

## Влияние процесса размола макулатуры на физико-механические показатели бумаги

Макаренко А.А.<sup>1</sup>, Плосконос В.Г.<sup>2</sup>,  
Белозерова О.М.<sup>2</sup>, Евсеев М.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Институт бумаги», Киев

<sup>2</sup> Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

<sup>3</sup> ОАО «Украинский научно-исследовательский институт бумаги», Киев

Изучено влияние степени помола волокна на качественные показатели продукции, изготовленной с применением разных марок макулатуры в композиции. Исследовано влияние композиционного состава макулатурной массы, оснащения оборудованием технологической схемы, восстановление бумагообразующих свойств волокна, а также химических добавок в композиции на качественные показатели продукции. Показано, что процесс размола в технологической линии приготовления макулатурной массы дает основной прирост разработки волокна по степени помола, который зависит от марки макулатуры и положительно влияет на основные физико-механические показатели готовой продукции.

**Ключевые слова:** макулатура, размол, показатели бумаги, химические добавки.

Вивчено вплив ступеня млива волокна на якісні показники продукції, виготовленої із застосуванням різних марок макулатури у композиції. Досліджено вплив композиційного складу макулатурної маси, оснащення устаткуванням технологічної схеми, відновлення папероутворюючих властивостей волокна, а також хімічних добавок у композиції на якісні показники продукції. Показано, що процес розмелювання у технологічній лінії приготування макулатурної маси дає основний приріст розробки волокна за ступенем млива, що залежить від марки макулатури й позитивно впливає на основні фізико-механічні показники готової продукції.

**Ключові слова:** макулатура, розмелювання, показники паперу, хімічні добавки.

Макулатура в Украине традиционно является основным волокнистым сырьем в производстве картонно-бумажной продукции. Преимущественно она используется при изготовлении продукции тароупаковочного и санитарно-гигиенического назначения, объемы производства которой за последние пять лет выросли вдвое. В то же время значительно изменился композиционный состав макулатуры и в целом, и по отдельным ее маркам, что влияет на качество продукции, изготавливаемой из этой макулатуры, а также на эффективность работы технологического оборудования, используемого в процессе приготовления макулатурной массы, и в результате на себестоимость продукции и экономические показатели работы предприятия в целом. Процесс переработки вторичного волокнистого сырья, направленный на получение макулатурной массы, — это самостоятельное высокотехнологическое, перспективное направление развития целлюлозно-бумажной отрасли. Производство картонно-бумажной продукции с использованием вторичного волокна является ресурсосберегающей технологией, актуальной

сегодня и способствующей экономии сырьевых, водных и энергоресурсов.

Макулатура, которая используется для производства бумаги (картона) в Украине, а в целом и в мировой практике, как сырье имеет технологически неравноценные свойства. Они определяются составом макулатуры, ее бумагообразующими свойствами, количеством химических добавок, способностью к роспуску и другими характеристиками, которые отображаются в марках стандарта на макулатуру (ДСТУ 3500-97 (ГОСТ 10700-97)).

Одной из главных проблем использования макулатуры в качестве сырья для производства разных видов бумаги и картона является восстановление бумагообразующих свойств вторичных волокон для достижения нормативных показателей качества готовой продукции. Физико-механические показатели бумажного (картонного) полотна, изготовленного из макулатуры, значительно ниже, чем при использовании первичного целлюлозного волокна. Основными причинами, которые снижают качественные показатели вторичных волокон, являются их оро-

говение и разрушение капилляров волокон в процессе многократных циклов их обработки. Особое влияние имеют процессы сушки и естественного старения целлюлозных волокон, а также неблагоприятный фракционный состав макулатурной массы, который прежде всего зависит от технологии изготовления тех видов бумаги, которые вошли в состав макулатуры.

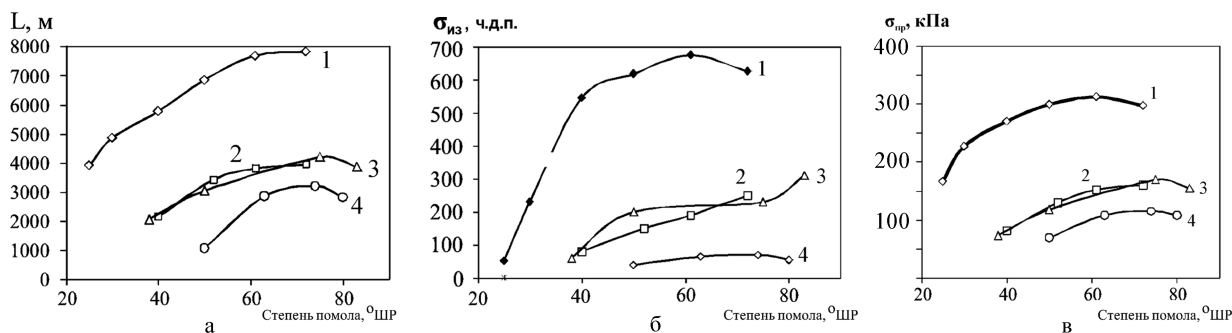
Основным видом макулатуры как вторичного сырья для производства тароупаковочных видов продукции являются отходы производства, переработки и использования гофрированного картона и гофротары. Сбор макулатуры в Украине ежегодно увеличивается (в 2008 г. составил 790 тыс. т), но ее использование для производства продукции усложняется. Это объясняется тем, что необходимые потребительские и эксплуатационные характеристики продукции из вторичного волокна могут быть обеспечены лишь при условии сохранения бумагообразующих свойств волокна, его прочности и деформационных показателей, которые ухудшаются при увеличении доли макулатуры в продукции и кратности использования макулатуры. В связи с этим первоочередное значение должно отводиться процессам очистки, сортирования, размола и фракционирования волокнистой массы.

Учитывая вышеизложенное, комплекс эксплуатационных характеристик бумаги (картона) из макулатурного волокна можно разделить на две условные группы, которые взаимосвязаны по механическим показателям готовой продукции и по бумагообразующим свойствам вторичного волокна. По этим характеристикам продукция должна отвечать эксплуатационным требованиям практического ее использования. Бумагообразующие свойства определяются видом волокна, стадиями приготовления волокнистой массы и физико-химическими процессами, происходящими в волокнистой суспензии и полотно бумаги во время его формования, обезвоживания, прессования и сушки на бумагоделательной машине.

Макулатура в Украине, согласно требованиям ДСТУ 3500-97 «Макулатура бумажная и картонная. Технические условия», делится на три группы. К первой из них относятся четыре марки, ко второй три марки и к третьей шесть марок макулатуры. Согласно европейскому стандарту EN 643, вторичное волокнистое сырье подразделяется на 56 видов, которые позволяют перерабатывающим предприятиям иметь большую свободу выбора макулатуры по ее физическим и потребительским свойствам. По состоянию на сегодняшний день сотрудниками ЗАО «Институт бумаги» разработана и представлена на утверждение в Госпотребстандарт Украины новая редакция стандарта, которая включает 23 марки макулатуры.

Предприятия целлюлозно-бумажной отрасли Украины для производства наиболее распространенного ассортимента тароупаковочных видов продукции используют большей частью макулатуру марок МС-4А, МС-5Б, МС-6Б, МС-13В. Для продукции, которая изготавливается из этих марок макулатуры, основными потребительскими характеристиками являются показатели механической прочности. Поэтому наиболее значимым этапом в технологической схеме приготовления волокнистой массы считается процесс размола волокнистого сырья, который происходит в водной среде.

Среди процессов приготовления волокнистой массы размол является очень важной операцией бумажного производства, от которой в значительной степени зависят свойства бумаги. Лист бумаги без размола имеет низкую прочность, неоднородную структуру. Волокна мало гидратированные, поэтому имеют слабую взаимосвязь между собой [1]. Во время размола волокна подвергаются гидравлическим ударам, взаимному трению, измельчению, фибрилляции, набуханию. Волокна разделяются на отдельные фибриллы разной длины, что способствует значительному повышению их активной поверхности. Согласно современной теории раз-



Зависимость разрывной длины бумаги (а), прочности на излом при многократных перегибах (б) и абсолютного сопротивления продавливанию бумаги (в) от степени помола макулатуры: 1 – МС-5Б; 2 – МС-13В; 3 – МС-7Б; 4 – МС-8В.

**Таблица 1. Физико-механические показатели образцов бумаги**

Вариант	Композиционный состав волокнистой массы, %	M, г	T, мм	$\delta_{из}$ , ч.д.п.	$\delta_{пр}$ , кПа	L, м
1	МС-5Б – 100	75,0	0,184	110	160	4350
2	МС-5Б – 50; МС-6Б – 50	74,1	0,185	106	163	3910
3	МС-3А – 50; МС-5Б – 50	75,0	0,182	145	174	4450
4	МС-3А – 50; МС-4А – 50	74,0	0,180	282	250	4700
5	МС-5Б – 50; МС-3А – 25; МС-4А – 25	74,5	0,184	168	188	4500
6	МС-7Б – 100	74,8	0,188	90	144	3450
7	МС-7Б – 50; МС-8В – 50	74,6	0,190	82	135	3200
8	МС-5Б – 40; МС-6Б – 30; МС-8В – 30	76,0	0,194	38	120	2560
9	МС-5Б – 30; МС-6Б – 30; МС-13В – 40	75,8	0,190	63	130	3700
10	МС-5Б – 20; МС-6Б – 20; МС-8В – 20; МС-13В – 40	76,2	0,212	23	113	2840
11	МС-4А – 80; МС-8В – 20	76,0	0,188	210	188	4340
12	МС-4А – 60; МС-8В – 40 (с промывкой)	74,5	0,185	273	214	4760

*Примечание.* М – масса образца бумаги площадью 1 м<sup>2</sup>; Т – толщина бумаги;  $\delta_{из}$  – сопротивление излому;  $\delta_{пр}$  – абсолютное сопротивление продавливанию; L – разрывная длина.

мола, при этом происходит высвобождение полярных гидроксильных групп, образующих водородные связи между волокнами в процессе изготовления бумажного полотна, которые непосредственно влияют на уровень механических показателей бумаги (картона).

Процессы размола первичных и вторичных волокон различаются между собой. Уровень механических показателей образцов размолотого вторичного волокна будет различаться в зависимости от его состава, то есть от марки макулатуры.

Цель настоящей работы – изучение влияния процесса размола на физико-механические показатели бумаги (картона) в зависимости от марок и композиции макулатуры.

Методика приготовления макулатурной массы каждой марки включала такие процессы: замачивание макулатуры в воде на протяжении 20 мин, роспуск в гидроразбивателе, размол на дисковой мельнице. В процессе размола проводился отбор проб массы через 5, 10 и 15 мин, которые анализировались по степени помола и средней длине волокна. Степень помола массы (в градусах Шоппер – Риглера (°ШР)) определялась на аппарате Шоппер – Риглера типа СР-2 согласно типовой методике. Из каждой пробы на лабораторном оборудовании изготавливали образцы бумаги по стадиям: разбавление массы, формование образца на сетке отливного аппарата, его прессование и сушка.

Изготовленные лабораторные образцы подвергались физико-механическим испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 7377-85 «Бумага для гофрирования». Результаты испытаний приведены на рисунке.

Кроме размола, важными факторами, способствующими достижению высоких механических показателей бумаги (картона) из макулатуры, являются композиционный состав макулатурной массы, необходимый комплект оборудования технологической схемы, на котором происходит приготовление волокнистой массы и восстановление ее бумагообразующих свойств, а также химические добавки в композиционном составе продукции.

Основная масса макулатуры, которая поступает на предприятия для переработки, содержит смесь очень неравноценных по своим бумагообразующим свойствам волокон (целлюлозных и полуцеллю-

лозных волокон разных пород древесины и разных способов варки полуфабриката), а также неволокнистые добавки (наполнители, проклеивающие вещества, печатные краски и т.п.) [2]. Поэтому очень сложно получить равномерный композиционный состав вторичного волокна из разных марок макулатуры. На решение этой задачи направлены процессы технологической схемы приготовления макулатурной массы: очистка, сортирование, размол. Но даже оптимально подобранные схемы не обеспечивают равномерного размола вторичного сырья с получением однородной длины волокна. Макулатура включает разнообразные виды картонно-бумажной продукции, подвергающиеся значительным структурным изменениям во время многократных циклов их потребления и переработки, вследствие чего получаем очень неоднородный полидисперсный волокнистый состав с высоким содержанием мелких волокон и их фрагментов. При этом снижается способность макулатурных волокон образовывать межволоконные связи. Предприятия, перерабатывающие вторичное волокнистое сырье одним потоком, вынуждены использовать макулатуру разных марок, и такая технология приготовления массы отрицательно влияет на конечные физико-механические показатели продукции.

В лабораторных условиях были проведены исследования по определению влияния композиционного состава марок макулатуры на механические показатели бумаги. Композиция для вариантов изготовления лабораторных образцов по маркам составлялась с учетом практики использования макулатуры предприятиями, а также

Таблица 2. Физико-механические показатели лабораторных образцов бумаги

Варианты составов	М, г	$\delta_{пр}$ , кПа	$\delta_{с.р}$ , кН/м	$\delta_{пл.сж}$ , Н	$\delta_{г.сж}$ , кН/м	$\delta_{изз}$ , ч.д.п.	З, %
Степень помола 32 °ШР							
Исходный, макулатура марки МС-5Б с добавлением:	99,4	227	3,8	91,6	0,68	97	4,9
0,1 % П	100,8	228	4,3	94,5	0,79	120	4,9
0,2 % П	98,7	236	4,0	97,3	0,78	107	5,1
0,3 % П	97,8	239	3,9	92,3	0,77	92	5,1
1,0 % П	99,1	224	3,2	94,1	0,70	52	5,7
0,1 % П + 0,25 % К	97,5	257	4,2	99,3	0,77	222	5,8
0,2 % П + 0,5 % К	99,2	283	4,7	104,1	0,82	238	6,1
0,3 % П + 1 % К	100,2	318	4,9	108,2	0,88	241	6,2
1% П + 2 % К	100,0	249	3,8	101,7	0,70	177	7,7
Степень помола 45 °ШР							
Исходный МС-5Б с добавлением:	97,1	270	3,8	90,8	0,68	115	–
0,1 % П	99,6	271	4,9	103,0	0,85	258	–
0,2 % П	98,5	286	5,0	108,5	0,84	289	–
0,3 % П	98,6	270	4,4	97,5	0,85	230	–
1,0 % П	99,8	276	4,2	101,9	0,71	198	–
0,1 % П + 0,25 % К	98,4	284	5,3	112,6	0,81	230	–
0,2 % П + 0,5 % К	98,9	291	5,4	115,9	0,90	255	–
0,3 % П + 1 % К	101,9	324	5,7	131,8	1,04	340	–
1% П + 2 % К	102,3	292	4,9	130,3	1,0	248	–
Степень помола 51 °ШР							
Исходный МС-5Б с добавлением:	101,6	282	3,8	101,1	0,78	171	5,6
0,1 % П	102,9	285	4,4	110,5	0,95	221	5,6
0,2 % П	101,8	289	5,0	120,0	0,90	232	5,8
0,3 % П	103,1	301	4,9	118,5	0,86	322	5,9
1,0 % П	101,8	280	4,9	112,2	0,92	225	6,0
0,1 % П + 0,25 % К	103,9	335	4,6	123,3	1,02	242	5,8
0,2 % П + 0,5 % К	102,2	340	5,6	135,5	1,06	407	5,9
0,3 % + П1 % К	104,0	346	5,7	135,8	1,10	455	6,4
1% + П+ 2 % К	104,0	298	4,8	125,5	1,02	200	7,4

Примечание.  $\delta_{с.р}$  – удельное сопротивление разрыву;  $\delta_{пл.сж}$  – сопротивление плоскостному сжатию,  $\delta_{г.сж}$  – сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца; З – массовая доля золы; П – пигмент, К – коагулянт.

возможности замены определенных марок макулатуры на другие, что обычно широко применяется на предприятиях отрасли. Результаты исследований приведены в табл.1.

Повышение показателей механической прочности может быть достигнуто (считая исходным вариантом 1 – 100 % гофрированного картона) введением марок МС-3А (вариант 3), марки МС-4А (варианты 4, 5). Довольно высокие показатели имеют образцы вар. 11 даже при использовании газетной макулатуры (марки МС-8В). При наличии в технологической схеме оборудования для промывки макулатурной массы показатели можно повысить на 10 % (вариант 12).

В табл.2 приведены результаты исследования влияния процесса размола волокна на физико-механические показатели бумаги при введе-

нии в композицию минерального пигмента, которые свидетельствуют, что этот фактор положительно влияет на основные физико-механические показатели образцов бумаги. По нашему мнению, введение пигментов в очень небольшом количестве приводит к возникновению дополнительных связей адсорбционного характера.

Минеральные пигменты имеют высокую адсорбционную способность, которая определяется структурой кристаллической решетки, наличием примесей, а также технологией диспергирования. Поверхность пигментов мозаичная и имеет различные адсорбционные свойства. Пигменты относятся к поликристаллическим веществам с ионной решеткой, имеют беспорядочную взаимную ориентацию отдельных кристаллов и потому являются изотропными. На поверхности большинства пигментов находятся

отдельные гидроксильные группы и объединенные между собой водородными связями. Они в основном и определяют адсорбционные свойства пигментов [3]. Пигменты не оказывают действия развитию и повышению микробактериального уровня водной органической среды, что является значительным их преимуществом перед органическими добавками.

### Выводы

Исследованиями подтверждено, что процесс размола в технологической линии приготовления макулатурной массы дает основной прирост разработки волокна по степени помола, который зависит от марки макулатуры и положительно влияет на основные физико-механические показатели готовой продукции.

Поэтому для достижения высоких физико-механических показателей тароупаковочных видов бумаги и картона промышленным предприятиям необходимо обращать особое внимание на процесс размола. Степень помола макулатурного волокна должна составлять 50–60 °ШР, но во избежание чрезмерного измельчения вторичного волокна необходимо использовать два размольных аппарата с фибриллирующей и режу-

щей гарнитурой, либо устанавливать перед размолом оборудование для фракционирования с целью использования коротковолокнистой фракции массы без размола.

Для определения оптимального уровня степени помола волокнистой массы в конкретных условиях предприятия (вид продукции, тип и количество мельниц, тип гарнитуры, композиционный состав макулатуры и т.п.) нужно провести отработку режимов и параметров размола и заложить их в технологическую документацию производства продукции.

Наряду с фактором размола для повышения качественных показателей продукции можно использовать как фактор композицию волокна, а также минеральные пигменты в качестве активной функциональной добавки.

### Список литературы

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. — М.; Л. : Гослесбумиздат, 1960. — 719 с.
2. Примаков С.П., Барбаш В.А. Технология паперу і картону. — Київ : ЕКМО, 2008. — 424 с.
3. Ермилов Г.И. Диспергирование пигментов. — М. : Химия, 1971. — 292 с.

Поступила в редакцию 09.12.09

## The Influence of Waste Paper Milling Process on Physical and Mechanical Properties of Paper

**Makarenko A.A.<sup>1</sup>, Ploskonos V.G.<sup>2</sup>,  
Belozeroва O.M.<sup>2</sup>, Evseev M.M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> The Closed JSC «Institute of Paper», Kiev

<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev

<sup>3</sup> The Open JSC «Ukrainian Scientific and Research Institute of Paper», Kiev

The influence of fibre grinding degree on qualitative indexes of product manufactured with different waste paper sorts composition is investigated. The influence of waste paper mass composition structure, technological circuit equipment, fibres paper formation properties and chemical additives to composition on product qualitative indexes is investigated. It is displayed that grinding process in technological circuit of waste paper mass preparation makes the main increment to fibres availability by the grinding degree. The factor depends on waste paper sort and impacts positively on the main finished product physical and mechanical properties.

**Key words:** grinding, waste paper, paper properties, chemical additives.

Received December 9, 2009

## Особенности сушки окисленного графита в фонтанирующем слое

**Стративнов Е.В., Кожан А.П., Москалик Л.Д., Рябчук В.С.**

*Институт газа НАН Украины, Киев*

Приведены результаты исследований по сушке порошка окисленного графита в аппарате фонтанирующего слоя. Гидродинамические и термические особенности непрерывного процесса сушки исследовались на холодных и горячих моделях. Описаны основные конструктивные решения и геометрические параметры аппарата для сушки окисленного графита.

**Ключевые слова:** терморасширенный графит, окисленный графит, кипящий слой, псевдооживление, фонтанирующий слой.

Наведено результати досліджень щодо сушіння порошку окисленого графіту в апараті фонтануючого шару. Гідродинамічні та термічні особливості безперервного процесу сушіння досліджувалися на холодних та гарячих моделях. Описано основні конструктивні рішення та геометричні параметри апарату для сушіння окисненого графіта.

**Ключові слова:** терморозширений графіт, окиснений графіт, киплячий шар, псевдозрідження, фонтануючий шар.

Отсутствие на территории Украины сырьевых ресурсов асбеста и меди, а также производственных мощностей по выпуску паронитов и фторопластов привело к появлению на отечественном рынке дефицита листовых прокладочных материалов. Создавшаяся ситуация вынуждает разрабатывать новые материалы на базе отечественных ресурсов сырья. Одним из таких материалов является терморасширенный графит (ТРГ), получаемый в основном из производимого в Украине природного кристаллического графита. На одном из отечественных предприятий при участии Института газа НАНУ и Института проблем материаловедения НАНУ для этих целей освоено производство, где имеются две печи терморасширения производительностью по 20 кг/ч, узел сухого компактирования ТРГ, прокатный стан для изготовления графитового армированного картона, вырубочные прессы, а также просечной пресс для изготовления армирующей стальной фольги.

ТРГ получают из химически обработанного природного кристаллического графита, который после обработки в реакторе промывают водой в вакуум-фильтре для удаления избыточного содержания серной кислоты и в дальнейшем сушат [1, 2].

Сушка окисленного графита является технологически сложным процессом, так как перегрев частиц графита во время сушки может привести к термическому разложению некоторой части материала либо к частичной потере

химически связанной серной кислоты, что является негативным фактором при последующей технологии термовспучивания [1, 3]. Технология сушки в непрерывно вращающейся барабанной печи не отвечает указанным требованиям, поскольку при достижении требуемой средней конечной влажности всего материала часть его пересушивается или частично вспучивается.

Нами была предпринята попытка усовершенствовать технологию сушки окисленного графита, применив принципиально новый подход к проблеме: осуществить сушку окисленного графита в аппарате фонтанирующего слоя. При этом руководствовались следующими соображениями: 1) аппарат фонтанирующего слоя при его оптимальных геометрических параметрах гарантирует интенсивную циркуляцию труднооживаемых материалов (паст, чешуйчатых частиц и т.д.). К таким материалам относятся и влажный окисленный графит; 2) во время сушки в фонтанирующем слое при интенсивной циркуляции материала исключается перегрев его отдельных частиц, что нежелательно; 3) температура слоя не должна превышать предельную температуру термической устойчивости продукта (в нашем случае 150 °С).

При реализации процесса сушки в фонтанирующем слое приходится учитывать также индивидуальные гидродинамические свойства окисленного графита. Выбранный объектом наших исследований окисленный графит представляет собой смесь тонких чешуйчатых час-