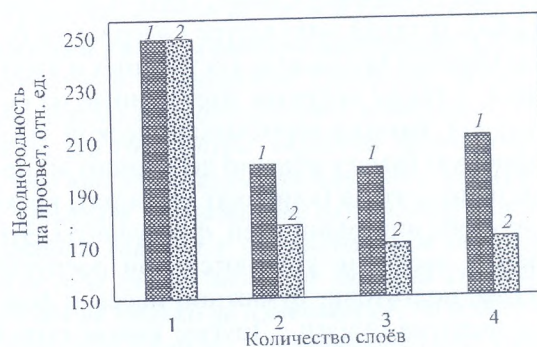


Рис. 4. Влияние количества слоев на неоднородность на просвет образцов, изготовленных из вторичных волокон: 1 – вторичные волокна, содержащиеся в гофрокартоне; 2 – композиция вторичных волокон, содержащихся в офисной бумаге и гофрокартоне

наибольшая повторяемость размеров флоккул составляет 3 мм для однослойного картона, а для двухслойного и более – 1 мм. Такая тенденция в большей степени проявляется для вторичных волокон из макулатуры, состоящей из офисных видов бумаги (рис. 2). Уменьшение размеров флоккул связано с тем, что при наложении каждого слоя друг на друга светлые участки с определенной интенсивностью проходящего света разделяются на более мелкие.

Различие между распределением размеров флоккул вторичных и первичных волокон в образцах объясняется разным составом волокон этих полуфабрикатов, а также присутствием дополнительных химических реагентов в офисной бумаге (мела, крахмала, клея, флокулянта). Попадая в образцы повторно, эти реагенты и могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на неоднородность формирования.

При оценке равномерности на просвет образцов, изготовленных из вторичных волокон

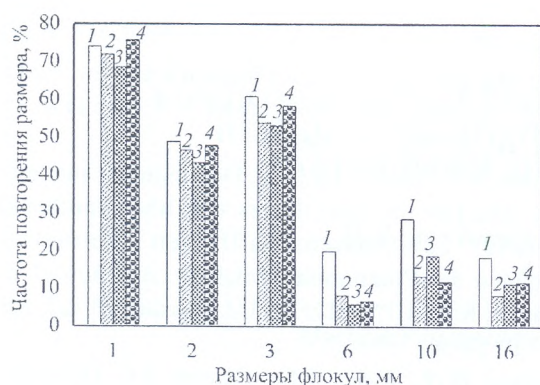


Рис. 5. Распределение флокул по размерам образцов, произведенных из вторичных волокон, содержащихся в гофрокартоне с различным количеством слоев:

1 – один слой; 2 – два слоя; 3 – три слоя; 4 – четыре слоя.

гофрокартона, режим просвета прибора был выбран с большей интенсивностью источника света. Известно, что волокна в гофрокартоне содержат больше лигнина, который придает волокнам окраску, в то время как беленые волокна обладают низкой оптической плотностью и требуют меньшей интенсивности проходящего света (рис. 4). Поэтому неоднородность на просвет образцов картона лайнера, произведенного из волокон бурого цвета, находится в другом диапазоне по сравнению с неоднородностью образцов, произведенных из беленых волокон.

Наиболее часто встречаются флокулы размером 1, 2, 3 мм в образцах, полученных из вторичных волокон макулатуры, содержащей гофрокартон (рис. 5), независимо от количества слоев. Однако из рис. 5 видно, что однослойные образцы содержат большее количество флокул, находящихся в группах размеров, соответствующих 6, 10 и 16 мм. Поэтому, если сравнивать распределение размеров флокул по «медиане» распределения, а не по «моду», размер флокул с увеличением числа слоев возрастает, что свидетельствует об ухудшении равномерности формования.

Нанесение покровного слоя картона из вторичных волокон, которые содержались в офисной бумаге, на характер распределения значительно не повлиял, однако, как видно из рис. 6, сократилось количество флокул размером 6, 10 и 16 мм. Особенно заметно снижение флокул большого размера при наличии двух покровных слоев для трех- и четырехслойного картона тест-лайнера.

При производстве многослойных волокнистых композиционных материалов, в частности многослойного картона, для плоских слоев гоф-

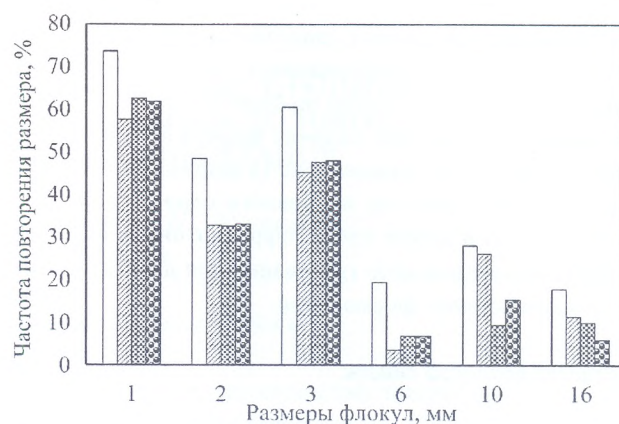


Рис. 6. Распределение флокул по размерам образцов, произведенных из композиции вторичных волокон, содержащихся в офисной бумаге и гофрокартоне:

1 – один слой полностью из волокон гофрокартона; 2 – два слоя (покровный из волокон офисной макулатуры, нижний – из волокон гофрокартона); 3 – три слоя (два слоя из волокон офисной макулатуры, один слой – из волокон гофрокартона); 4 – четыре слоя (два слоя покровных из волокон офисной макулатуры, два – из волокон гофрокартона).

рокартона существует проблема неравномерности распределения волокон в покровном слое. Обычно картон тест-лайнера вырабатывают в два слоя, так как формирование трехслойного связано с большими капиталовложениями. Как показывают результаты исследований, разница между неоднородностью распределения волокон при двух- и трехслойном вариантах несущественна. Однако, если потребитель упаковки требователен к качеству наносимой печати, то трехслойное формование, которое уменьшает количество флокул большого размера, может положительно сказаться на печатных свойствах картона. Высокое содержание флокул большого размера приводит к неравномерной толщине картона. В таких условиях частицы наносимой краски или тонера могут заваливаться в пустоты, и печать наносится неравномерно.

Анализ распределения флокул по размерам показал смещение «моды» в сторону уменьшения их размеров для картона массой 1 м² в 120 г при двух слоях и более. В большей степени это характерно для образцов, полученных из вторичных волокон. Экспериментально установлено снижение неоднородности формования при наличии покровных слоев, изготовленных из беленых волокон в совокупности с нижними слоями бурого цвета.

Для повышения печатных свойств картона предпочтительная комбинация формования в три слоя – с двумя белыми покровными и одним нижним бурым. Такой способ позволяет сократить наличие флокул большого размера, что повышает равномерность формования и улучшает печатные свойства покровного слоя гофрокартона. Для других плоских слоев гофрокартона, к которым не предъявляют высокие требования для печати, достаточно двухслойного формования.

Библиографический список

1. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 120 с.
2. Rech D., Поташева А.Н., Казаков Я.В. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. – С. 174-184.
3. Гораздова В.В., Дернова Е.В. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. – С. 160-189.
4. Chen N., Wang L., e. a. // Nordic Pulp a. Paper Res. J. 2019. No 5. – P. 4-7.
5. Lee I., Youn L., Seo, D. // Tappi J. 2013. V. 3. No. 12. – P. 17-23.
6. Seo D., Im W.H., e. a. // Nord. Pulp Pap. Res. J. 2012. V. 2. No. 27. – P. 382-387.
7. Машины для производства бумаги и картона. / Под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб.: Изд. Политехн. ун-та, 2017. – 646 с.
8. Midukov N.P., Smolin A.S., e. a. Development and testing of new structure of three-layers test liner cardboard./ Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und „Immanuel Kant III“ 2012/2013// Moskau, 26.-27. April 2013. – P. 53-56.
9. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем. – СПб.: Изд.- полиграфич. ассоц. вузов. 2018. – 208 с.
10. 2D LAB Датчик Формования является современным решением фирмы. TECHPAP SAS (Техпап) для оценки формования. URL: https://www.techpap.com/data/fckeditor/file/2D_LAB_Rev0016_RU_M_001.pdf (Дата обращения: 03.09.2024).
11. John F. // Tappi J. 1993. V. 76. No. 9. – P. 129-134.
12. Абрамова В.В., Гурьев А.В. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. – С. 172-186.