

Марченко И. В., старший преподаватель (БГТУ); Долгова Т.А., доцент (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ БУМАГИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ КНИЖНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И КНИГ

Фракталы и фрактальные материалы, к числу которых относится бумага, имеют не только необычную форму, но и интересные свойства, некоторые из них могут быть полезными при исследовании проявлений структурной неоднородности бумаги и картона и процессе прессования книжных полуфабрикатов и книг.

Fractals and fractal materials to which number the paper concerns also, have not only the unusual form, but also interesting properties, some of them can be useful at research of displays of structural heterogeneity of a paper and a cardboard at pressing book semi finished items and books.

Введение. С развитием современного полиграфического производства увеличивающийся рост потребностей в высококачественных печатных материалах повлиял на появление на рынках новых, разнообразных, эксклюзивных видов бумаг. Разнообразие бумаг требует особого подхода к выбору способа печати и вида ее обработки. Качество полиграфического исполнения зависит от свойств основных полиграфических материалов.

Изготовитель бумаги должен не только обращать внимание на оптические характеристики оттиска и технологию печати, но и помнить о многочисленных отделочных процессах и облагораживании продукции после печати, выпускать такую продукцию, которая бы выдерживала эти разнообразные технические, химические и механические нагрузки [1].

Поэтому появилась необходимость обратиться к вопросам прессования книг и книжных полуфабрикатов с целью более глубокого изучения проявлений структурной неоднородности бумаги при прессовании книжных полуфабрикатов и книг.

Основная часть. Клеевой бесшвейный способ (КБС) скрепления блоков во второй половине XX века получил наибольшую популярность благодаря малому числу операций и широкой механизации и автоматизации производства, но их недостаток — высокая требовательность к подбору материалов, строгое соблюдение режимов технологического процесса, от которых во многом зависит прочность и надежность клеевых соединений и срок службы книжной продукции.

Необходимо отметить, что при изготовлении книжных блоков большую роль играют условия подготовки блока к нанесению клея, в частности прессование его корешковой части.

При прессовании стопы тетрадей или листов блока происходит сложный процесс удаления воздуха, находящегося между листами тетрадей и между тетрадами, удаления его из самой бумаги и уменьшения толщины листа за счет сближения его волокон. Уменьшение толщины стопы происходит в основном за счет удаления воздуха из пространства между

листами и лишь частично за счет уменьшения толщины самого листа.

Контрольная высота пачек сфальцованных тетрадей определяет объективный показатель качества спрессованных тетрадей, готовых книг и стопы листов, который называют коэффициентом спрессованности K_c . Коэффициент спрессованности — это величина, измеряемая отношением суммарной толщины листов стопы, тетрадей или книжного блока, освобожденной от действия внешней силы [2]:

$$K_c = \frac{\sum d}{H_c} = \frac{\sum d}{T_6} = \frac{dC_T n}{2H_c} = \frac{C_T p_s n \cdot 10^{-3}}{2H_c p_v}, \quad (1)$$

где d — толщина одного листа бумаги, мм; H_c — высота стопы, мм; T_6 — толщина блока с прямым корешком, мм; C_T — число страниц в тетради; n — число тетрадей в стопе или в книжном блоке; p_s — поверхностная плотность бумаги, г/м²; p_v — плотность бумаги, г/м³.

С увеличением давления и времени прессования коэффициент спрессованности стопы тетрадей возрастает. Очень подробно описана картина деформирования стопы листов в работе Семеновского А. А. [3], где разработана следующая качественная модель деформирования стопы листов.

Частицы листов, имеющие большую жесткость, соединены между собой упруго-вязкими связями, обладающими незначительной жесткостью и препятствующими сближению частиц. При давлениях, меньших критического, в контакт друг с другом вступает малая часть всех частиц соседних листов, и поэтому деформируются практически только связи. По достижении критического давления связи более не деформируются, так как у листов исчерпана возможность принять более плоскую форму. К этому моменту уже большее число частиц находится в контакте друг с другом. При дальнейшем увеличении давления практически все оно воспринимается деформирующимися частицами. Таким образом, при давлениях, меньших критического, поведение объекта определяют свойства связей, а при давлениях, больших критического, — свойства

частиц. Две структуры стопы листов названы соответственно неплотной и плотной. Фальцы в стопе тетрадей, в блоке и в книге причислены к неплотной структуре, так как наличие фальцев препятствует контакту листов по всем выступающим частям их поверхности, т. е. дает эффект, подобный эффекту неплоскостности листов.

Коэффициент спрессованности стопы ненагруженных листов и тетрадей значительно меньше единицы ($K_c < 1,0$) из-за утолщений в фальцах, воздушных прослоек между листами, шероховатой и волнообразной поверхности листов, соприкасающихся лишь в отдельных точках. По мере нагружения стопы поверхность листов распрямляется, становится более плоской, воздух из пространства между листами постепенно вытесняется, внутренние напряжения возрастают, высота стопы H_c уменьшается, а коэффициент спрессованности стопы увеличивается [4].

Высота стопы несфальцованных листов всегда меньше высоты стопы тетрадей при малых давлениях, но при так называемом критическом давлении $p_{кр}$ высота стопы тетрадей становится равной высоте стопы листов и суммарной их толщине, измеряемой при таком же давлении.

При давлении ниже критического неплотная структура листов и тетрадей характеризуется изгибокрутильными деформациями.

При критическом и большем давлении листы и тетради имеют плотную структуру, которая характеризуется деформацией сжатия. Для получения заметных остаточных деформаций и увеличения коэффициента спрессованности плотной структуры требуются значительные давления. Величина критического давления зависит от композиции, объемной массы и вида отделки бумаги и колеблется в пределах от 150 до 200 кПа.

В процессе обжима тетрадей, уложенных корешками и головками в одну сторону между двумя плоскопараллельными плитами, наибольшее напряжение возникает в местах утолщения фальцев, благодаря чему в них быстрее протекают релаксационные процессы и образуется плотно обжатый и устойчивый сгиб. По мере возрастания давления прессования контакт между листами становится более плотным, выступы поверхности внедряются во впадины, толщина листов постепенно уменьшается вследствие уплотнения структуры бумаги и вытеснения воздуха, находящегося во впадинах поверхности и во всем объеме бумаги. Объем воздуха в печатных бумагах зависит от их вида, композиции, способа отделки, зольности и колеблется в пределах от 60% у газетных бумаг до 30% у мелованных [4].

Благодаря упругим свойствам бумаги относительное уменьшение толщины листов по сравнению с уменьшением высоты стопы незначительно и становится заметным при очень больших давлениях (около 25 МПа), при которых толщина лис-

тов после снятия нагрузки уменьшается всего на 2,5–5,9%, тогда как высота стопы — на 31–44%.

Давление 25 МПа следует считать предельно допустимым для запечатанной бумаги, так как при большем давлении поверхностные волокна бумаги начинают внедряться в пространство между волокнами соседних листов, поэтому листы слипаются, снижается гладкость бумаги. При давлении, равном критическому, коэффициент спрессованности стопы достигает значения $K_c = 1,0$, а при большем давлении $K_c > 1,0$, достигая значений 1,10–1,20 при предельно допустимом давлении [2].

Коэффициент спрессованности был достаточно подробно изучен для прессования сфальцованных тетрадей. Получены данные величины давления, рекомендуемые для проведения операции прессования.

Важным фактором, определяющим прочность клеевого бесшвейного скрепления, является проникание клея между отдельными листами блока. При определенном сжатии корешка блока клей проникает между листами, и они склеиваются на определенную глубину. Однако если блок будет спрессован недостаточно, то клей проникнет на слишком большое расстояние в глубь корешка блока и книга будет плохо раскрываться при чтении. Важно найти то оптимальное давление, которое позволило бы при правильно выбранных режимах прессования обеспечивать прочное скрепление каждого листа книги.

Многочисленные исследования, проведенные с целью изучения изменения высоты стопы тетрадей при прессовании, позволили сделать вывод, что основными факторами, влияющими на конечный результат прессования, являются: величина приложенного давления, время его действия, скорость увеличения давления, свойства и состояние бумаги — ее пластичность, влажность, температура.

В связи с этим были проведены следующие эксперименты. На прессующем устройстве между двух пластинок зажималась стопа листов бумаги. Затем при постепенном увеличении давления прессования стопа бумаги сжималась, вследствие чего ее высота уменьшалась до определенного значения. Для проведения испытаний взяты три вида бумаг: офсетные с поверхностной плотностью 60 г/м² и 120 г/м² и картон 250 г/м². Образцы были нарезаны форматом 10×10 см, высота стопы ≈ 30 мм. При приложении к стопе бумаги постоянного давления высота ее сначала резко падает, а затем скорость уменьшения высоты стопы постепенно снижается, приобретая постоянное значение.

По экспериментальным данным были построены аппроксимирующие функции для коэффициентов спрессованности K_c зажатого блока по (1) в зависимости от силы сжатия f для бумаги 60 г/м², 120 г/м² и картона 250 г/м² соответственно:

$$K_c(f) = 1,021 + 0,096f - 0,019f^2 + 2,257 \cdot 10^{-3} f^3;$$

$$K_c(f) = 1,026 + 0,085f - 0,015f^2 + 1,798 \cdot 10^{-3} f^3;$$

$$K_c(f) = 1,005 + 0,136f - 0,012f^2 + 5,694 \cdot 10^{-3} f^3.$$

Из рис. 1 видно, что построенная функция (сплошная линия) хорошо аппроксимирует экспериментальные данные (точки).

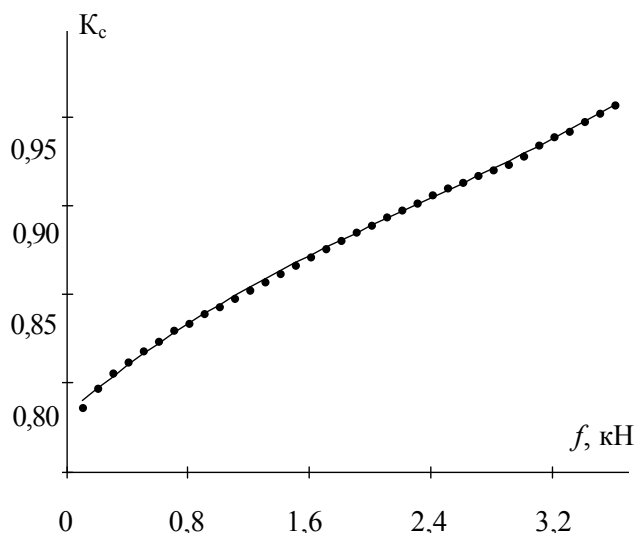


Рис. 1. Аппроксимация зависимости коэффициента спрессованности зажатого блока от силы сжатия для офсетной бумаги (60 г/м²):

••• экспериментальные данные;
— аппроксимирующая функция

Оптимальное давление определяется несколькими факторами: давление должно быть достаточно для удержания блока в зажимах машины клеевого бесшвейного скрепления для дальнейшего транспортирования в клеевую секцию. С другой стороны, не превышать величину, после которой произойдет существенное сжатие волокон бумаги и уменьшение площади склейки листов в блоке. Последний фактор напрямую связан с коэффициентом спрессованности K_c .

Повышение требований к качеству изготовления книг, развитие брошюровочно-переплетного оборудования, стремление к сокращению технологического цикла, появление новых материалов и технологических процессов — все это определяет возрастающий интерес к операциям прессования листов бумаги или тетрадей.

Большой круг проблем связан с исследованием и описанием структуры бумаги. До середины 80-х годов структуру бумаги пытались описывать в рамках евклидовой геометрии. В конце 80-х годов для описания надмолекулярной структуры (сетки) лигнина стали использовать теорию фракталов. Конечно, лигнин это только один из компонентов стенки клетки древесного волокна. Речь, в принципе, пока не шла о бумаге или о других материалах на основе древесины. Но эти работы создали преце-

дент использования новейших методов теоретической физики, и в частности теории неоднородных структур для исследования древесины [5].

Теория фракталов позволяет с единых позиций решить задачу описания всей иерархии структурных уровней в сложных материалах. Так, в работах М. И. Кулака в начале 90-х годов по данным о рассеянии гамма-излучения древесиной был прослежен фрактальный характер организации ее компонентов на пяти структурных уровнях. Эти работы послужили базой для применения методов теории фракталов к описанию структур бумаг.

Необходимость интенсификации технологических процессов полиграфического производства обуславливает актуальность построения теории структурно-механических свойств полиграфических материалов, и в частности бумаги.

Использование нового для полиграфической технологии математического аппарата — теории фракталов, потребовало разработки специальной методики экспериментального изучения поверхностных свойств бумаги. Необходимость выполнения таких измерений обусловлена тем, что разрабатываемое математическое описание не является замкнутым. Для выполнения расчетов нужно иметь параметры, характеризующие среду, в данном случае бумагу.

Представляет интерес построение математической модели, связывающей допустимый K_c с фрактальными характеристиками бумаг. В качестве комплексной характеристики поверхностных структур бумаги может выступать фрактальная размерность.

На рис. 2 представлены графики функции исследуемых материалов.

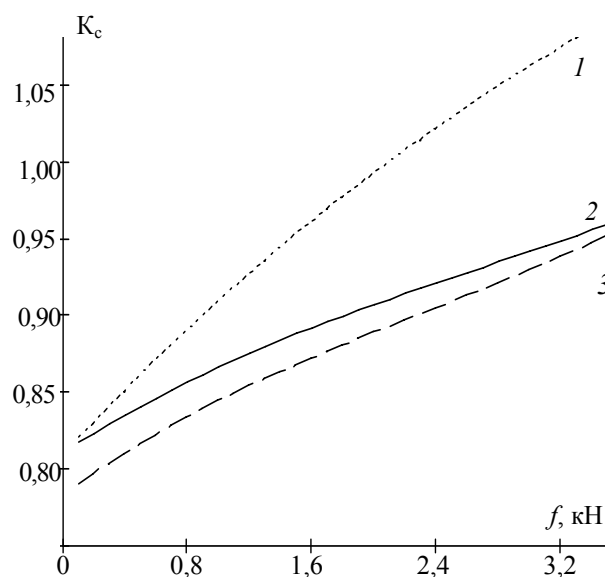


Рис. 2. Коэффициенты спрессованности в зависимости от силы сжатия: 1 — картон 250 г/м²; 2 — офсетная бумага 120 г/м²; 3 — офсетная бумага 60 г/м²

Положение графиков подтверждает, что даже для одного вида бумаги, но с разной плотностью K_c отличается. Как и предполагалось, значения K_c для картона и офсетной бумаги существенно различаются. А бумаги одного и того же вида имеют близкий, но все же не одинаковый коэффициент спрессованности. Из сравнения графиков K_c разных видов офсетной бумаги следует, что необходимо более подробно изучать фрактальные характеристики бумаг с разной массой 1 м^2 .

Проведенные испытания также показывают необходимость более глубокого изучения влияния нарастания нагрузки на результаты прессования с целью выбора более рационального режима прессования книжных блоков при КБС. Для механики неоднородных материалов наибольший интерес представляют стохастические фракталы.

Многие материалы имеют неупорядоченную структуру, однако нужно доказать, что они принадлежат к классу фракталов. Доказательства такого рода строятся на основе определения и анализа фрактальной размерности их структуры. Необходимо отметить, что определение фрактальной размерности структур, особенно в реальных материалах, представляет собой самостоятельную и довольно непростую задачу. Вместе с тем ее решение позволяет подобрать ключ к применению методов теории фракталов в конкретной научной области.

Однако при возросшем интересе к КБС прессование блоков из различных бумаг перед заклейкой корешка изучено недостаточно. Каждый новый вид бумаги требует новых исследований. Для определенного вида бумаги существует конкретное критическое давление при прессовании, поэтому необходимо более широко изучать ее поверхностные свойства.

Фрактальная размерность структуры бумаги — это новый параметр. Значения фрактальной размерности структуры некоторых видов бумаги определены в [6]. При этом для бумаги с одинаковой поверхностной плотностью, но разных производителей фрактальная размерность заметно различается. Например, для бумаги 150 г/м^2 — от 2,15 до 2,55. Этот параметр способен однозначно характеризовать различные виды бумаг, он чувствителен ко многим параметрам и режимам технологии изготовления бумаги и их проявлениям через ее структуру.

Однако основная ценность установленного структурного параметра состоит в том, что он имеет очень богатое физическое содержание. В результате удастся построить физическую теорию для расчета многих локальных свойств бумаги. В статье [6] приведены результаты расчета распределения упругопрочностных характеристик и пористости по толщине бумажного листа. Все расчеты базируются только на одном

единственном структурном параметре, и для их проведения используются методы механики материалов.

Разработанная методика исследования микрогеометрии поверхностных структур бумаги подтвердила фрактальный характер микроструктуры бумаги и установила для различных ее сортов количественное значение нового структурного параметра — фрактальной топологической размерности. Многие материалы имеют неупорядоченную структуру, однако нужно доказать, что они таковы. В рамках построенного самосогласованного фрактального подхода рассматривались полученные распределения модулей упругости, методы расчета распределения прочностных свойств по толщине бумажного листа.

Вывод. Имеющиеся теоретические и экспериментальные исследования процессов прессования не охватывают всего круга вопросов, представляющих интерес для брошюровочно-переплетного производства. Современные технологические процессы требуют более подробного изучения параметров деформирования листов бумаги в процессе прессования.

Из сравнения графиков K_c разных видов офсетных бумаг можно сказать, что необходимо более подробно изучать фрактальные характеристики бумаг с разной массой 1 м^2 .

Фракталы и фрактальные материалы, к числу которых относится бумага, имеют не только необычную форму, но и интересные свойства, некоторые из них могут быть полезными при исследовании проявлений структурной неоднородности бумаги и картона в процессе прессования книжных полуфабрикатов и книг.

Литература

1. Валенски, В. Бумага + печать / В. Валенски. — М.: Дубль В, 1996. — 328 с.
2. Воробьев, Д. В. Технология послепечатных процессов / Д. В. Воробьев. — М.: МГУП, 2000. — 394 с.
3. Филиппов, В. Новые результаты исследований прессования книг и книжных полуфабрикатов / В. Филиппов, А. Семеновский // Полиграфия. — 1975. — № 3. — С. 25–29.
4. Воробьев, Д. В. Технология брошюровочно-переплетных процессов: учебник / Д. В. Воробьев, И. А. Дубасов, Ю. М. Лебедев. — М.: Книга, 1989. — 392 с.
5. Семеновский, А. А. Исследование механики процессов прессования книжных полуфабрикатов и книг: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Семеновский; Моск. гос. полиграф. ин-т. — М., 1977. — 25 с.
6. Кулак, М. Что мы знаем о бумаге: фрактальная парадигма / М. Кулак, И. Пиотух, О. Боброва // Технологии переработки и упаковки. — 2000. — № 3(5). — С. 26–27.

Поступила 28.06.2010