

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.Н. Озеров, Д.В. Винников, В.Б. Юферов

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: v.yuferov@kipt.kharkov.ua

Исследована возможность измельчения эластичных материалов импульсными высоковольтными электрическими разрядами в среде жидкого азота. В качестве материала для измельчения использовалась резина изношенных автомобильных покрышек. Определено влияние некоторых параметров электрогидроимпульсной системы на получение порошка резины размером менее 2 мм. Оценены основные энергетические затраты на измельчение эластичных материалов данным способом.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема утилизации и переработки изношенных шин имеет существенное экономическое значение, поскольку потребности в природных ресурсах непрерывно растут, а их стоимость постоянно повышается. В связи с тем, что на 80% составляющей шин является нефть, их промышленная утилизация даст возможность сохранить нефтяные невозполнимые природные ресурсы и стимулировать развитие ресурсосберегающих технологий.

Кроме того, вышедшие из эксплуатации изношенные шины не подвергаются биологическому разложению, поэтому они являются источником длительного загрязнения окружающей среды. В результате химического, термического и радиационного разрушений резины в атмосферу и грунтовые воды могут попадать различные токсичные и канцерогенные продукты, которые оказывают крайне негативное воздействие на организм человека. Происходит загрязнение не только атмосферы, но и водных бассейнов, почв. Вместе с тем, изношенные автомобильные шины содержат в себе ценное сырье: каучук, металл, текстильный корд.

Полученная в ходе переработки резиновая крошка – незаменимый материал при производстве дорожных отбойников, напольных покрытий для промышленных зданий, сельскохозяйственных построек, спортивных и игровых комплексов. Добавленная в асфальт крошка повышает его износостойкость в несколько раз.

Поэтому необходимы энергосберегающие и экологически безопасные технологии [1, 2] по переработке резинотехнических изделий в крошку. В настоящее время находит применение электрогидроимпульсная технология измельчения материалов. При пробое жидкости по схеме, показанной на рис. 1, вокруг канала разряда возникает зона высокого давления, диаметр которой пропорционален мощности импульса. Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя на том месте, где был разряд, значительную по объему полость, названную кавитационной, и вызывая первый гидравлический удар. Затем полость

также с большой скоростью смыкается, создавая второй кавитационный гидравлический удар [3].

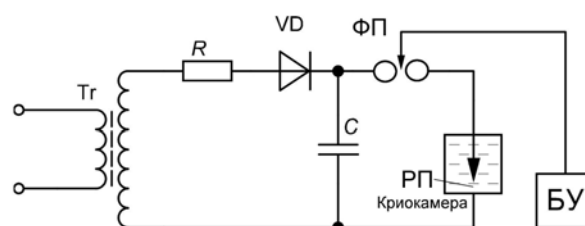


Рис. 1. Электрическая схема для реализации электрогидроимпульсного удара:

*ФП – формирующий искровой промежуток,
РП – рабочий искровой промежуток в жидкости*

Дробление резины электрогидроимпульсным способом в обычной воде не происходит [1] ввиду ее пластичности. Поэтому для придания хрупкости резине в качестве жидкости в данной технологии использовался жидкий азот.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дробление эластичных материалов при низкой температуре происходило в разрядной теплоизолированной камере объемом 2,1 л, изображенной на рис. 2. На оси камеры расположен электрод 1, вторым электродом является дно камеры. В случае понижения давления над поверхностью жидкости к патрубку 5 присоединялся водокольцевой вакуумный насос. В камеру помещалась резина размером 10...25 мм. Свободное пространство камеры заполнялось на 2/3 жидким азотом. После чего производился разряд конденсатора на рабочий промежуток в жидкости.

Осциллограмма тока, проходящего через рабочий зазор, показана на рис. 3. Ток имеет затухающий колебательный характер с амплитудой 16 кА, периодом 15 мкс. Параметры электрической цепи следующие: пробивное напряжение 24 кВ, запасаемая энергия конденсаторной батареи 576 Дж, индуктивность разрядной цепи 2,9 мкГн, сопротивление разрядной цепи 0,1...0,2 Ом.

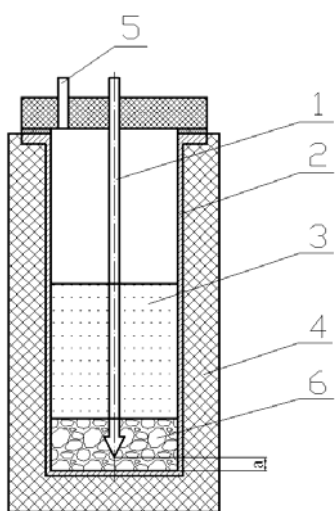


Рис. 2. Конструкция разрядной камеры для электрогидроимпульсного измельчения в жидком азоте: 1 – электрод; 2 – камера; 3 – жидкий азот; 4 – теплоизоляция; 5 – выходной патрубок; 6 – резина

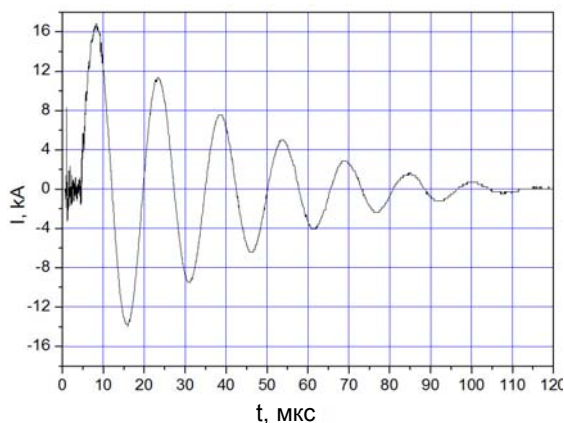


Рис. 3. Осциллограмма импульса тока через разрядный промежуток в жидком азоте, межэлектродное расстояние 5 мм

Для электрического разряда основными силовыми параметрами являются давление в канале разряда и амплитуда давления на фронте ударной волны сжатия. Связь давлений в канале разряда и на фронте ударной волны сжатия установлена эмпирической зависимостью в работе [4]:

$$P_{кр} = 0,17 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{P_g \cdot U^2}{L \cdot a} \right)^{1/2}; \quad (1)$$

$$P_m = 10^{-5} \cdot \frac{1}{r} \left(\frac{C \cdot U^6}{L^2} \right)^{1/5}, \quad (2)$$

где $P_{кр}$ – давление в канале разряда; P_g – плотность разрядной среды; U – напряжение; L – индуктивность; a – межэлектродный промежуток; P_m – амплитуда давления на фронте волны сжатия; C – емкость конденсаторной батареи; r – расстояние от объекта разрушения до канала разряда.

Давление в канале разряда по формуле (1) при зазоре 23 мм составило 550 МПа. На рис. 4 пред-

ставлена зависимость амплитуды давления на фронте ударной волны сжатия в перпендикулярном направлении в зависимости от расстояния до канала разряда. На расстоянии 50 мм от канала разряда давление ударной волны сжатия 43,5 МПа, что превышает предел прочности резины на разрыв (9...20 МПа) более чем в 2 раза.

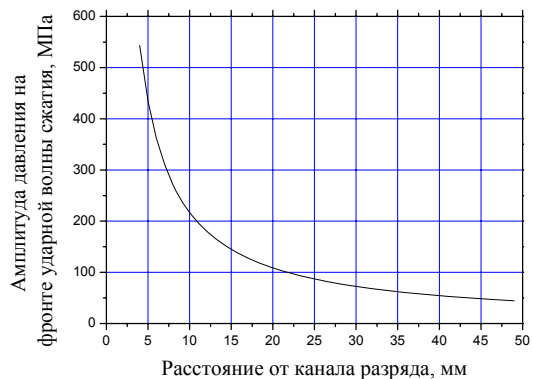


Рис. 4. Зависимость амплитуды давления на фронте ударной волны сжатия в зависимости от расстояния до канала разряда

На рис. 5 показана фотография резиновой крошки после электрогидроимпульсного дробления в жидком азоте. Размеры резиновой крошки находились в пределах от единиц микрометров до 2 мм.

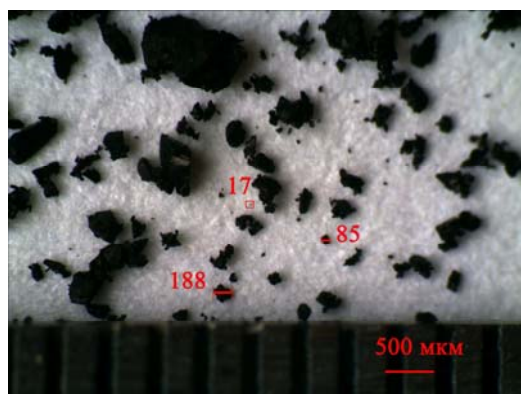


Рис. 5. Фотография с USB-микроскопа резиновой крошки после обработки

На рис. 6 приведена зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм. Количество обрабатываемой резины 100 г. Из результатов видно, что увеличение межэлектродного расстояния с 5 до 23 мм приводит к росту выхода измельченной до 2 мм резиновой крошки в 3,5 раза. Максимальный выход измельченного материала наблюдался при межэлектродном расстоянии 23 мм и составил 51,2 г после 25 импульсов.

На рис. 7 представлена зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния. На межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм наблюдается постепенное увеличение производительности. Максимальная производительность получена на межэлектродном расстоянии 23 мм и составила 2,05 г/имп.

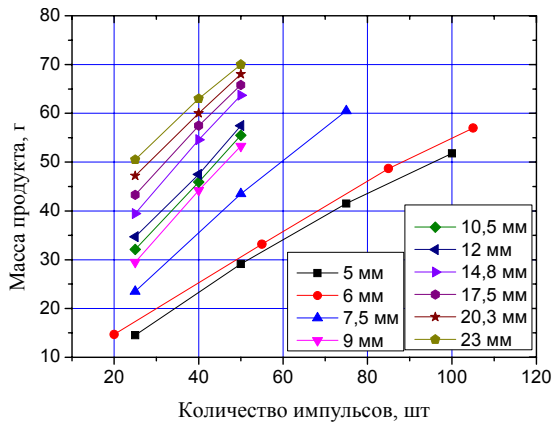


Рис. 6. Зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном межэлектродном расстоянии

На рис. 8 показан график зависимости содержания частиц с размером, меньшим 2 мм, в процентах от количества импульсов. Межэлектродное расстояние в данном случае составило 6 и 16,5 мм при загрузке резины 250 и 500 г соответственно. В обоих случаях наблюдался линейный характер роста содержания частиц с размером, меньшим 2 мм. При обработке 210 импульсами порядка 70% крошки измельчается до необходимого размера.

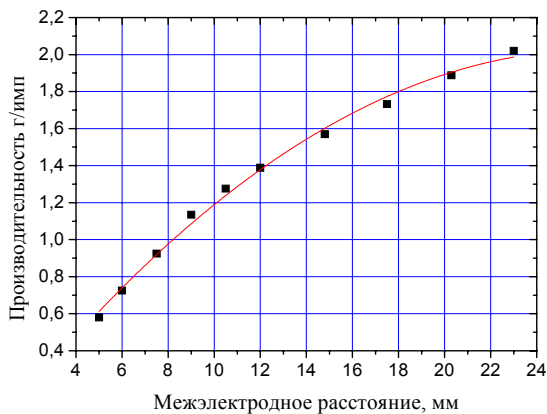


Рис. 7. Зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния

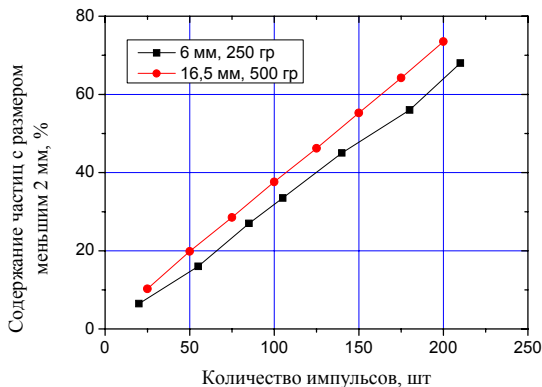


Рис. 8. Зависимость содержания частиц с размером, меньшим 2 мм, в процентах от количества импульсов

На рис. 9 показана зависимость выхода резиновой крошки от количества импульсов при различном

объеме жидкости в камере. Обрабатывалось 100 г резины при межэлектродном расстоянии 9 и 14,8 мм. Из графика видно, что обработка материала в разрядной камере с меньшим объемом жидкости дает увеличение выхода продукта в среднем на 13%. Это объясняется увеличением скорости перемещения жидкости и резиновой крошки в разрядной камере. В результате чего процессы трения и столкновения становятся более эффективными.

На рис. 10 приведен график зависимости выхода измельченной резиновой крошки от количества импульсов при различном давлении над поверхностью жидкости. Количество обрабатываемой резины и межэлектродный промежуток аналогичны предыдущему эксперименту. Анализ полученных данных показал, что понижение давления над поверхностью жидкости до 380 мм рт. ст. приводит к увеличению выхода массы продукта на 17,4% при межэлектродных промежутках 9 и 14,8 мм.

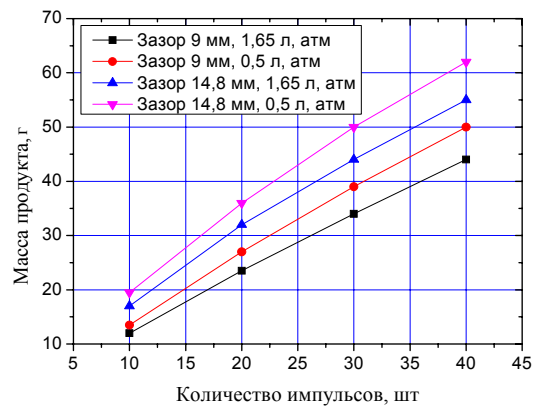


Рис. 9. Зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном объеме жидкости в камере

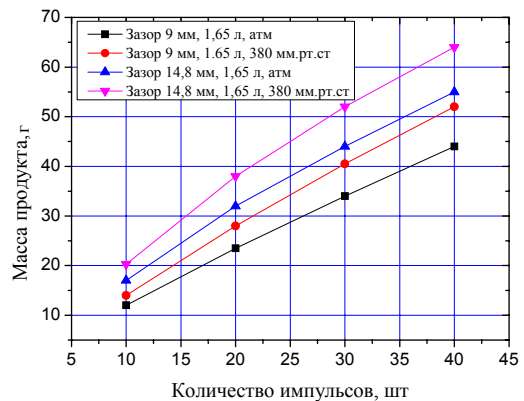


Рис. 10. Зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном давлении над поверхностью жидкости

На рис. 11 представлена диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов. Обрабатывалось 500 г резины при межэлектродном расстоянии 16,5 мм. Из диаграммы видно, что после каждой серии импульсов наблюдается постепенное увеличение количества материала более мелких фракций. После 100 импульсов количество резиновой крошки с размером менее 2 мм составляет 35%.

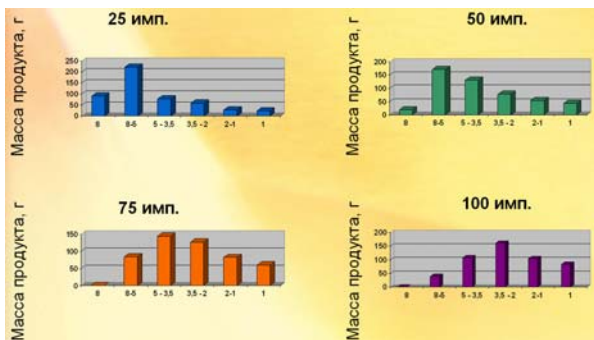


Рис. 11. Диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов

В результате проведенных исследований электрогидроимпульсного измельчения эластичных материалов в среде жидкого азота спроектирована технологическая линия и определены ее основные технико-экономические показатели, которые приведены ниже.

Производительность, кг/ч	50
Удельная производительность, г/имп. ...	2,1
Размер резиновой крошки, мм	0,2...2
Расход жидкого азота, л/кг	2,8
Энергозатраты электрогидроимпульса, кВт·ч	6
Частота следования электрических разрядов, Гц	7

Технология переработки условно делится на три этапа: предварительная резка шин на куски; электроимпульсное измельчение в среде жидкого азота; отделение резиновой крошки от металлокорда и текстиля при помощи магнитного и текстильного сепараторов.

Из литературных данных известно, что на производство 1 кг жидкого азота требуется затратить 0,44 кВт·ч [5].

ВЫВОДЫ

Разработана технологическая схема измельчения эластичных материалов электрогидроимпульсным воздействием в среде жидкого азота. Увеличение межэлектродного расстояния от 5 до 23 мм приводит к росту выхода измельченной (до 2 мм) резиновой крошки в 3,5 раза. Обработка материала в разрядной камере с меньшим объемом жидкости дает увеличение выхода продукта в среднем на 13%. Снижение давления над поверхностью жидкости до 380 мм рт. ст. приводит к увеличению выхода массы продукта на 17,4% при межэлектродных промежутках 9 и 14,8 мм. Определены основные технико-экономические показатели электрогидроимпульсного измельчения резины в жидком азоте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.И. Курец, Г.В. Несын, Г.П. Филатов, А.Ю. Юшков, К.Б. Коновалов. Электроимпульсное разрушение охлажденных полимеров (высших α -олефинов) // *Известия Томского политехнического университета*. 2009, т. 314, №4, с. 103-106.
2. Б.В. Виноградов, Д.А. Федин, В.И. Емельяненко, И.А. Осташко. Об измельчении твердых остатков пиролиза изношенных автомобильных шин электрогидроимпульсным способом // *Вопросы химии и химической технологии*. 2008, №6, с. 163-166.
3. Л.А. Юткин. *Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности*. Л.: «Машиностроение», 1986, 252 с.
4. К.А. Наугольных. *Электрогидравлические разряды в воде*. М.: «Наука», 1971, 154 с.
5. И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, А.Я. Левин, Б.Н. Муринец-Маркевич, М.Ч. Пламмер. Эффективность использования пневмодвигателя в автомобиле // *Альтернативная энергетика и экология*. 2005, №2(22), с. 82-88.

Статья поступила в редакцию 09.10.2013 г.

ПРО ДЕЯКІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНЕ ПОДРІБНЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.М. Озеров, Д.В. Вінніков, В.Б. Юферов

Досліджено можливість подрібнення еластичних матеріалів імпульсними високовольтними електричними розрядами в середовищі рідкого азоту. В якості матеріалу для подрібнення використовувалася гума зношених автомобільних покришок. Визначено вплив деяких параметрів електрогидроімпульсної системи на отримання порошку гуми розміром менше 2 мм. Оцінено основні енергетичні витрати на подрібнення еластичних матеріалів цим способом.

SOME FACTORS THAT INFLUENCE ELECTRIC PULSE CRUSHING OF ELASTIC MATERIALS AT LOW TEMPERATURES

A.N. Ozerov, D.V. Vinnikov, V.B. Yuferov

A possibility of crushing elastic materials using electric high-voltage pulse discharges in liquid nitrogen has been studied. The worn-out rubber of truck tires served as a material for crushing. The influence produced by some parameters of the electric and hydraulic pulse system on the production of rubber powder with the crumb size less than 2 mm has been determined. The main energy inputs required for the crushing of elastic materials using this method have been estimated.