

УДК 622.235.525.2

## ЕЛЕКТРИЧНЕ РУЙНУВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Чашко М.В., к.т.н., доц.

Донецький національний технічний університет

83001 г. Донецьк, вул. Артема, 58

E-mail: mark@pautina.dn.ua, markchashko@rambler.ru

Доведена енергетика руйнування матеріалу електричним розрядом.

Ключові слова: енергія руйнування, електричний розряд, ударна деформація.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Чашко М.В., к.т.н., доц.

Донецкий национальный технический университет

83001 г. Донецк, ул. Артема, 58

E-mail: mark@pautina.dn.ua, markchashko@rambler.ru

Представлена энергетика разрушения материала электрическим разрядом.

Ключевые слова: энергия разрушения, электрический разряд, ударная деформация.

## UNELECTRIC MATERIALS ELECTRIC DESTRUCTION

M. Chashko,

Donetsk national technical university

Donetsk, 83001, st. Artema, 58

E-mail: mark@pautina.dn.ua, markchashko@rambler.ru

Energy of destruction of material by an electric digit is represented.

Keywords: energy of destruction, electric digit, shock deformation.

**Введение.** Процессы разрушения неэлектрических материалов имеют место при добыче и обработке полезных ископаемых. Применяемые в настоящее время технологии разрушения состоят в том, что электрическая энергия преобразуется в механическую энергию исполнительного органа электрической машины и уже исполнительный орган (резец, ударник, еще что-то) воздействует на разрушаемый объект. Электрическая машина является материал- и энергоемким звеном, поэтому создание технологии непосредственного преобразования электрической энергии в энергию разрушения представляется актуальной.

Существует еще один аспект разрушения, который может быть реализован непосредственным электрическим воздействием на разрушаемый материал: сопротивление разрушению на растяжение существенно меньше, чем на сжатие. Но для создания в материале растяжения импульс воздействия должен быть достаточно коротким, это достижимо при электрическом воздействии.

**Анализ предыдущих исследований.** Представляется, что начало электрическим технологиям разрушения было положено работами Л.А.Юткина [1]. Впоследствии эти технологии были применены при бурении, диспергировании и других видах дезинтеграции твердых веществ, им посвящено большое количество научных работ, в частности [2].

Разрушение материала электровзрывом (рис. 1) состоит в том, что при приложении к материалу достаточно высокого напряжения в нем происходит электрический пробой, возникает шнур плазмы – ионизированного состояния вещества. Плазма оказывает давление на окружающий материал и, если это давление больше предела прочности, происходит разрушение в виде трещин, откола и т.п.

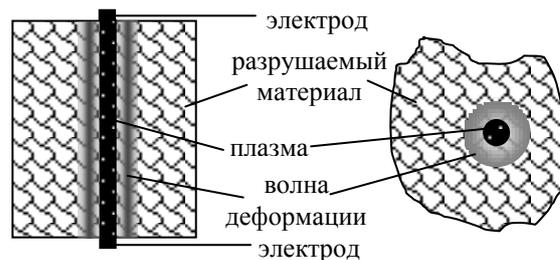


Рисунок 1 – Принцип электрического разрушения

В известных работах рассматривается воздействие электровзрыва типа с ж а т и е разрушаемого материала. Если организовать взрыв таким образом, чтобы материал разрушался р а с т я ж е н и е м , то снизятся энергозатраты на разрушение, так как сопротивление хрупких материалов растяжению на порядок меньше, чем на сжатие.

**Цель работы** – определить параметры электрического разряда, необходимые для разрушения твердого диэлектрического материала.

**Материал и результаты исследования.** Разрушаемый материал рассматривается как состоящий из фрагментов (частиц, кластеров, доменов), упруго связанных между собой. При кратковременном воздействии силы создается волна механического напряжения: материал упруго сжимается (частицы сближаются), затем растягивается (частицы расходятся). Разрушающее напряжение на растяжение у твердого материала меньше, чем на сжатие, это обстоятельство можно использовать для снижения энергозатрат на разрушение.

Исследование построено таким образом: выполнен анализ механического колебания, из которого определены необходимая для разрушения энергия и длительность ее приложения, затем определены энергия электрического разряда и параметры накопителя электрической энергии.

Энергия деформации

$$W_D = \sigma_D x S, \quad (1)$$

где  $W_D$  – энергия деформации, Дж;  $\sigma_D$  – давление на стенки канала плазмы, Па;  $S$  – площадь поверхности канала плазмы, м<sup>2</sup>;  $x$  – деформация, отклонение фрагмента разрушаемого материала под действием давления, м.

Для определения деформации принята модель разрушаемого объекта, представленная на рис. 2.

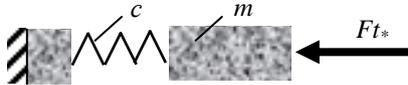


Рисунок 2 – Модель разрушаемого тела.

Тут обозначено  $c$  – упругость,  $m$  – масса фрагмента разрушаемого материала,  $F = \sigma_D S$  – сила,  $t_*$  – длительность приложения силы.

Под действием силы фрагмент совершит колебательное движение: сначала произойдет деформация сжатия, затем растяжения. Движение фрагмента описывается уравнением [3, с. 113], наибольшее отклонение

$$x_{\max} = \frac{2\sigma_D S}{c} \sin \pi \frac{t_*}{T}, \quad (2)$$

где  $c$  – упругость разрушаемого материала, Н/м;  $t_*$  – длительность приложения силы, с.  $T = \sqrt{m/c}$  – период колебаний фрагмента, с;  $m$  – масса колеблющегося фрагмента, г.

Выражение для периода колебаний через массу, геометрические размеры фрагмента, плотность материала и модуль Юнга:

$$T = \sqrt{\Delta^2 p / E}. \quad (3)$$

где  $\Delta$  – длина колеблющегося фрагмента в радиальном направлении, м;  $p$  – плотность разрушаемого материала, г/м<sup>3</sup>;  $E$  – модуль упругости Юнга, Н/м<sup>2</sup>.

Из (1) и (2) следует, что наибольшее отклонение, соответственно, наибольшая энергия деформации при том же давлении имеют место, если длительность действия давления равна половине периода собственных колебаний фрагмента,  $t_* = T/2$ . При этом условии

$$W_P = \frac{2\sigma_P^2 S \Delta}{E} \quad \text{или} \quad W_P = \frac{2\sigma_P^2}{E} V_P, \quad (4)$$

где  $W_P$  – энергия разрушения, Дж;  $\sigma_P$  – разрушающее давление растяжения, Па;  $V_P = S \Delta$  – объем разрушенного материала, м<sup>3</sup>.

Длительность подвода этой энергии, обеспечивающая разрушение именно растяжением,

$$t_* = 0,5 \Delta \sqrt{p / E}. \quad (5)$$

Энергию разрушения обеспечивает плазма – ионизированное (разделенное на ионы) состояние вещества, которое образуется в результате электрического разряда.

$$W_{ПЛ} = \frac{V_{ПЛ} w_{ПЛ} t_*}{\gamma - 1 t_{II}}. \quad (6)$$

Здесь обозначено  $W_{ПЛ}$  – энергия плазмы, эВ;  $V_{ПЛ}$  – объем плазменного канала, м<sup>3</sup>;  $w_{ПЛ}$  – энергия, необходимая для ионизации единицы объема материала, эВ/м<sup>3</sup> (например, для SiO<sub>2</sub>  $w_{ПЛ} = 2,8 \cdot 10^{23}$  эВ/м<sup>3</sup>);  $\gamma$  –

коэффициент адиабаты, для материалов типа гранит, базальт и т.п.  $\gamma = 1,1 - 1,2$ ;  $t_{II}$  – длительность процесса ионизации, с,  $t_{II} = 10^{-8}$  с.

Выразив объем плазменного канала через его радиус и длину, объем разрушенного материала через площадь поверхности разрушения и длину колеблющегося фрагмента, а длительность импульса разрушения приняв  $t_* = T/2$ , можно связать энергию плазмы с объемом разрушенного материала:

$$W_{ПЛ} = \frac{V_P r}{4} \frac{w_{ПЛ}}{(\gamma - 1) t_{II}} \sqrt{\frac{p}{E}}, \quad (7)$$

где  $r$  – радиус канала плазмы, м.

Энергия электровзрыва, как правило, получается от конденсатора, заряженного до необходимого напряжения, который для взрыва подключается к электродам. Энергия конденсатора

$$W_K = \frac{CU^2}{2}, \quad (8)$$

где  $C$  – емкость, Ф;  $U$  – напряжение, В.

Целесообразно организовать разряд так, чтобы взрыв происходил в течение первого полупериода колебаний, когда амплитуда разрядного тока максимальна. Длительность разряда должна не превышать половины периода колебаний фрагмента разрушаемого материала, в соответствии с выражением (5). Тогда емкость конденсатора должна быть

$$C = \frac{\Delta^2 p}{LE}, \quad (9)$$

где  $L$  – индуктивность цепи разряда – самого конденсатора и соединительных проводов, Гн.

Необходимое напряжение заряда конденсатора определится приравнением энергий плазмы (7) и конденсатора (8):

$$U = \sqrt{\frac{2W_{ПЛ}}{C}}. \quad (10)$$

**Выводы.** 1. Согласованием длительности электрического разряда со структурой и упругими свойствами разрушаемого материала можно существенно снизить энергию, необходимую для разрушения – за счет разрушения взрывом, а не давлением.

2. Устройство электровзрыва должно обеспечить минимально возможный радиус плазменного шнура, так как с увеличением радиуса объем плазмы и, соответственно, энергии, необходимой для ионизации, растет быстрее, чем объем разрушенного материала.

3. Энергоемкость разрушения, может быть снижена разрядом в среде с меньшей энергией ионизации, например, в воде, или взрывом проводника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.

2. Ризун А. Р., Голень Ю. В., Денисюк Т. Д., Поздеев В. А. Разработка и внедрение технологического процесса электроразрядного разрушения донных грунтов. Наука та інновації. 2007. Т.3. С. 50 – 54.

3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. <http://lib.prometey.org/?id=15377>.