

результаты исследований будут представлены в следующих работах автора.

Все исследования проведены на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера».

УДК 676.017.2

А.Н. Романова, аспирант, Я.В. Казаков, доц., д-р техн. наук
А.В. Малков, доц., канд. хим. наук
j.kazakov@narfu.ru, (САФУ, г. Архангельск, Россия)

СРАВНЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОП-ЛАЙНЕРА ИЗ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА

Современные тенденции развития целлюлозно-бумажной отрасли во многом связаны с рециклингом бумаги и картона и возрастанием доли вторичного волокна в композиции бумаги, картона и изделий из них. Неоднородность структуры картона, как из первичного, так и из вторичного волокна, обуславливается анизотропией, волокнистой природой материала и существующей технологией его изготовления и является одной из характерных его особенностей.

Неоднородность структуры бумаги и картона при механическом нагружении неизбежно ведет к появлению вариации в величинах местной деформации в испытуемом образце. Наблюдаемые при этом эффекты существенно зависят от анизотропии структуры, во многом определяющей механические свойства исследуемого материала [1]. Таким образом, учет макроструктурной неоднородности, анизотропии и количественная оценка неоднородности деформаций позволяют более надёжно прогнозировать поведение целлюлозно-бумажного материала при его эксплуатации [3].

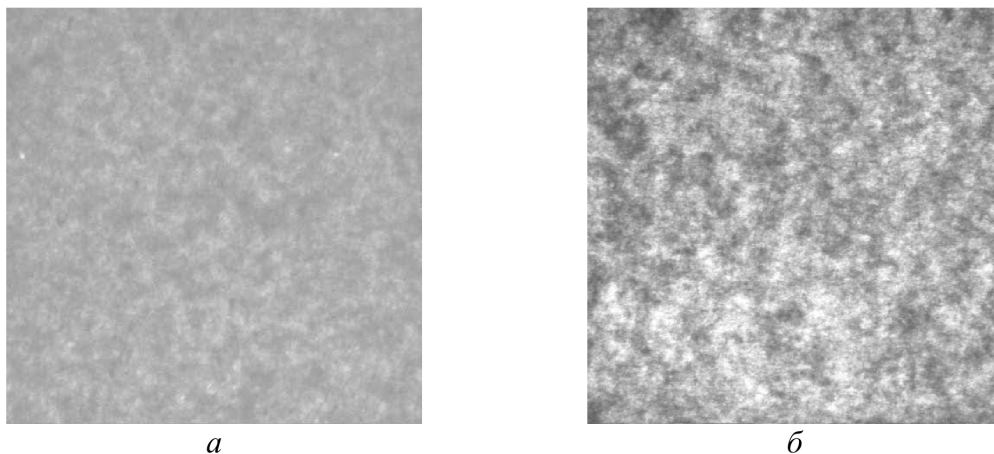
Для количественной оценки распределения локальных растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций, возникающих в структуре картона при приложении растягивающей нагрузки, нами была разработана специальная методика. Согласно методике производится подготовка образцов к испытанию, нанесение на них сетки точек с заданным шагом, фотофиксация процесса растяжения образцов и обработка полученных изображений и массива данных с помощью программного обеспечения [2].

При анализе фотоснимков определяются координаты точек (узлов) до момента приложения растягивающей нагрузки и их смещения в процессе растяжения. Используя методы и формулы метода конечных элементов (МКЭ) для изопараметрических треугольных элемен-

тов [4], рассчитываются величины продольных ε_x , поперечных ε_y , и сдвиговых γ_{xy} локальных деформаций [5]. Результаты представляются в виде диаграмм распределения локальных деформаций в образце при растяжении, гистограмм распределения и ряда статистических характеристик. Методика и результаты ее применения на образцах картона топ-лайнера приведены в работах [3,4,5].

Для сравнительной оценки неоднородности деформирования был выбран и испытан картон топ-лайнер с белым верхним слоем из первичного (1) и вторичного (2) волокна: 1 – АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (125 г/м²) и 2 – АО «Караваево» (130 г/м²).

У образцов предварительно неразрушающими методами были определены характеристики неоднородности структуры на анализаторе формования PTI Formation Tester и анизотропии жесткости при растяжении на L&W TSO-tester, рис.1.

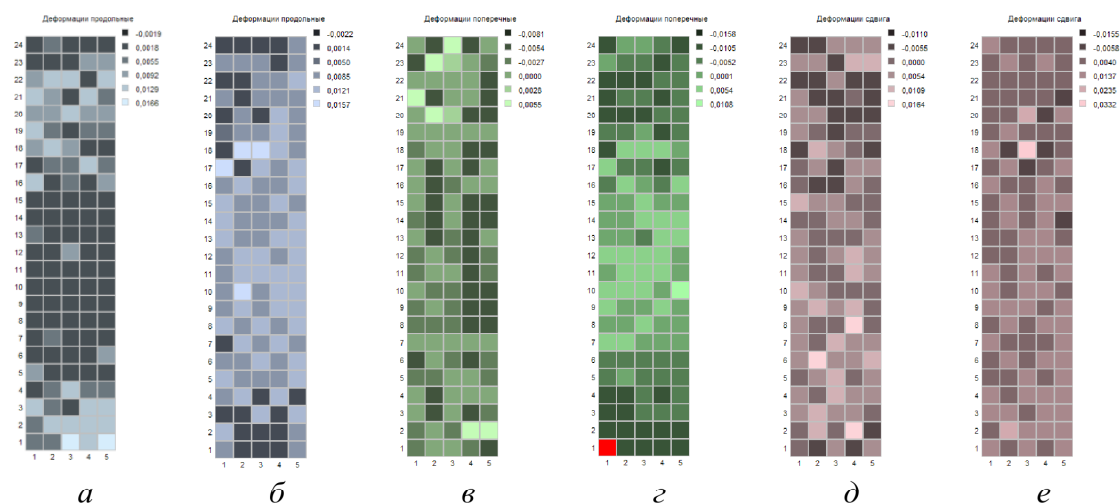


a – из макулатуры, $I_{\Phi} = 150$, $TSI_{MD/CD} = 2,01$;
б – из первичного волокна, $I_{\Phi} = 250$, $TSI_{MD/CD} = 2,55$

Рисунок 1 – Примеры изображений просвета образцов картона топ-лайнера, полученных на анализаторе формования PTI Formation Tester, образец 120×120 мм

Исследованные материалы (1 и 2) отличались по композиционному составу и были изготовлены на разных КДМ при разной скорости. Это обусловило различие их свойств и неоднородность структуры. Уровень неоднородности структуры, оцениваемый по индексу формования, существенно выше у топ-лайнера из первичного волокна (Рис. 1,б). Также материалы продемонстрировали различия в анизотропии упругих свойств, по TSI она равна 2,01 и 2,55. Следовательно, закономерности формирования неоднородностей локальных деформаций топ-лайнера из первичного и вторичного волокна должны иметь свои особенности.

После испытания на растяжение образцов картона 1 и 2 был проведен анализ фотоснимков. В ходе математической обработки координат и смещений узлов сетки до и после растяжения были получены диаграммы распределения локальных деформаций в образцах при растяжении, рис. 2.



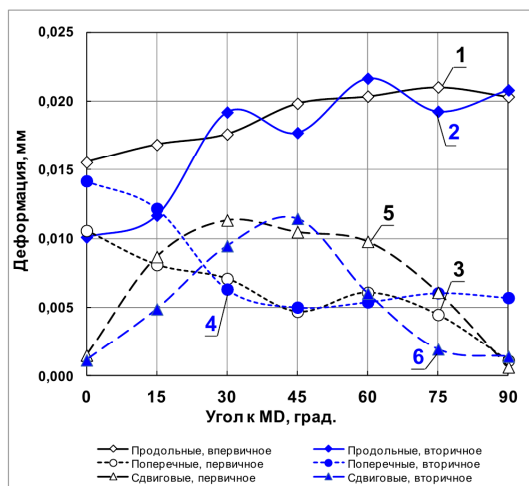
a, б – продольные (1,2); *в, г* – поперечные (1,2); *д, е* – сдвиговые (1,2)

Рисунок 2 – Диаграммы распределения локальных деформаций при растяжении образцов картона топ-лайнера из первичного (1) и вторичного (2) волокна до общей деформации 2,5 мм

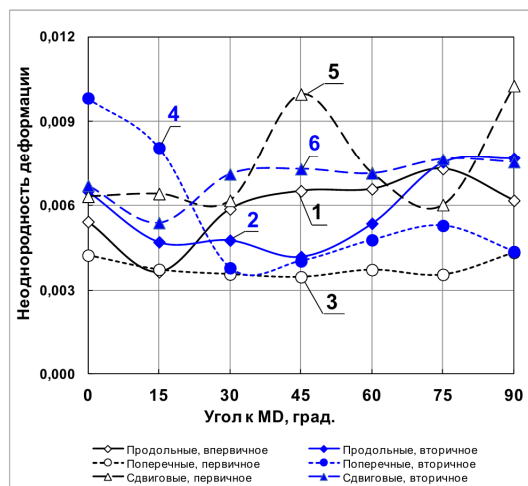
Диаграммы позволяют визуально оценить распределение локальных растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций в образце картона. Полученные диаграммы показывают, что наибольшим числовым значениям деформаций соответствуют наиболее светлые области диаграмм, наименьшим – темные. Анализ и сравнение диаграмм «деформации продольные» (*a, б*) образцов 1 и 2 позволяет сделать вывод о наибольшей устойчивости к деформациям образцов 1.

Количественная оценка обнаруженных неоднородностей производилась путем статистической обработки полученных данных с определением средних и стандартных отклонений σ_x . За характеристику неоднородности локальных деформаций принято среднее квадратическое отклонение σ_x .

На рис. 3 показано влияние преимущественного угла ориентации волокон, изменяемое за счет вырезки образцов под разными углами к машинному направлению, на среднее значение деформаций и их стандартное отклонение для конечных элементов в образце картона топ-лайнер при растяжении до 2,5 мм.



а



б

1 – продольные, первичное волокно; 2 – продольные, вторичное;
3 – поперечные, первичное; 4 – поперечные, вторичное;
5 – сдвиговые, первичное; 6 – сдвиговые, вторичное

Рисунок 3 – Влияние угла вырезки образца на средние значения деформаций (а) и стандартное отклонение деформаций конечных элементов (б) при растяжении образцов топ-лайнера до 2,5 мм

Представленные на рис.3а данные, полученные при постоянной величине общей деформации и увеличении угла преимущественной ориентации волокон в образцах картона из первичного и вторичного волокна, показывают, что локальные растягивающие деформации возрастают (кривые 1,2); сжимающие – уменьшаются (кривые 3,4); сдвиговые – имеют максимальный предел при 30° и 45° к MD (кривые 4 и 6, соответственно);

Кроме того, наблюдается рост средней величины сдвиговых деформаций при увеличении угла вырезки от 0° до достижения максимального предела и снижение этой величины после его прохождения. В свою очередь, доминирование растягивающих деформаций можно объяснить тем фактом, что они возникают вдоль линии нагружения. Преобладание деформаций сжатия у образцов, вырезанных по углом 0° к MD объясняется тем, что сжатие происходит перпендикулярно преобладающей оси ориентации волокон в структуре, деформациям подвергаются главным образом связи между волокнами, жесткость которых существенно ниже, чем у самих волокон.

При этом неоднородность локальных деформаций, оцениваемая по среднему квадратическому отклонению (Рис. 3б), изменяется незначительно. Тем не менее, можно отметить, что чем выше величина локальных деформаций, тем выше и их неоднородность.

Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Я.В. Количественная оценка неоднородности деформирования образца бумаги при одноосном растяжении с постоянной скоростью // Лесн. журн., 2013. №2. С.180–185. (Изв. высш. учеб. заведений)
2. Свид. № 2014617014. Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для анализа полей локальных деформаций и напряжений в образцах бумаги при растяжении (Неоднородность деформирования) / Я.В. Казаков, О.Я. Казакова, А.В. Рудалев: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО САФУ (RU). № 2014614773; заявл. 22.05.2014; опубл. 09.07.2014, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
3. Казаков Я.В. Неоднородность деформирования бумаги. / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 9–11 сентября 2015 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. С.17–24.
4. Романова А.Н., Казаков Я.В., Малков А.В. Влияние направления ориентации волокна в образце картона на соотношение растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций при испытании на растяжение / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2017. С.108–113.
5. Kazakov Y., Romanova A. and Galimzyanova A. Effect of fiber orientation in a paper sheet on ratio of local tensile, compressive and shear deformations at the tensile test / “Deformation and damage mechanisms of woodfibre network materials and structures” // Book of Abstracts: Euromech Colloquium 592, 7–9 June 2017, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. P.72–73.