

А.Р. Ризун, В.Н. Цуркин

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ РАЗРУШЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

В механике разрушения самым сложным является описание процессов нарушения сплошности материала при импульсных нагрузках, установление причин и условий, при которых в материале распространяется система трещин [1]. Электроразрядное дробление (ЭРД – новый термин в механике импульсного разрушения) выгодно отличается от известных способов дробления, в том числе взрыва взрывчатых веществ тем, что является экологически чистым, поддающимся тонкому регулированию мощности и более экономным по затратам энергии. ЭРД характеризуется множеством достаточно сложных явлений, начиная от пробоя жидкости и кончая разрушением материала. Используя электрод как инструмент дробления, имеем дело, с одной стороны, с высокими давлениями и температурой канала разряда, высокими давлениями волн сжатия и разрежения, гидропотоками и другими явлениями, а с другой – объект разрушения с его множеством показателей физико-механических свойств: крепостью, структурой, смачиваемостью, трещиноватостью, прочностью. Такая многогранность характеристик инструмента и объекта разрушения не позволяет разработать общую модель расчета режимов разрушения, поскольку все характеристики взаимосвязаны и по разному влияют и изменяются в процессе импульсного нагружения.

В данной работе экспериментально исследовалось влияние волн сжатия и других явлений на разрушение промышленных образцов с известными прочностными характеристиками. Цель работы – установить электроразрядные режимы, при которых наблюдается максимальное разрушение материалов в определенном диапазоне прочностных характеристик.

В момент разряда при достаточной амплитуде волн давления происходит раздавливание или разрыв материала в зоне, прилегающей к каналу разряда, а также образование и развитие проникающих трещин. Волна давления при достижении открытой поверхности частично отражается, образуя в материале волну растяжения, которая является причиной образования откольных трещин, вспучивания поверхности и ее разрушения. По объему разрушения устанавливается радиус эффективного действия волн давления, являющийся основным показателем в расчете производительности электроразрядных устройств. Вторая часть волны давления проникает в материал, образуя систему проникающих трещин, от количества и глубины которых зависит эффективность разрядного разрушения от последующих разрядов.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены три вида опытных образцов: из цемента, песка и воды. Варьируя соотношение цемента и песка, были изготовлены опытные образцы (300x300x300) различной прочности на сжатие ($\sigma_{сж} = 90$ МПа; $\sigma_{сж} = 60$ МПа; $\sigma_{сж} = 12$ МПа). Подготовлено и использовано электроразрядное устройство с энергией разряда в диапазоне от 1,25 до 10 кДж. Опытные образцы устанавливались в непосредственной близости от канала разряда начиная от 30 мм и далее. Схема их установки показана на рис.1; радиус разрушения материала фиксировался от одного разряда с запасаемыми энергиями: 2,5; 3,75; 5; 7,5 и 10 кДж.

Аналогичные эксперименты проводились ранее для установления эффективных режимов при разрушении формовочных и стержневых смесей [2]. Там же проводился расчет и измерение давлений

в канале разряда и за его пределами для различных энергий разрядного контура. Данные измерений приведены в таблице (публикуются впервые). Экспериментально установлено, что если предел прочности на сжатие больше максимального давления в волне сжатия P , разрушение образца не наблюдается. Таким образом, зная предел прочности, можно легко установить энергию разрядного контура и расстояние, на котором будет происходить разрушение. Устанавливая опытные образцы в соответствующих точках на расстояниях от канала разряда (см. таблицу), где $\sigma_{сжс} < P$, измерялся радиус разрушения от одного разряда. Кроме этого, путем среза поверхности образца со стороны разрушенного объема исследовалась глубина и количество проникающих трещин с помощью подкрашивания рабочей разрядной среды и ее проникновения в материал. Численные значения измеренных величин представлены на рис.2 зависимостью $I(3)$.

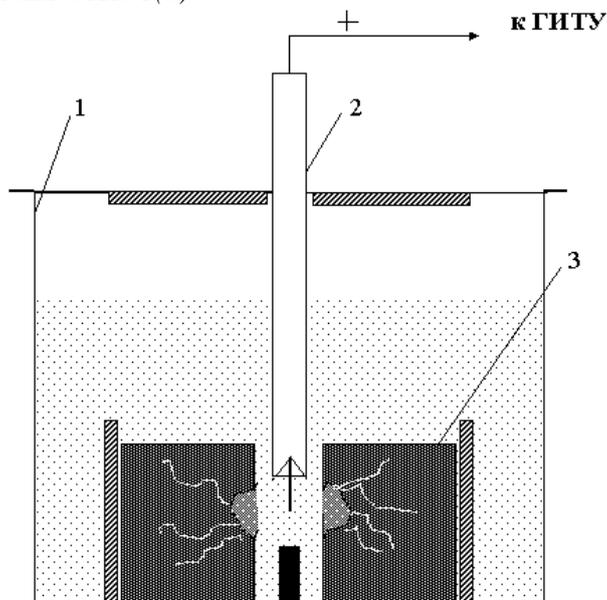


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – рабочая камера с подкрашенной рабочей жидкостью; 2 – электродная система; 3 – опытные образцы.

Зависимость давления в канале разряда ($R = 0$ мм) и за его пределами от запасенной энергии разрядного контура

E , кДж	P , МПа				
	$R = 0$ мм	$R = 30$ мм	$R = 50$ мм	$R = 70$ мм	$R = 120$ мм
1,25	200	50	18	9	2
2,5	280	110	45	9,5	3
3,75	400	200	62	12	5
5,0	480	260	100	24	7
7,5	600	320	130	30	7,4
10,0	850	450	180	40	9

Примечание. R – расстояние от канала разряда.

В результате анализа полученных данных установлена эмпирическая зависимость радиусов зон разрушения (измельчения) r от давлений волн (P), генерируемых разрядом, и пределом прочности материала на сжатие ($\sigma_{сжс}$)

$$r = \sqrt{\frac{P}{\sigma_{сжс}}} \cdot 10^{-2} \text{ м.} \quad (1)$$

По формуле (1) рассчитаны радиусы разрушения опытных образцов для энергий разрядного контура, приведенных в таблице и совместно с экспериментальными данными представленных на рис. 2 кривыми зависимости I и $I(3)$.

Кроме этого путем среза со стороны разрушенной поверхности опытных образцов с использованием подкрашивания рабочей жидкости определялись радиусы зоны проникающих трещин для тех же значений запасенной энергии разрядного контура (на рис. 2 кривые зависимости 2). Из проведен-

ных экспериментов следует, что радиусы проникающих трещин примерно в два раза превышают радиусы разрушений. Зависимость объема разрушений материалов последующими разрядами в зависимости от глубины и количества проникающих трещин будет исследована дополнительно.

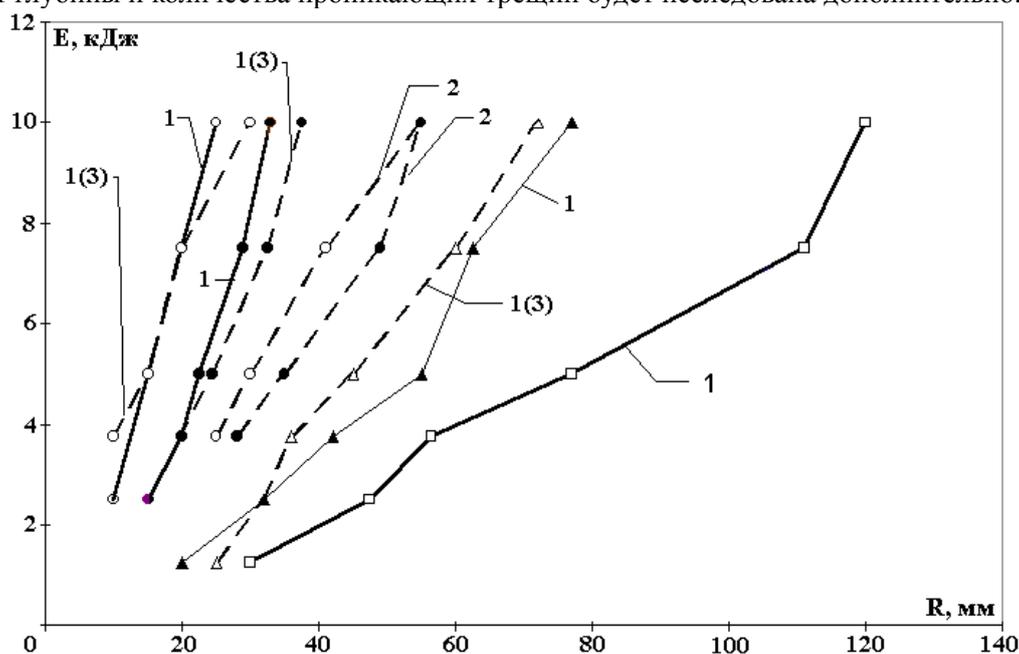


Рис. 2. Зависимость расчетных (—) (1) и экспериментальных (- - -) 1(3) радиусов разрушения и радиусов проникающих трещин (- - - -) (2) от величины запасенной энергии разрядного контура для хрупких материалов с $\sigma_{сж}$, МПа: \square – 90; \bullet – 60; Δ – 12; \square – 5.

Таким образом, в результате выполненных исследований представляется возможность:

- оценить производительность дробления электроразрядным устройством, зная предел прочности на сжатие;
- рекомендовать размеры разрядных камер для одного электрода в диаметре не более 0,3 м в зависимости от $\sigma_{сж}$ материала дробления;
- использовать для дробления материалов со средними и низкими $\sigma_{сж}$ (<10 МПа) энергию разрядов до 5 кДж, так как производительность дробления достигает максимального значения при оптимальных затратах энергии в этих пределах (см. рис.2);
- используя известные соотношения [3] между пределами прочности на сжатие, растяжение, скалывание и снижением прочности материала при смачиваемости можно установить радиусы разрушений для любого прочностного показателя, зная один из них: $\sigma_{скал} = \sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_{раст}}$; $\sigma_{раст} = 3-5\% \sigma_{сж}$; $\sigma_{скал} = 6-8\% \sigma_{сж}$; $\sigma_{изг} = 7-5\% \sigma_{сж}$; а зависимости от коэффициента смачиваемости прочность материала снижается до 20% (при полной смачиваемости).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Э.И., Мячина Н.И. и др. Влияние свойств горных пород на характер разрушения при взрыве // Методы и средства разрушения горных пород. Киев, 1980. С. 97–103.
2. Ризун А.Р. Исследование и оптимизация технологии электрогидравлической выбивки стержней и очистки отливок: Автореф. дис... канд.техн.наук. Киев, 1984.
3. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. М., 1980.

Поступила 20.08.2001

Summary

Influence of compression waves generated by an electrical discharge on the process of crushing samples with known mechanical characteristics is investigated by the experimental method. The dependency of the radius of crushing tested samples on the compression wave pressure and compression strength is bound out. The results the investigation allow to determine the capacity of electrodischarge plants and the dimensions of discharge chambers.