

Рис. 2. Относительные величины характеристик вариантов картона во влажном состоянии

При увеличении привеса пропитки глютенем увеличивается удлинение при разрыве и для поперечного направления сухого картона. Поэтому целесообразно изучать поверхностную обработку картона глютенем пшеничным и увеличение его нативных характеристик.

Список литературы

1. A. R. Flory, D.V. Requesens, Shivakumar P. Devaiah Development of a green binder system for paper products/ Biotechnol/ 2013;13;28
2. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Лесной вестник МГУЛ. 2000. №3 (12). С.52–62.

УДК 676.017

НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОГО КАРТОНА ТОП-ЛАЙНЕР

Романова Анастасия Николаевна,
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: anastasiaromanov@gmail.com

Казаков Яков Владимирович,
д-р техн. наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Малков Алексей Валерьевич,
канд. хим. наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: a.malkov@narfu.ru

Ключевые слова: макулатурный картон, неоднородность бумаги, деформирование, локальные деформации, растяжение.

Аннотация. Представлены результаты измерения локальных растягивающих вдоль линии нагружения, сжимающих поперек линии нагружения и сдвиговых деформаций при растяжении макулатурного картона с белым покровным слоем. Используются собственная методика и оригинальное программное обеспечение. Установлено наличие и дана визуальная и количественная оценка неоднородного поля деформаций, что обусловлено неоднородной структурой картона. Показано преобладание растягивающих деформаций, при этом наибольшую неоднородность имеют поперечные деформации.

DEFORMATION HETEROGENEITY OF RECYCLED WHITE TOP LINER BOARD

Romanova Anastasia Nikolaevna,
graduate student, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: anastasiaromanov@gmail.com

Kazakov Yakov Vladimirovich,
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences,, Associate Professor,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Malkov Alexey Valeryevich,
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, E-mail: a.malkov@narfu.ru

Key words: recycled cardboard, non-uniformity of paper, deformation, local deformations, tensile test.

Abstract. Measurement results of local stretching, compressing and shear deformations when tensile test on recycled cardboard with a white top layer are presented. Proprietary methods and software are used. Due to the non-uniform structure of the cardboard there are the presence of the inhomogeneous strain field are detected, its visual and quantitative evaluation is given. The predominance of tensile deformations is shown up, wherein the greatest heterogeneity are demonstrated by transverse deformations.

Современные тенденции развития целлюлозно-бумажной отрасли направлены на снижение влияния техногенных факторов на окружающую среду. Особое значение придается повторной переработке отходов производства. В частности, возрастает доля вторичного волокнистого сырья в композиции бумаги и картона. Устойчивую положительную динамику обеспечивает экологический вектор в промышленной политике всех развитых стран.

В настоящее время отмечаются значительные темпы роста потребления тароупаковочных видов картона из макулатурного сырья. Выбор обуславливается достаточно высокими показателями механической прочности гофротары и ее устойчивостью к различного рода эксплуатационным нагрузкам.

Одним из характерных и ключевых свойств картона из макулатуры является неоднородность его структуры, связанная с анизотропией, волокнистой природой и существующей технологией изготовления. Благодаря склонности растительных волокон к хлопьеобразованию при формовании картонного полотна на сетке КДМ, в реальном листе картона обязательно имеет место структурная неоднородность, то есть неравномерность распределения волокнистой массы по площади листа. Визуально этот эффект оценивается по облачности просвета листа картона [1], а для количественной оценки применяют анализаторы формования [2].

При приложении к образцу из целлюлозно-бумажного материала механической нагрузки неизбежно появляется вариация в величинах местной деформации в листе картона под нагрузкой. Из-за наличия в материале флокул и промоин, связанные межволоконными свя-

зьями области структуры и свободные от связей сегменты волокон имеют различную жесткость. Подобная структурная особенность вызывает эффект неоднородности, который ведет к возникновению концентраций напряжений, приводящих, в предельном случае, к разрушению образца [3]. Таким образом, учет макроструктурной неоднородности, обусловленной строением агрегированных вторичных элементов пространственной структуры картона и распределением волокон в картонном листе, и количественная оценка неоднородности напряжений и деформаций позволяют более надёжно прогнозировать поведение целлюлозно-бумажного материала при его эксплуатации [4].

Цель работы заключалась в количественной оценке распределения локальных растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций, возникающих в структуре картона топ-лайнера из вторичного волокнистого сырья при приложении растягивающей нагрузки.

Для проведения эксперимента в качестве объекта исследований был выбран макулатурный картон топ-лайнер с белым верхним слоем, массой 130 г/м^2 и толщиной 210 мкм . На данном этапе исследований ограничилось анализом поведения материала для образцов, вырезанных в машинном (MD) направлении. Предварительно у картона неразрушающими методами были определены физико-механические характеристики. Результаты измерений для серии из 7 листов картона представлены в табл. 1. Оценка неоднородности структуры производилась по индексу формования. Из приведенных данных следует, что исследуемый материал обладает существенной неоднородностью структуры как в пределах одного листа, так и у всех листов серии. Также материал обладает анизотропией упругих свойств, по TSI она равна 2,01. При этом вариация упругих свойств незначительная.

На рис. 1 представлены изображения, полученные на анализаторе формования при количественной оценке неоднородности структуры, которые подтверждают наличие неоднородностей различных размеров в структуре макулатурного картона.

Таблица 1

Физико-механические характеристики исследованного картона

| Характеристика | Величина |
|--|------------------|
| Физические свойства | |
| Толщина, мкм | $209 \pm 2,5$ |
| Масса 1 м^2 | $130 \pm 3,1$ |
| Характеристики неоднородности структуры | |
| Formation-Index | $149 \pm 4,9$ |
| Средний размер неоднородностей L_x | $5,13 \pm 0,23$ |
| Средний размер неоднородностей L_y | $4,94 \pm 0,30$ |
| Вклад в индекс формования неоднородностей, размером: | |
| 1 мм | $49,9 \pm 2,4$ |
| 2 мм | $19,7 \pm 2,7$ |
| 3 мм | $44,1 \pm 4,9$ |
| 6 мм | $18,5 \pm 9,4$ |
| 10 мм | $8,9 \pm 5,4$ |
| 16 мм | $8,3 \pm 3,8$ |
| Характеристики анизотропии | |
| TSI_{MD} | $9,0 \pm 0,28$ |
| TSI_{CD} | $4,5 \pm 0,23$ |
| $TSI_{MD/CD}$ | $2,01 \pm 0,16$ |
| $TSO_{angle + MD}$ | $-0,96 \pm 5,69$ |
| TSI_{Area} | $20,1 \pm 0,31$ |

Таким образом, экспериментально подтверждена неоднородность структуры картона из макулатурного сырья, что должно привести к неоднородности его деформирования при растяжении.

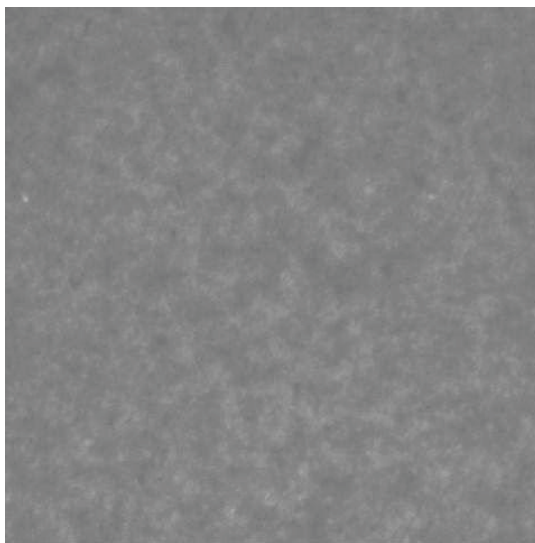


Рис. 1. Пример изображений просвета макулатурного топ-лайнера, полученных в проходящем поляризованном свете на анализаторе формирования PTI Formation Tester, образец 120×120 мм

При проведении эксперимента, на лицевую поверхность отобранных листов с помощью струйного принтера была нанесена сетка точек (узлов) с размерами ячейки 4×4 мм. Из листов картона была подготовлена серия образцов (по три образца в каждой серии) в виде полос с размерами 200×25 мм (25×6 узлов), вырезанных параллельно сторонам сетки. Таким образом, при нанесении точек (узлов) была получена дискретная сетка, состоящая из отдельных конечных элементов, имеющих общие узловые точки и в совокупности аппроксимирующих форму области исследования – образца картона. Расстояние между крайними точками (узлами) по длине образца составляет 96 мм, по ширине – 20 мм. Образцы подвергались растяжению на вертикальной разрывной машине ИТС-101 со скоростью растяжения 10 мм/мин непосредственно от момента начала приложения нагрузки и до момента физического разделения образца картона на части – разрушения. Процесс испытания сопровождался одновременной посекундной фотофиксацией процесса растяжения и регистрацией кривых зависимостей «нагрузка-удлинение». Фотосъемка произведена с разрешением 24 мегапикселя (6016×4016), режим sRGB, 24 бит со скоростью 1 кадр в секунду. Были использованы камера NIKON D600, объектив AF-S Micro-Nikkor 60/2.8 (фокусное расстояние 60 мм, диафрагма f/8, выдержка 1/100 с, светочувствительность ISO 1600).

Для математической обработки результатов проведенного эксперимента, получения данных о числовых характеристиках упруго-деформационных свойств исследуемого картона и их визуализации было использовано оригинальное программное обеспечение [6]. При выполнении обработки полученных кадров выполняется распознавание нанесенных на образец точек и вычисление координат центров точек в пикселах.

Установлено, при растяжении образцов картона, происходит смещение узлов дискретной сетки, как вдоль продольной оси образца, так и поперек (рис. 2). Это означает, что в образце имеют место продольные, поперечные и сдвиговые деформации. Это смещение неравномерно в связи с неоднородностью структуры картона. То есть, при растяжении образца, развитие локальных деформаций происходит во всех участках при одновременном перераспределении их интенсивности.

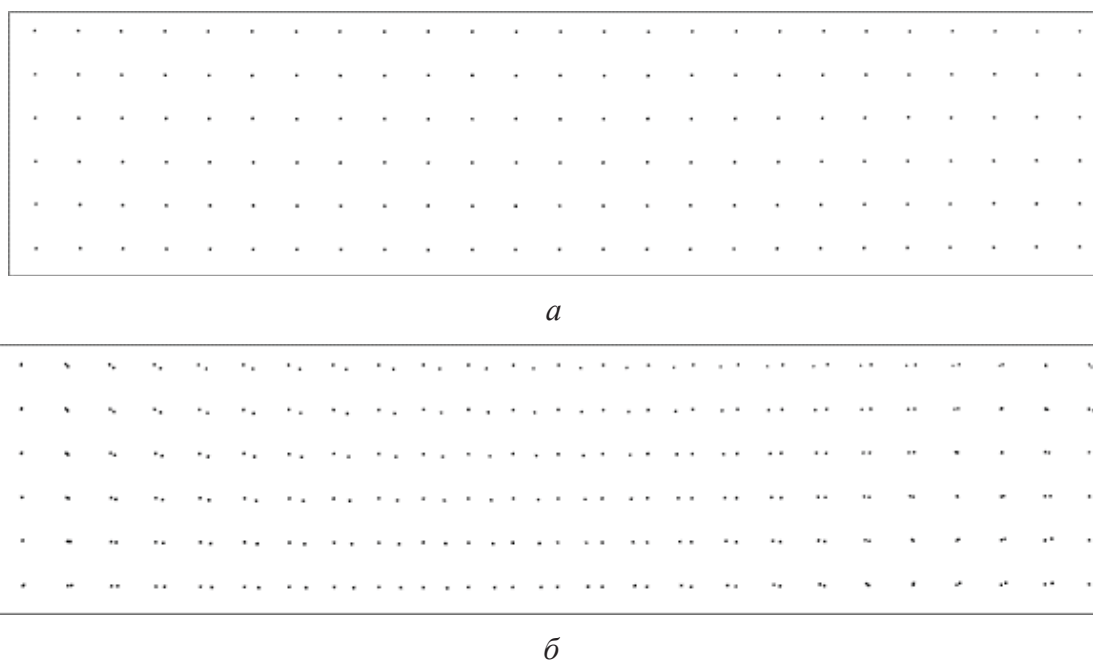


Рис.2. Цифровой снимок образца картона с нанесенной на его поверхность сеткой точек:
a – перед испытанием;
б – с общей деформацией 2 мм, наложенный на снимок исходного образца

Пользуясь величиной разрешения снимка, рассчитываются смещения точек в миллиметрах u_x по оси x (вдоль продольной оси образца), u_y по оси y (перпендикулярно продольной оси образца), и рассчитываются продольные, ϵ_x поперечные ϵ_y , и сдвиговые γ_{xy} локальные деформации по методике, описанной в работе [5].

На рис.3 представлены результаты обработки данных при растяжении образца картона топ-лайнера из макулатуры до общей деформации 2 мм, то есть практически до разрушения. Среднее растягивающее напряжение составляло величину 15 МПа.

После выполнения математической обработки координат (в пикселях) и смещений (в мм) узлов сетки до и после растяжения, получены диаграммы распределения локальных напряжений и деформаций в образце исследуемого картона, рис. 3 (*a, б, в*), позволяющие провести визуальную оценку их распределения. Более светлые области диаграмм соответствуют более сильным деформациям. Путем статистической обработки полученных данных с определением средних и стандартных отклонений ϵ_x и с применением гистограмм распределения локальных напряжений и деформаций, рис. 3 (*г, д, е*) дана количественная оценка неоднородностей полей деформаций. Результаты представлены в табл. 2.

Растягивающие деформации ϵ_x доминируют, поскольку возникают вдоль линии растяжения. Отметим, что поперечные деформации ϵ_y в образце картона являются деформациями сжатия, поэтому полученные значения являются отрицательными. Сдвиговые деформации γ_{xy} имеют наименьшую величину, поскольку испытаны образцы в машинном направлении, и при одноосном растяжении сдвиг узлов связан исключительно с неоднородностью структуры, а не с ориентацией волокон в образце. Гистограммы распределения локальных деформаций, приведенные на рис. 3, для растягивающих и сдвиговых деформаций показывают форму распределений, близкую к симметричной и аналогичную нормальному распределению. То есть, большая часть локальных деформаций имеет значения, близкие к средним. Для сжимающих деформаций обнаружена значительная доля малых величин, что вызвало несимметричность гистограммы.

В качестве характеристики неоднородности локальных деформаций принимается среднее квадратическое отклонение ϵ_x . Неоднородность продольных деформаций примерно в два раза ниже, чем для поперечных и сдвиговых.

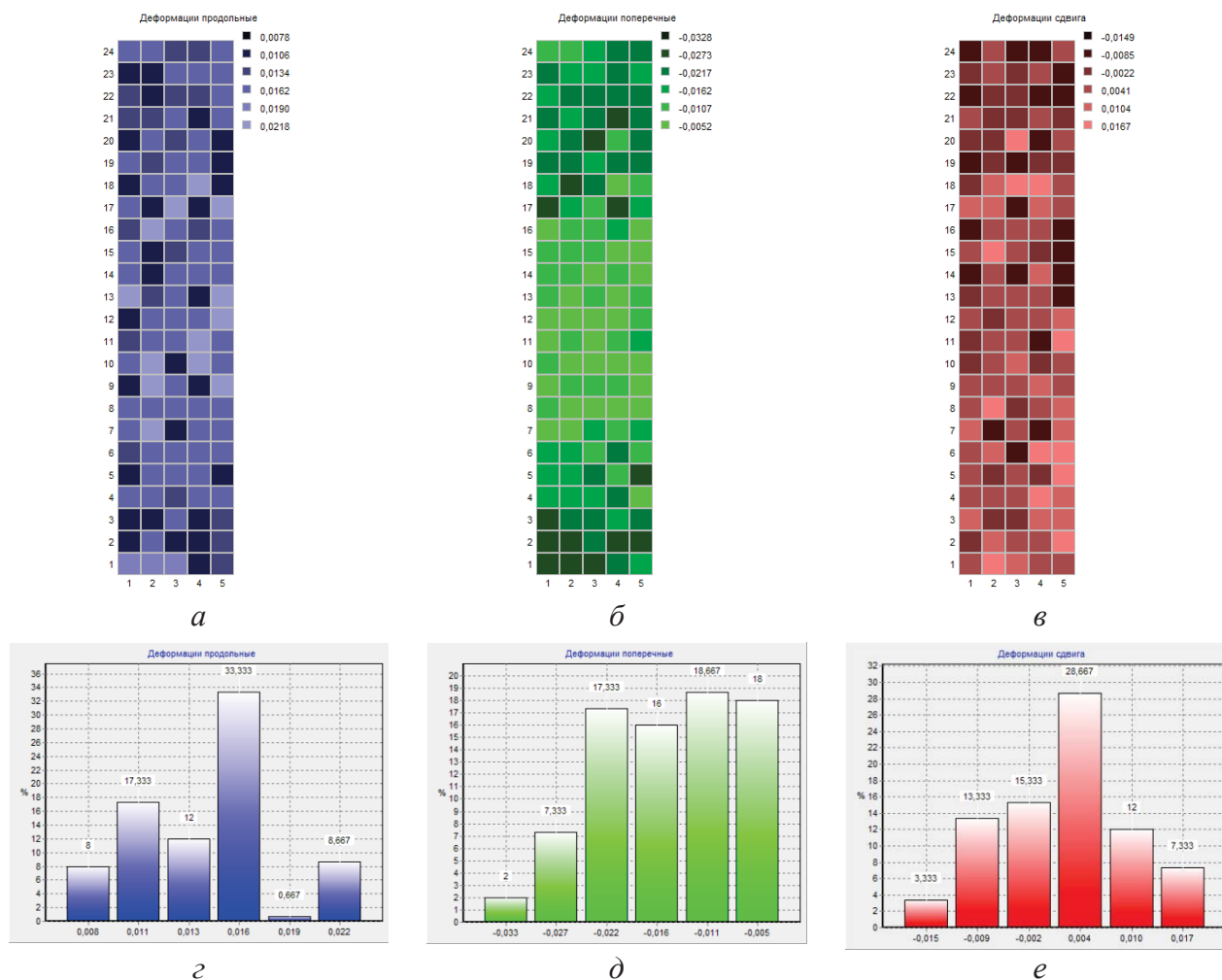


Рис. 3. Поля (а,б,в) и гистограммы (z,д,е) распределения локальных продольных ϵ_x (а, z), поперечных ϵ_y (б, д) и сдвиговых γ_{xy} (в, е) деформаций в образца картона в машинном направлении до общей деформации 2 мм

Таблица 2

Статистическая характеристика величин локальных деформаций

| Характеристика | Вид локальных деформаций | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | продольные ϵ_x | поперечные ϵ_y | сдвиговые γ_{xy} |
| Среднее значение \bar{X} | 0,0133 | -0,0092 | -0,0015 |
| Среднее квадратическое отклонение σ_x | 0,0043 | 0,0077 | 0,0073 |
| Минимальное значение X_{Min} | 0,0050 | -0,0183 | -0,0212 |
| Максимальное значение X_{Max} | 0,0218 | -0,0052 | 0,0167 |
| Размах варьирования R | 0,0168 | 0,0132 | 0,0379 |
| Коэффициент вариации $v, \%$ | 32,10 | 84,2 | 492,9 |

Использование коэффициента вариации $v, \%$ для оценки неоднородности затруднено, поскольку при среднем значении деформаций около нуля, любые их изменения приводят к неоправданно высокому росту коэффициента вариации, что и получилось для представленных данных. Таким образом, в результате проведенных исследований экспериментально апробирована методика оценки локальных деформаций образца при растяжении применительно для макулатурного картона с белым покровным слоем. Установлено наличие и дана коли-

чественная оценка неоднородного поля деформаций, растягивающих вдоль линии нагружения, сжимающих поперек линии нагружения и сдвиговых, что обусловлено неоднородной структурой картона. Показано преобладание растягивающих деформаций, при этом наибольшую неоднородность имеют поперечные деформации.

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

Список литературы

1. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 121 с.
2. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн., 2007. № 3. С.110–121. (Изв. высш. учеб. заведений)
3. 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)
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов / –Архангельск, Изд-во АГТУ, 2002. 440 с.
5. Казаков Я.В. Характеристики деформативности как основополагающий критерий в оценке качества целлюлозно-бумажных материалов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.03 / Казаков Яков Владимирович. Архангельск: 2015. 534 с.
6. 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.

УДК 676.08

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СКОПА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕКУПЕРАЦИИ

Кашина Мария Олеговна,
инженер, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,
г. Пермь, E-mail: Mariya.Kashina@pcbк.perm.ru

Житнюк Виталий Анатольевич,
кандидат технических наук, главный технолог,
Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,
г. Пермь, E-mail: Vitaly.Zhitnyuk@pcbк.ru

Идиатуллин Анвар Мугинович,
кандидат технических наук,
директор, ООО «Технобум-2», Московская область, п. Правдинский,
E-mail: amidiatullin@gmail.com

Белкина Екатерина Васильевна,
заведующая лабораторией, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания», г. Пермь, E-mail: Ekaterina.Belkina@pcbк.perm.ru

Ключевые слова: скоп, волокно, макулатура, композиция.