

УДК 676.026.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛЮТИНГА

Е.В. Дернова, канд. техн. наук, доц.

В.В. Гораздова, асп.

А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: v.gorazdova@narfu.ru; a.guriev@narfu.ru; e.demova@narfu.ru

Известно, что комплекс потребительских свойств бумаги и картона в производственных условиях формируется под влиянием параметров работы трех основных частей бумаго- или картоноделательных машин: формующей, прессовой и сушильной. При этом лабораторное моделирование образцов бумаги или картона, например в целях оптимизации композиционного состава и свойств, зачастую ограничено набором возможных влияющих параметров. В частности, это относится к моделированию процесса прессования, поскольку в отличие от формования и сушки образцов требует специализированного оборудования, которое позволяло бы надежно регулировать и поддерживать требуемое давление. Одним из вариантов такого оборудования является лабораторный пресс ТЕСНРАР 2011-004, который позволяет проводить обработку модельных образцов бумаги или картона массой 20...600 г/м² при изменении усилия прижима (линейного давления прессования) от 2 до 6 кг/см, а также выполнять многократное прессование не только при фиксированной, но и изменяемой нагрузке. В данной работе представлены результаты лабораторного моделирования воздействия давления прессования в различных условиях и проанализировано влияние данного фактора на разные группы свойств флютинга. В качестве объектов исследования приняты лабораторные изотропные образцы флютинга из традиционных первичных полуфабрикатов (хвойная целлюлоза высокого выхода и листовая нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза) и макулатуры различного качества. Следует отметить, что в экспериментах направленно использовались стандартные лабораторные отливки. Это позволило исключить влияние анизотропии на формирование структуры и свойств образцов. Обработку влажных образцов флютинга проводили при одно- и многократном прохождении отливок через пресс. Результаты изменения сухости образцов флютинга при использовании лабораторного пресса показали хорошую степень приближения к реальным условиям прессования на бумагоделательной машине. Диапазон изменения сухости полотна в лабораторных условиях составил от 17 до 42 %, следовательно, используемое давление прессования можно сопоставлять со значениями, характерными для современных прессовых частей машины. При этом отмечены принципиальные отличия воздействия условий прессования на формирование физико-механических характеристик флютинга из первичных и вторичных волокон. Показано, что использование параметров прессования при выработке флютинга из макулатуры требует учитывать специфику

Для цитирования: Дернова Е.В., Гораздова В.В., Гурьев А.В. Влияние условий прессования на формирование структуры и физико-механических свойств флютинга // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 177–188. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

вторичных волокон, прошедших многократную переработку и характеризующихся ороговением клеточной стенки волокон и повышенной хрупкостью.

Ключевые слова: флютинг, прессование, первичное волокно, вторичное волокно, макулатура.

Введение

Основное назначение прессовой части состоит в обезвоживании бумажного полотна, обеспечении определенных качественных показателей вырабатываемой продукции и надежности работы бумагоделательной машины (БДМ). В ходе прессования увеличиваются сухость и плотность бумажного полотна, уменьшаются пористость и впитывающая способность, увеличиваются сопротивления разрыву, продавливанию, излому и т.п. Прессование играет важную роль при выработке многослойных видов бумаги и картона. От эффективности работы прессовой части зависят затраты на сушку бумаги и производительность БДМ. В целях сокращения расхода пара на сушку после прессовой части стремятся получить максимально возможную сухость полотна.

В производственной практике используют три направления интенсификации процесса прессования: применение прессов с удлиненной зоной прессования, прессование при повышенной температуре и прессовую сушку [3, 4, 7].

Цель данной работы – проанализировать влияние параметров прессования на структурные и физико-механические характеристики лабораторных образцов флютинга.

Методы исследования

В качестве объектов исследования использовали лабораторные изотропные образцы флютинга из первичных полуфабрикатов (хвойной целлюлозы высокого выхода (ЦВВ) и лиственной нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ)) и макулатуры различного качества. Выбор указанных объектов исследования был обусловлен следующими причинами:

флютинг имеет достаточно высокую массу 1 м^2 (112 г/м^2), что гарантировало использование давления прессования в широком диапазоне без критического нарушения целостности структуры;

данный вид продукции отличается широким спектром физико-механических характеристик и требований к технологичности последующей переработки;

для производства флютинга используются разнообразные первичные и вторичные полуфабрикаты в различных сочетаниях [1, 6, 8].

В процессе эксперимента были изготовлены и в дальнейшем испытаны следующие варианты лабораторных образцов флютинга:

а) традиционная композиция из первичных волокон, состоящая из 80 % НСПЦ (при степени помола 20°ШР) и 20 % ЦВВ (при степени помола 18°ШР);

б) аналогичная композиция из первичных волокон, но имеющая более высокую степень помола НСПЦ (28°ШР);

в) композиция из 100 % промышленной макулатуры ОСС при степени помола 35°ШР ;

г) композиция из 100 % низкосортной бытовой смешанной макулатуры при степени помола 35°ШР .

Указанные значения степени помола принимали, исходя из производственных условий различных предприятий-изготовителей флютинга.

Влажные образцы флютинга обрабатывали при нескольких вариантах изменения условий прессования:

I – однократное прохождение образца через пресс при линейном давлении прессования 2,0; 3,5 и 5,0 кг/см;

II – трехкратное прохождение образца через пресс при линейном давлении прессования 3,5 кг/см;

III – трехкратное прохождение образца через пресс при последовательном увеличении линейного давления прессования: 2,0–3,5–5,0 кг/см.

Результаты исследования и их обсуждение

Структура бумаги под воздействием прессования подвергается уплотнению, снижается ее пористость, также происходит выравнивание поверхности [2, 10]. Другим важнейшим результатом является повышение сухости материала перед последующей сушкой. Указанные процессы в выполненных экспериментах можно оценить количественно, анализируя данные об изменении отдельных характеристик, представленных в таблице.

Влияние линейного давления при прессовании на характеристики структуры флютинга

Давление, кг/см	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Пористость, мл/с	Шероховатость, мл/с	Воздухопроницаемость, с
<i>ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР</i>					
2,0	195	0,578	5100	3790	3,2
3,5	184	0,626	5050	4010	3,9
5,0	179	0,795	4150	3820	6,2
3×3,5	171	0,650	2030	3530	7,9
2,0–3,5–5,0	156	0,699	920	3760	15,5
<i>ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР</i>					
2,0	148	0,668	1430	3170	10,1
3,5	154	0,684	640	3270	22,0
5,0	147	0,723	470	3470	30,6
3×3,5	143	0,727	350	3590	38,7
2,0–3,5–5,0	145	0,733	360	3710	43,2
<i>Макулатура промышленная ОСС 35 °ШР</i>					
2,0	145	0,725	220	4100	56,0
3,5	139	0,727	200	4120	61,0
5,0	130	0,752	200	4170	59,0
3×3,5	132	0,732	200	4000	62,0
2,0–3,5–5,0	129	0,790	180	4050	69,0
<i>Макулатура бытовая 35 °ШР</i>					
2,0	151	0,572	1080	4010	17,0
3,5	153	0,569	760	4520	24,5
5,0	150	0,655	450	3950	30,7
3×3,5	152	0,553	430	3810	30,4
2,0–3,5–5,0	129	0,630	350	4080	43,0

Образцы первичного флютинга с использованием в композиции НСПЦ, размолотой до 28 °ШР, и образцы вторичного флютинга из промышленной макулатуры ОСС показали быстрый прирост сухости при минимальном давлении (2,0 кг/см) и дальнейшее интенсивное ее повышение при увеличении общего воздействия пресса. Динамичное повышение сухости указанных образцов является следствием повышенной способности флютинга из размолотой полуцеллюлозы и высококачественной промышленной макулатуры к уплотнению во влажном состоянии.

Образцы, изготовленные из слабо размолотой полуцеллюлозы, а также из низкокачественной бытовой смешанной макулатуры, в процессе лабораторного прессования проявляют низкую способность к уплотнению во влажном состоянии. Вследствие этого волокнистая структура таких образцов при сжатии в момент прессования медленно насыщается водой, которая также медленно удаляется при дальнейшем прессовании.

Анализ экспериментальных данных позволил установить следующее: плотность и толщина всех видов образцов в результате лабораторного прессования изменяются закономерно;

абсолютные значения пористости лабораторных образцов флютинга из первичных полуфабрикатов в целом выше, чем макулатурного, что является следствием присутствия в макулатурной массе большого количества мелких фракций волокон;

пористость образцов из первичных волокон сильно размолотой НСПЦ в 3,0–3,5 раза ниже, чем у соответствующих по условиям прессования образцов из слабо размолотой полуцеллюлозы, что обусловлено лучшей сомкнутостью структуры, формируемой из разработанных волокон;

прессование в лабораторных условиях оказывает незначительное влияние на шероховатость поверхности флютинга вне зависимости от его композиции. Значения данного показателя варьируются в диапазоне от 3100 до 4100 мл/с. Это связано, во-первых, с использованием в качестве «одежды» листов фильтровальной бумаги, а во-вторых, нивелированием свойств поверхности в ходе последующей сушки образцов;

изменение воздухопроницаемости по Герлею в целом обратно пропорционально данным, полученным для пористости по Бендтсену. Для образцов первичного флютинга данный показатель изменяется более чем в 10 раз, для вторичного – в 2–4 раза. Это свидетельствует о большей чувствительности данного метода испытаний по сравнению с определением пористости.

Процессы, происходящие при прессовании бумаги (повышение сомкнутости структуры, снижение толщины), могут сопровождаться сжатием самих волокон [5, 9]. Таким образом, использование чрезмерного давления прессования может отрицательно сказываться на характеристиках, отражающих сопротивление сжатию структуры флютинга.

Данные об изменении стандартных характеристик качества флютинга (в относительных единицах) в условиях лабораторного прессования представ-

лены на рис. 1, 2. За 100 % приняты значения характеристик, полученные при давлении прессования 2,0 кг/см применительно к традиционной композиции первичного флютинга (при степени помола НСПЦ 20 °ШР) и вторичному флютингу из макулатуры ОСС.

Прежде всего, следует отметить различный характер степени влияния условий прессования на образцы флютинга из первичных волокон.

Однократное прохождение прессового зазора в исследованном диапазоне изменения давления вызывает пропорциональный рост сопротивления продавливанию (П) примерно на 20 %. Переход к многократному прессованию обеспечивает дальнейший прирост П образцов флютинга из размолотой НСПЦ, но практически не влияет на прочность флютинга стандартной композиции со степенью помола НСПЦ 20 °ШР.

Характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга с использованием в композиции размолотой НСПЦ при увеличении давления однократного прессования последовательно возрастают на 10...15 %. У образцов стандартной композиции в тех же условиях прессования сопротивление сжатию по методу SCT и сопротивление торцевому сжатию (ССТ) практически не меняются, сопротивление плоскостному сжатию (СМТ) снижается на 18 %.

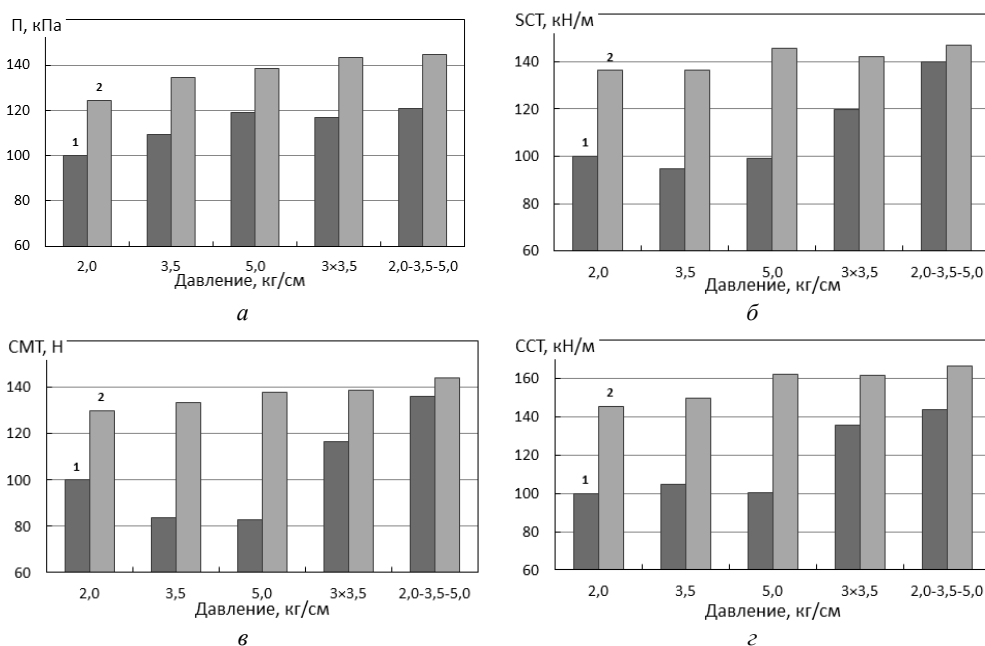


Рис. 1. Влияние давления прессования на стандартные физико-механические характеристики флютинга из первичных полуфабрикатов: а – сопротивление продавливанию (П); б – сопротивление сжатию по методу SCT; в – сопротивление плоскостному сжатию (СМТ); г – сопротивление торцевому сжатию (ССТ); 1 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР; 2 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР

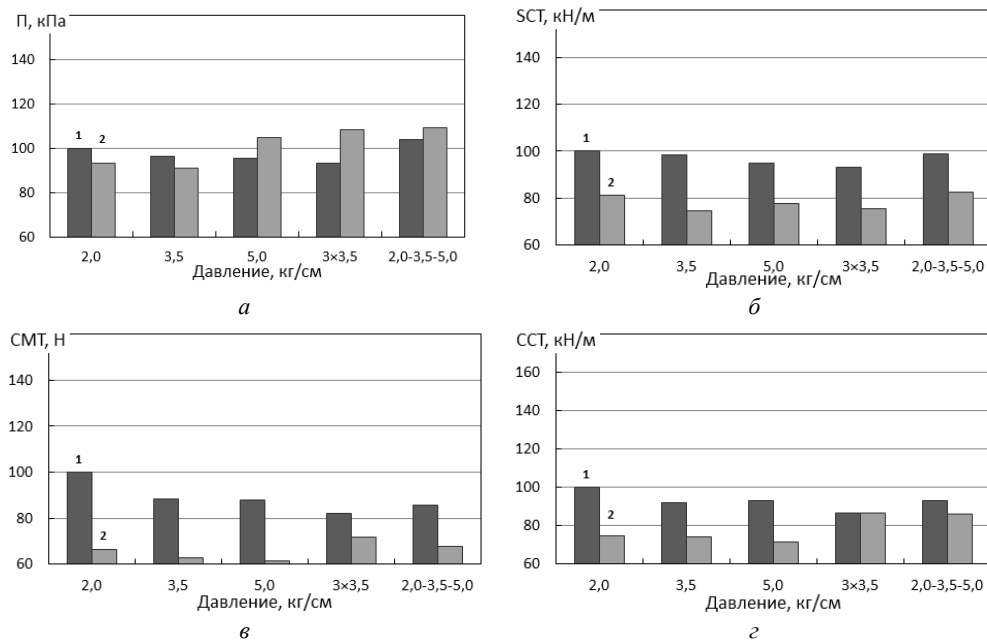


Рис. 2. Влияние давления прессования на стандартные физико-механические характеристики флютинга из вторичных полуфабрикатов: 1 – макулатура промышленная ОСС (35 °ШР); 2 – макулатура бытовая (35 °ШР) (обозначения а – г приведены на рис. 1)

Использование многократного прессования образцов первичного флютинга стандартной композиции положительно сказывается на всех характеристиках сопротивления сжатию, но не влияет на значение Π . В частности, использование многократного прессования с последовательным повышением давления от 2,0 до 5,0 кг/см увеличивает СМТ, SCT и ССТ на 38...42 % по сравнению с исходным уровнем для давления 2,0 кг/см.

Таким образом, последовательное уплотнение структуры лабораторных образцов флютинга из слабо размолотых волокон предотвращает нарушение их целостности и несущей способности, что положительно сказывается на сопротивлении сжатию.

Влияние условий лабораторного прессования на уровень стандартных физико-механических характеристик макулатурного флютинга существенно отличается от результатов, полученных для первичных материалов.

Во-первых, прочность лабораторных образцов, характеризуемая сопротивлением продавливанию, имеет слабый отклик на повышение давления при однократном прессовании вне зависимости от используемой макулатуры. Многократное прохождение образцов через прессовый зазор позволяет для низкосортной макулатуры увеличить значение Π на 15...17 %, для макулатуры ОСС – лишь на 4 %.

Во-вторых, все характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга из макулатуры ОСС снижаются под воздействием лабораторного прессования. Исключение составляет SCT, достигаемый при многократном прессовании

с повышением давления, который соответствует исходному значению при минимальном давлении. Наибольшее отрицательное влияние проявилось на сопротивлении плоскостному сжатию, которое снижается менее чем на 18 %.

В-третьих, характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга из низкосортной бытовой макулатуры изначально имеют существенно более низкий уровень, который понижается с увеличением давления при однократном прессовании. Использование многократного прессования позволяет повысить уровень лишь ССТ и SCT.

Использование в экспериментах дополнительных характеристик, отражающих поведение структуры флютинга при одноосном растяжении (рис. 3, 4), обусловлено необходимостью косвенной оценки способности данного материала к переработке. При изготовлении гофрированного картона на современных линиях флютинг подвергается значительным растягивающим нагрузкам при подаче и прохождении гофропресса. Недостаточные растяжимость и устойчивость к образованию трещин могут служить причиной снижения производительности гофроагрегатов даже при высоком уровне стандартных характеристик качества.

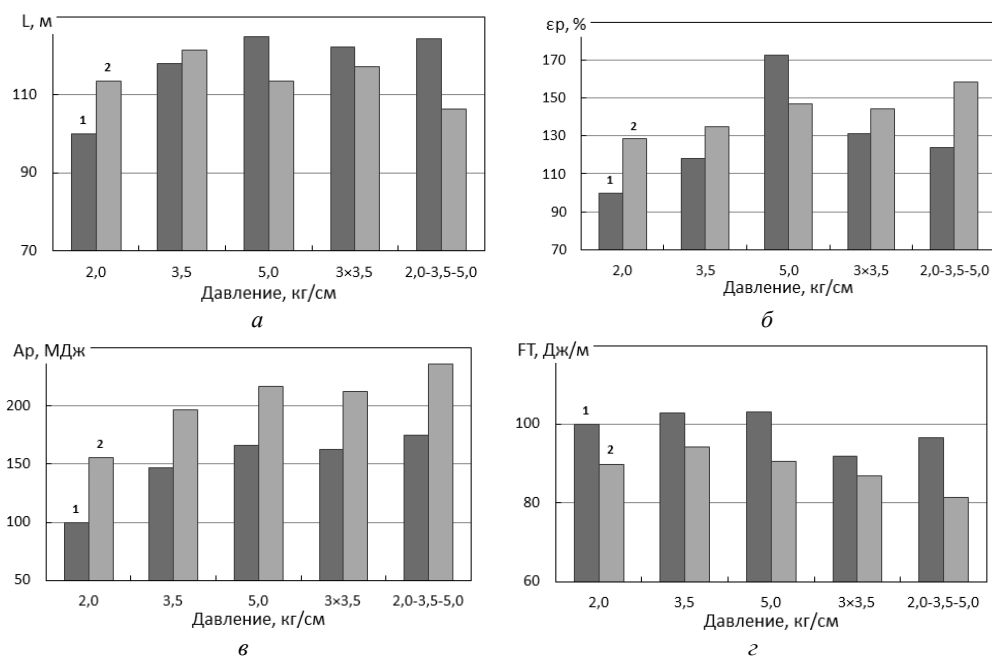


Рис. 3. Влияние давления прессования на характеристики прочности и деформативности первичного флютинга: а – разрывная длина (L); б – деформация разрушения (ϵ_p); в – работа разрушения (A_p); г – трещиностойкость (FT); 1 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР; 2 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР

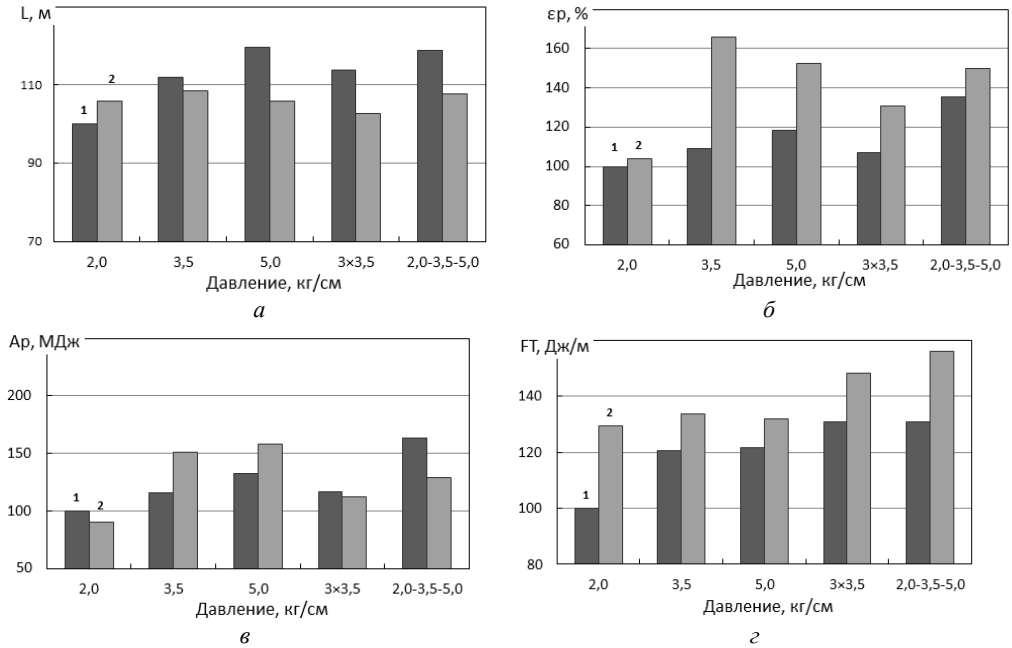


Рис. 4. Влияние давления прессования на характеристики прочности и деформативности макулатурного флютинга: 1 – макулатура промышленная ОСС (35 °ШР); 2 – макулатура бытовая (35 °ШР) (обозначения а – г приведены на рис. 3)

Установлено, что характеристики прочности (L – разрывная длина; A_p – работа разрушения) при растяжении первичного флютинга в условиях лабораторного прессования в целом изменяются аналогично сопротивлению продавливанию. Наиболее оптимальным условием, обеспечивающим прирост разрывной длины вне зависимости от степени разработки волокон НСПЦ, является последовательное повышение давления при многократном прессовании. При этом прочность образцов флютинга с использованием слабо размолотой полуцеллюлозы возрастает более чем на 50 %, флютинга с использованием НСПЦ при степени помола 28 °ШР – на 15 %.

Изменение в тех же условиях лабораторного эксперимента деформации разрушения ϵ_p существенно отличается. Для образцов с использованием слабо размолотой НСПЦ прирост ϵ_p на 70 % и более обеспечивается при однократном прессовании с линейным давлением 5,0 кг/см. Применение двух вариантов многократного прессования приводит к приросту деформации разрушения на 25...30 %. Таким образом, можно отметить более широкую технологическую возможность для повышения и регулирования деформативности флютинга.

Работа разрушения A_p образцов первичного флютинга, как комплексная характеристика деформативности и прочности, закономерно повышается при увеличении давления однократного прессования и многократном прохождении через пресс. Совокупный прирост A_p достигает 75...80 %.

В то же время изменение трещиностойкости (FT) в данных условиях прессования для первичного флютинга выражено слабо. Отмеченное поведение характеристик деформативности и прочности образцов первичного флютинга при повышении давления прессования является закономерным, поскольку они в основном формируются за счет усиления межволоконных контактов.

Вместе с тем, следует отметить меньшее по отношению к первичному флютингу изменение прочности структуры макулатурных образцов. В частности, разрывная длина образцов из промышленной макулатуры ОСС возрастает на 25...30 %, из низкосортной макулатуры – на 10...12 %.

Волокна макулатурной массы имеют определенную степень ороговения и хрупкости клеточной стенки. Вследствие этого образцы флютинга из макулатуры ОСС, отличающиеся более равномерным составом, с повышением давления прессования имеют меньший прирост деформации разрушения в исследованном диапазоне изменения давления прессования (по сравнению с первичным флютингом). Максимальный прирост составил 35 %.

Флютинг из низкосортной бытовой макулатуры, напротив, отличается разнородностью состава волокон, в том числе за счет большего количества мелких фракций. Это способствует возникновению большого числа контактов при формировании структуры в связи с усилением прессования. При однократном прохождении через пресс прирост деформации при растяжении составляет 50...70 %, при многократном – 30...50 %. Прирост трещиностойкости образцов макулатурного флютинга при изменении условий прессования достигает 30 %.

Заключение

В целом экспериментальные данные об изменении сухости в лабораторных условиях показали хорошую степень приближения к реальным условиям прессования на БДМ. Диапазон изменения сухости полотна в лабораторных условиях составил от 17 до 42 %, следовательно, используемое давление прессования можно сопоставлять со значениями, характерными для современных прессовых частей БДМ.

Полученные результаты продемонстрировали принципиальное отличие воздействия условий прессования на формирование физико-механических характеристик флютинга из первичных и вторичных волокон и показали, что подбор параметров прессования при выработке флютинга из макулатуры требует учета специфики вторичных волокон, прошедших многократную переработку и характеризующихся ороговением клеточной стенки волокон и повышением их хрупкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриева М.Н., Дьякова Е.В., Дулькин Д.А.* Повышение технологичности переработки макулатурного флютинга при введении в композицию первичного волокна // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. № 9. С. 58–62.
2. *Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Спиридонов В.А.* Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 109 с.
3. *Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А.* Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона / Под ред. В.И. Комарова. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 176 с.
4. *Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И.* Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 1118 с.
5. *Дулькин Д.А., Южанинова Л.А., Миронова В.Г., Спиридонов В.А.* Научные основы переработки макулатуры // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 104–122. (Изв. высш учеб. заведений).
6. *Зеленова С.В., Казаков Я.В.* Определение структурно-размерных характеристик целлюлозных волокон в бумажном листе // Материалы докл. 15-й Коми республик. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2004. Т. 1. С. 74–76.
7. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
8. *Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н.* Макулатура в технологии картона. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 252 с.
9. *Heitmann J.A.* Pulp Properties in Pulp and Paper Manufacture // TAPPI J. 1992. N 9. P. 85–96.
10. *Karlsson H.* Fibre Guide – Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. Sweden, Kista, 2006. 102 p.

Поступила 15.02.16

УДК 676.026.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

The Effect of Pressing on the Structure Formation and Physical and Mechanical Properties of Fluting

E.V. Dernova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

V.V. Gorazdova, Postgraduate Student

A.V. Gur'ev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002; e-mail: v.gorazdova@narfu.ru; a.guriev@narfu.ru; e.demova@narfu.ru

A complex of consumer properties of paper and cardboard in the production environment is influenced by the working conditions of three basic parts of paperboard machines: forming, pressing and drying. A laboratory simulation of paper or cardboard samples, for example, in order to optimize the composition and properties, is often limited by a set of possible influencing parameters. It refers to the simulation of the pressing process, as this process unlike the samples forming and drying processes, requires specialized equipment to adjust and maintain the desired pressure. As a variant of this equipment is a laboratory press TECHPAP 2011-004, which allows processing samples of paper or paperboard weighing of 20...600 g/m² when changing clamping force (the line pressing pressure) from 2 to 6 kg/cm, and perform a multiple pressing at a fixed or variable load. This paper presents the results of laboratory simulation of the pressing pressure impact in different conditions and the analysis of the effect of this factor on the properties of fluting. The laboratory fluting isotropic samples of the traditional primary semi-finished products (softwood high-yield pulp and neutral sulfite semichemical pulp) and waste paper of various qualities are accepted as the objects of the research. The standard lab sheets are used in the experiments. This allows us to eliminate the influence of the anisotropy on the formation of the samples structure and properties. The treatment of wet fluting samples is carried out at one and multiple passes of lab sheets through the press. The results of dryness measuring of the fluting samples with the use of a laboratory press have shown a good degree of approximation to the real conditions of a paper-making machine pressing. The range of variation of the paper web dryness in the laboratory conditions is from 17 to 42 %, therefore, the used compacting pressure can be compared with the values typical for the modern pressing parts of a machine. The fundamental differences of the impact of pressing conditions on the formation of the physical and mechanical fluting characteristics of primary and secondary fibers are installed. The use of pressing parameters in the fluting processing from waste paper requires taking into account the specifics of secondary fibers that have passed multiple processing and are characterized by the hornification of cell walls and increased fragility.

Keywords: fluting, pressing, primary fiber, secondary fiber, waste paper.

For citation: Dernova E.V., Gorazdova V.V., Gur'ev A.V. The Effect of Pressing on the Structure Formation and Physical and Mechanical Properties of Fluting. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 177–188. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

REFERENCES

1. Dmitrieva M.N., D'yakova E.V., Dul'kin D.A. Povyshenie tekhnologichnosti pererabotki makulturnogo flyutinga pri vvedenii v kompozitsiyu pervichnogo volokna [The Improvement of Processability of Waste Fluting at Primary Fiber Inclusion in the Composition]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2012, no. 9, pp. 58–62.
2. Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Spiridonov V.A. *Mirovye tendentsii v razvitiu tekhniki i tekhnologii pererabotki makulturnykh volokon* [Global Trends in the Development of Equipment and Technology of the Wastepaper Processing]. Arkhangel'sk, 2002. 109 p.
3. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I., Blinova L.A. *Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyanie na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bumagi i kartona* [The Properties of Cellulosic Fibers and Their Influence on Physical and Mechanical Properties of Paper and Paperboard]. Arkhangel'sk, 2011. 176 p.
4. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya vtorichnogo volokna iz makulturnykh volokon v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi* [Current Status and Prospects of Using of Recycled Fibre in the World and Native Paper Industry]. Arkhangel'sk, 2007. 1118 p.
5. Dul'kin D.A., Yuzhaninova L.A., Mironova V.G., Spiridonov V.A. Nauchnye osnovy pererabotki makulturnykh volokon [Scientific Basis of Waste Paper Treatment]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 1–2, pp. 104–122.
6. Zelenova S.V., Kazakov Ya.V. Opredelenie strukturno-razmernykh kharakteristik tsellyuloznykh volokon v bumazhnom liste [Determination of Structural and Dimensional Characteristics of Cellulose Fibers in a Paper Sheet]. *Materialy dokl. 15-y Komi respublik. molodezh. nauch. konf.* [Proc. of the 15th Komi Republican Youth Sci. Conf.]. Syktyvkar, 2004, vol. 1, pp. 74–76.
7. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 t. T. II. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch.1. Tekhnologiya proizvodstva i obrabotki bumagi i kartona* [The Technology of Pulp and Paper Production. In 3 V. Vol. 2. Manufacture of Paper and Paperboard. Part 1. Technology of Production and Processing of Paper and Paperboard]. Saint Petersburg, 2005. 423 p.
8. Yablochkin N.I., Komarov V.I., Koverninskiy I.N. *Makulturnaya pererabotka v tekhnologii kartona* [Waste Paper in the Cardboard Technology]. Arkhangel'sk, 2004. 252 p.
9. Heitmann J.A. Pulp Properties in Pulp and Paper Manufacture. *TAPPI Journal*, 1992, no. 9, pp. 85–96.
10. Karlsson H. *Fibre Guide – Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. Sweden, Kista, 2006. 102 p.

Received on February 15, 2016