

А.П. Малюшевская, П.П. Малюшевский

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАВИТАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, [iipt@iipt.com.ua](mailto:iipt@iipt.com.ua)*

В последнее время проводятся исследования, направленные на расширение возможностей применения электроразрядного метода обработки с целью активации и регенерации волокнистых материалов различного назначения, в том числе и используемых в строительных технологиях. Установлено, что в этом применении электроразрядный метод обеспечивает эффективный процесс дробления и разволокнения отходов картона, бумаги и бумажной макулатуры; позволяет получить активированную пульпу, пригодную для затворения гипсобетонных растворов, при производстве гипсобетонных перегородочных плит и других изделий. Необходимо подчеркнуть возможность управления требуемым выходом фракций конечного продукта с минимизацией переизмельчения, максимальной активацией и устойчивостью получаемых растворов. Однако процесс управления электроразрядной переработкой бумажно-картонных отходов требует дальнейшего совершенствования, как и электроразрядный способ обработки малоразмерных объектов вообще.

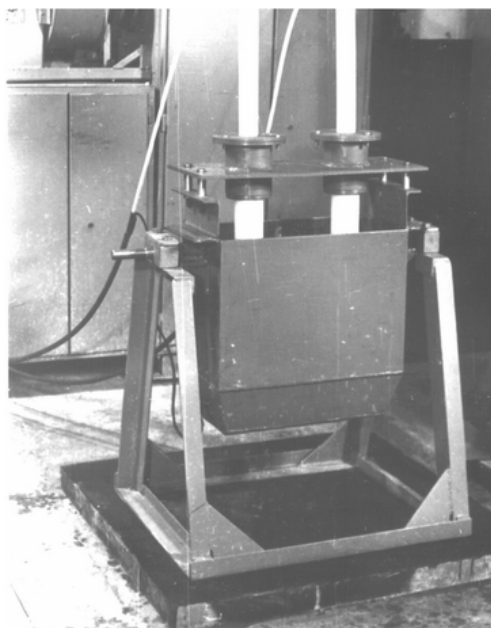
В то же время необходимо решить ряд вопросов для стройиндустрии, связанных с определением эффективности применения разрядно-импульсных технологий в операциях подготовки сырьевых материалов, а особенно вторичных материалов и промышленных отходов. Это позволило бы существенно расширить сырьевую базу соответствующих отраслей при одновременном повышении качества и эксплуатационных характеристик изготавливаемых изделий.

Волокнистые материалы, используемые в производстве текстиля, теплоизолирующих материалов, стекловолоконных изделий, в бумагоделательной промышленности и др., состоят из элементарных волокон с поперечными размерами 1–50 мкм. В процессе производства таких малоразмерных волокон или изделий из них они могут подвергаться импульсной обработке с целью модификации, активации, окраски или очистки [1]. В таких случаях ширина фронта воздействующих волн сжатия должна соответствовать поперечным размерам объекта обработки, а первичная ударная волна даже маломощных электрических взрывов имеет передний фронт, в 10–100 раз превышающий поперечные размеры волокон.

**Основные методические положения.** Ранее был предложен способ трансформации широких ударных фронтов в короткие, пригодные для обработки малоразмерных объектов [2], за счет возбуждения объёмной кавитации волнами растяжения, образующимися при отражении электроразрядных ударных волн. Данная статья содержит материалы о развитии электроразрядного метода разволокнения бумагокартонных отходов и приготовления на их основе активированных растворов затворения вяжущих. В качестве объекта исследований были выбраны следующие виды отходов бумажного производства: макулатура (газетная бумага), техническая писчая бумага, высококачественная чертёжная бумага (ватман).

Исходной рабочей средой в исследуемых электроразрядных реакторах служила водопроводная вода с удельным сопротивлением 8–10 Ом·м. Эксперименты выполнялись в электроразрядных реакторах камерного типа различного объема, характерной особенностью которых являлась спаренная электродная система (см. рис. 1). Генератор импульсных токов обеспечивал включение пары электродных промежутков последовательно или одиночного разрядного промежутка при одинаковой энергии в импульсе. Последовательное включение обеспечивало строгую синхронность всех стадий электрических взрывов в параллельных разрядных промежутках. Постоянными устанавливались следующие параметры внешнего разрядного контура: рабочее напряжение  $U_0 = 50$  кВ, индуктивность  $L = 4 \cdot 10^{-6}$  Гн, частота следования импульсов  $f = 1$  и 2 Гц. Варьируемыми были такие параметры: энер-

гия единичного импульса  $E_0 = 1,25-2,5$  кДж, длина межэлектродного разрядного промежутка  $l_p = 40-60$  мм, выбиралось процентное содержание твердой в жидкой фазе (по объему) 1–5, время обработки единичного объема  $\tau = 2-15$  мин.



*Рис. 1. Общий вид электроразрядной двухэлектродной камеры*

Параметром оптимизации выбиралась устойчивость коллоидной системы, полученной в результате обработки, степень которой определялась по отстою в мерном цилиндре. Производилось визуальное изучение полученных волокон с помощью биологического микроскопа МБИ-3. Контрольные точки фотографировались для последующего анализа.

Разволокненные отходы бумажного производства в виде активированной пульпы использовались для получения контрольных образцов строительных изделий. При этом в качестве вяжущего компонента использовалось гипсовое вяжущее марки Г-4, Г-5. Были проведены исследования по получению облегченного гипсового камня с вводом в гипс в качестве «воды затворения» активированной электроразрядом бумажной суспензии (пульпы) различной концентрации. Производилось изготовление контрольных и опытных образцов по методикам ГОСТа 6428-83; по этим же требованиям проводился замер свойств гипсового теста и камня.

Для осуществления замеров использовались: реохордный мост Р-38 с колбой Х-38; вискозиметр Суттарда, прибор Вика, секундомер, весы, формы для изготовления образцов-балочек, нажимные пластины для испытаний балочек на сжатие, опоры диаметром 10 мм для испытаний балочек на изгиб, мерный стакан, сушильный шкаф.

Потери энергии на предпробойной стадии электрического разряда существенным образом зависят от проводимости среды. Поэтому объекты исследований были разделены на две группы. Первая, не имеющая в своем составе химического компонента, способного выщелачиваться при обработке в воде, – это бумага писчая и ватман; вторая – из материалов, склонных к выщелачиванию в воду различных растворимых химических веществ, – это газетная макулатура с химическими компонентами типографской краски.

Как показано в [1, 2], основной вклад в процесс электроразрядного диспергирования малоразмерных исходных частиц в воде вносит нелинейная объемная кавитация. Бумага, представляющая собой определенным образом скомпактированные целлюлозные волокна, при замачивании и воздействии подводных разрядов вначале разрыхляется, а затем происходит ее разволокнение. С этого момента начинается основная работа кавитации во всем объеме реактора.

Поэтому с учетом [3] для исследований процессов электроразрядного разволокнения и активации получаемой пульпы сравнивались энергетически одинаковые режимы обработки исходного бумажного сырья сериями разрядов: одиночных в единичном разрядном промежутке (слабокавитационный режим, или СлК) и в паре таких же разрядных промежутков, параллельно подключаемых в таком же разрядном контуре (сильнокавитационный режим, или СиК). При этом и в единичный раз-

рядный промежуток, и в пару разрядных промежутков при каждом импульсе выделялась одинаковая суммарная энергия. Сильнокавитационный режим электроразрядной обработки обеспечивается за счет взаимодействия синхронно расходящихся (при смыкании) стенок послеразрядных полостей, создающих динамическую зону пониженного давления между двумя параллельными разрядными промежутками.

**Выбор оптимальных режимов обработки.** Критерием оптимизации служила устойчивость дисперсной системы, зависящая от степени разделения волокон бумаги. Здесь установлено заметное влияние на процесс величины запасаемой в конденсаторе энергии. С ростом этой величины процесс воздействия проходил более эффективно, поэтому для дальнейших исследований энергия в импульсе была зафиксирована на верхнем уровне.

Далее остались варьируемыми четыре параметра: величина межэлектродного промежутка, концентрация твердой фазы в суспензии, время обработки или число импульсов воздействия (при постоянной частоте следования импульсов) и уровень кавитации (слабый и сильный) режима обработки. На начальном этапе удалось установить величину межэлектродного разрядного промежутка (для первой группы материалов она оказалась равной 50 мм, для второй – 40 мм). Сложность оптимизации уровня оставшихся переменных факторов заключалась в том, что не известна закономерность влияния концентрации и дисперсности твердой фазы получаемой суспензии на физико-механические характеристики гипсового камня. Возникла необходимость в проведении двух дополнительных этапов исследований: определение степени устойчивости суспензий различной концентрации от времени обработки (суммарной энергии импульсов, затраченной на обработку) и установление изменений физико-механических характеристик гипсового камня, сформированного на различных суспензиях затворения.

**Устойчивость получаемых суспензий.** По мере дезинтеграции и разволокнения бумажных отходов увеличение числа частиц твердой фазы и их взаимодействие с водой определяют степень устойчивости суспензии. Прослеживается взаимосвязь между устойчивостью системы и степенью разделения твердой фазы на отдельные частицы.

Динамика диспергирования наблюдается на всех стадиях процесса. Вначале происходит дробление крупных кусков на более мелкие кусочки, но при этом сразу же начинается и другой процесс – окончательное распушивание частиц материала до волокон. В дальнейшем диспергирование наблюдается в граничной зоне между еще не раздробленными кусочками бумаги и уже распушенными волокнами целлюлозы. Именно здесь проявляется важнейшая роль электроразрядной кавитации, как видно из приведенных на рис. 2 результатов переработки бумажной макулатуры с одинаковой энергией в импульсе и остальных равных условиях, кроме *характеристики кавитационных режимов*.

Простейший анализ этих экспериментальных материалов позволяет утверждать, что сильнокавитационный режим, достигаемый параллельным включением разрядных промежутков и обеспечивающий хорошее взаимодействие пульсирующих послеразрядных полостей [3], является, бесспорно, предпочтительным.

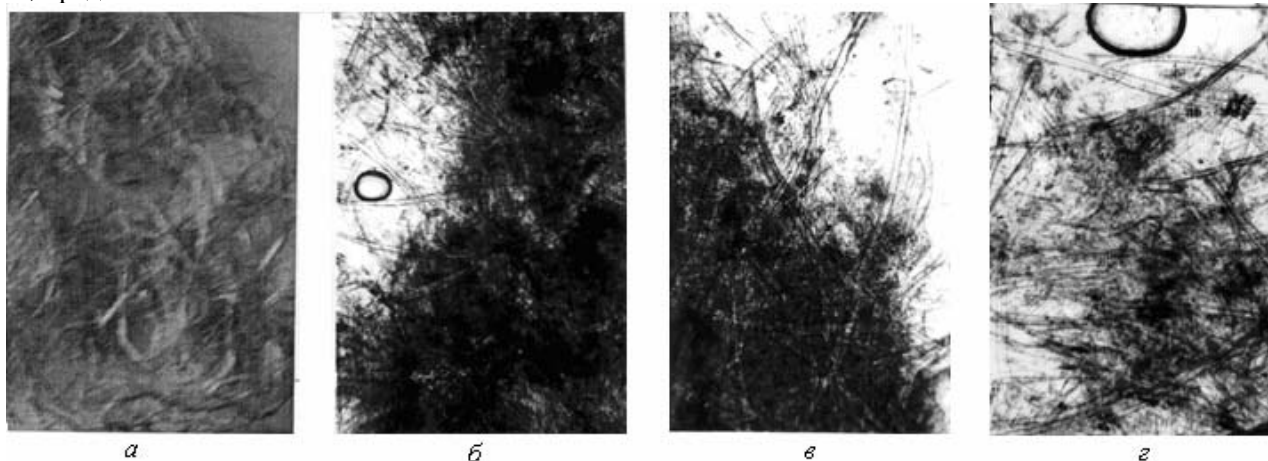


Рис. 2. Образцы электроразрядного разволокнения бумажной макулатуры: а – 3 мин обработки, СлК режим; б – 5 мин обработки, СлК режим; в – 7 мин обработки, СлК режим; г – 1,5 мин обработки, СиК режим

Проверка устойчивости суспензий, полученных в режимах а, б, в, г, позволила установить, что расслоение “а – суспензии” наступало через 12 часов с выделением воды в верхней части мерного стакана до 20% от общего объема, расслоение “б – суспензии” произошло через 48 часов с выделени-

ем воды до 10%; расслоение “в – суспензии” проявилось только на пятые сутки отстоя. Особо следует отметить, что “г – суспензия” имела однородную структуру даже после 25 суток отстоя.

**Физико-механические характеристики гипсового камня на различных суспензиях затворения.** Исследованиями определялась зависимость изменения физико-механических характеристик гипсового камня при затворении гипса суспензиями различной концентрации и изменении соотношений суспензия-гипс.

Для изготовления литых смесей одним из основных критериев является растекаемость гипсового теста. Стандартную консистенцию определяли при затворении гипсового вяжущего водой и водно-целлюлозной суспензией различной концентрации. Определение стандартной консистенции осуществлялось на вискозиметре Суттарда по типовой методике. Данные эксперименты дали возможность определения влияния коллоидной целлюлозы, находящейся в суспензии (1,5–4,5 %), на изменение растекаемости гипсового теста. С увеличением содержания коллоидной целлюлозы в суспензии затворения растекаемость гипсового теста значительно снижается, и тем значительнее, чем выше концентрация.

Был также проведен сравнительный анализ сроков схватывания гипсового теста, приготовленного на воде и на различных суспензиях. Для гипса марки Г - 5 при затворении водой сроки схватывания составляют: начало 8 минут - окончание 13 минут. При затворении суспензией 3% коллоидной целлюлозы, полученной в СлК режиме диспергирования, – начало 9 минут – окончание 16, а полученной в СиК режиме – начало 11 – окончание 20 минут. Такая раздвижка интервала затворения позволяет более продолжительное время производить технологические операции с гипсовым тестом и получать изделия более высокого качества. Аналогичные результаты по срокам схватывания были получены при проведении исследований гипса марки Г-4.

Физико-механические характеристики гипсобетона, изготовленного при затворении водно-бумажной суспензией, определялись при испытаниях образцов – балочек, изготовленных по стандарту (определялись пределы прочности на изгиб и сжатие). Испытания производились через 2 часа после изготовления и после сушки до постоянной массы. В таблице приведены данные для гипса марки Г-5.

*Показатели свойств образцов*

Масса волокна, г	Масса гипса, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочн. при изг., МПа	Прочн. при сж., МПа	Кавитационный режим
Через 2 часа после изготовления					
3,91	240	1011	2,0	2,6	СиК
4,14	227	1011	1,25	1,80	СлК
5,45	190	850	2,0	1,06	СлК
После сушки до постоянной массы					
3,91	240	1011	4,98	8,18	СиК
4,14	227	1011	4,10	7,30	СлК
5,45	190	850	1,83	3,07	СлК

Заметно уменьшение прочностных характеристик гипсового камня с увеличением относительного содержания волокна. Это связано с тем, что в суспензии большая часть воды находится в связанном состоянии и уменьшает жидкотекучесть гипсового теста, не вступая во взаимодействие с гипсовым вяжущим в момент гидратации, в то же время создавая излишки влаги, которая при сушке гипсового камня испаряется. В результате при сушке в таком гипсовом камне образуются поры, уменьшающие весовые характеристики, но снижающие физико-механические показатели камня. В образцах, затворенных суспензией, полученной в режиме СиК, не образуются в большом количестве излишки влаги, при сушке возникает менее пористая структура и сохраняются высокие физико-механические характеристики.

Таким образом, на практическом примере продемонстрирована методика эффективного управления подводными электрическими разрядами за счет усиления одного из послеразрядных факторов – импульсной кавитации. Такой приём позволил при одинаковой энергии в импульсе получить на 10–20% большую прочность высушенных гипсобетонных перегородочных плит, изготовленных из гипсового теста, затворенного суспензией волокнистых отходов бумажного производства, которая изготавливалась в режиме сильной электроразрядной кавитации. Это в свою очередь уменьшает по-

требную толщину строительных перегородок и экономит строительные материалы, а также позволяет улучшить ряд технологических приемов изготовления гипсобетонных изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Малюшевская А.П.* Исследование импульсной электроразрядной кавитации в процессах обработки волокнистых полимеров растительного происхождения: Автореф. дис... к.т.н. Николаев – Херсон, 2006. 22 с.
2. *Малюшевский П.П.* О механизме тонкого измельчения материалов при электрическом взрыве в ограниченном объеме // *Электронная обработка материалов.* 1982. № 3. С. 58–63.
3. *Малюшевская А.П., Малюшевский П.П.* Новый способ управления электроразрядной нелинейной, объемной кавитацией // *Электронная обработка материалов.* 2007. № 1. С. 76–81.

*Поступила 31.01.08*

#### Summary

The results of experimental researches of method of electrodischarge cavitation's strengthening at co-operation of electric explosions in parallel discharge intervals are represented. The practical use of electrodischarge cavitation's strengthening for activating of paper literary garbage's processing at gipsconcrete wares' producing is offered.

---