

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина*

Электроразрядное разрушение основано на использовании высоковольтного разряда в жидкости. Механизм импульсного воздействия на разрушаемый объект характеризуется высоким давлением волн сжатия, генерируемых разрядом. Однако в силу самосогласованности системы плазменный канал - разрядная цепь генератора импульсов тока целенаправленное изменение характеристик электроразряда, необходимое для разрушения материала, особенно для прочного и сверхпрочного, оказывается затруднительным.

Цель работы – анализ отдельных особенностей электроразрядного разрушения, знание которых необходимо при разработке технологического процесса.

Основным технологическим показателем электроразрядного разрушения является производительность. Ее величину можно установить по радиусу разрушения  $r$  от единичного разряда. Радиус зоны разрушения неметаллических материалов зависит от силового воздействия давления  $P$  волн сжатия и прочности разрушаемого объекта  $\sigma_{сж}$  [1]:

$$r = \sqrt{P / \sigma_{сж}} \cdot 10^{-2}, \quad (1)$$

где  $P$  – давление волны сжатия, МПа;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности материала на сжатие, МПа.

Давление  $P$  зависит от параметров генератора импульсов тока и на основании эмпирической зависимости [2] выражается формулой

$$P = \frac{U^{5/4} \cdot C^{1/4}}{R^{1/2} \cdot L^{3/8} \cdot l^{5/8}}, \quad (2)$$

ГДЕ  $U$  – напряжение, кВ;  $C$  – емкость разрядного контура, мкФ;  $R$  – расстояние до разрушаемого объекта, м;  $L$  – индуктивность разрядного контура, мкГн;  $l$  – длина разрядного промежутка, м.

Максимальный эффект разрушения, исходя из соотношений (1)–(2), достигается при максимальном давлении в импульсе волны сжатия, то есть при максимальных значениях напряжения  $U$  и емкости  $C$  разрядного контура и минимальных значениях индуктивности  $L$ , длины разрядного промежутка  $l$  и расстояния до разрушаемого объекта  $R$ .

Вопрос об эффективности процесса разрушения возникает в связи с необходимостью выбора оптимального режима разряда в  $LC$ -цепи, при котором обеспечивается максимум механического действия [3]. Высокая эффективность разряда наблюдается тогда, когда он протекает в режиме, близком к критическому, то есть когда индуктивность контура мала. Критический режим разряда - это предельный аperiодический разряд, который переходит в периодический при дальнейшем уменьшении сопротивления контура.

С учетом условий максимального выделения энергии на разрядном промежутке, при которых обеспечивается наибольшая эффективность преобразования энергии за счет пробоя любой длины канала разряда без потерь энергии, получено оптимальное соотношение между параметрами разрядного контура и длиной излучения волн сжатия [4]:

$$l_{\text{то}} = 1,35 \cdot 10^{-3} U_0 \cdot \sqrt[4]{LC}. \quad (3)$$

Анализ соотношений (1), (2) и (3) показывает, что параметры разрядного контура должны иметь определенные ограничения, так как при больших значениях таких параметров, как напряжение  $U$  и емкость  $C$ , и малых значениях разрядного промежутка  $l$  управлять процессами электроразряд-

ного разрушения и получать максимальный эффект сложно из-за несогласованности в равенстве (3). С другой стороны, разряды с низкими значениями напряжения и емкости для разрушения высокопрочных материалов непригодны из-за низкой эффективности силового воздействия. Нетрудно убедиться, что максимальный КПД разряда (то есть согласованные разряды) возможен только на малой индуктивности  $L < 2$  мкГн при напряжении разрядного контура, используемом в технологических процессах, равном 50 кВ. На практике в большинстве случаев для всех электроразрядных технологий разрушения используются электроразряды со значительно большими силовыми параметрами разрядного контура. Очевидно, что чем больше увеличиваются параметры  $U$  и  $C$  для получения высоких давлений и производительности электроразрядного разрушения, тем больше становятся индуктивность и потери выделившейся в канале разряда энергии и ниже КПД разряда. Силовое воздействие в большей степени зависит от напряжения разрядного контура, а роль емкости – в поддержании времени силового действия.

Таким образом, эффективность электроразрядного разрушения неметаллических материалов можно повысить за счет создания условий в разрядном промежутке, обеспечивающих максимальное выделение запасенной энергии конденсаторов. Одним из методов решения такой задачи является инициирование разрядов взрывом проводников. Физическая сущность инициирования разрядов взрывом проводника заключается в том, что при подаче напряжения на инициирующий проводник плотность тока в нем становится критической и проводник мгновенно взрывается, затем из-за резкого падения сопротивления ток падает до 0, а напряжение становится максимальным и равным напряжению заряда конденсаторных батарей. В дальнейшем происходит пробой газовой дорожки и последующие стадии – аналогично подводному искровому разряду. Как показали эксперименты, размеры взрывающегося проводника можно варьировать мощностями, выделяемыми в канале разряда, и получить разряды от колебательного до близкого к апериодическому, то есть получить максимальный КПД разряда и производительность электроразрядного разрушения значительно больше, чем при обычном разряде [4]. Однако инициирование электроразряда взрывом проводника с точки зрения конструктивного исполнения электроразрядного оборудования для разрушения неметаллических материалов не всегда приемлемо. Так, например, при разрушении стержней и очистке отливок использование инициирующих разрядов затруднено из-за наличия полостей малого диаметра, сложности поверхностного рельефа отливки, а также при тонкостенных внутренних перегородках, особенно в сложном по конструкции литье. В этом случае для эффективного использования электроразряда применяется метод разупрочнения форм и стержней в активных разрядных средах на основе поверхностно-активных веществ.

*Результаты разрушения неметаллических материалов*

Наименование материала	Прочность $\sigma_{сж}$ , МПа	Параметры разрядного контура				Производительность, м <sup>3</sup> /ч	
		$U$ , кВ	$C$ , мкФ	$L$ , мкГн	$l$ , м	$Q_1$	$Q_2$
Стекло	230	50	8	10	0,07	1,5	2,2
Кирпичная кладка	40	50	8	10	0,07	1,5	3,5
Бетон	60	50	8	10	0,07	3,0	4,5

При использовании электроразрядов для разрушения крупногабаритных объектов, таких, например, как бетонные фундаменты, железобетонные изделия, валуны, прочные морские донные грунты и др., требуются энергии разряда выше на порядок и более, чем при дроблении и измельчении материалов, и ее потери становятся еще значительнее. Наиболее эффективным инициированием разрядов, используемых в таких процессах, как показали исследования, является ввод в канал разряда энерговыделяющих композиций. Решению этой задачи посвящены работы [5, 6]. Практически важной и существенной особенностью электродинамических характеристик высоковольтного электрохимического взрыва является уменьшение длительности протекания

разрядного тока по сравнению с обычным подводным электрическим взрывом при одинаковых параметрах разрядной цепи. Объем разрушений при этом зависит от количественного и качественного составов энерговыделяющих композиций и может от 1,5 до 3 раз превышать объем обычного электроразрядного разрушения. Для сравнения в таблице представлены результаты разрушения некоторых неметаллических материалов при обычном  $Q_1$  и инициированном  $Q_2$  разрядах, соблюдая одинаковые параметры разрядного контура [1, 4].

Таким образом, эффективность электроразрядного разрушения неметаллических материалов можно повысить вводом в канал разряда энерговыделяющих композиций. Ввиду отсутствия предпробивных потерь и приближения режима разряда к критическому значительно повышается КПД преобразования энергии и расширяются возможности оперативного управления энергоемкостью процессов разрушения при обработке неметаллических материалов различной прочности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ризун А.Р., Цуркин В.Н. Электроразрядное разрушение неметаллических материалов // Электронная обработка материалов. 2002. № 1. С. 83–85.
2. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. Киев: Наукова думка, 1986.
3. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М., 1971.
4. Кривицкий Е.В. О сопротивлении расширяющегося канала подводного искрового разряда // Электронная обработка материалов. 1972. № 3. С. 69–71.
5. Вовченко А.И., Посохов А.А. Управляемые электровзрывные процессы преобразования энергии в конденсированных средах. Киев: Наукова думка, 1992.
6. Кондриков Б.Н., Вовченко А.И., Анников В.Э., Иванов В.В. Взрывные превращения электрической и химической энергии. Киев: Наукова думка, 1987.

*Поступила 11.07.06*

## Summary

The article is dedicated to consideration of some specialities of electric-discharge destruction of non-metallic materials, which necessary to take into account, when technology and equipment are working out. Registration of these specialities enables to create more effective electric-discharge installation, to carry out improving the installations constructed earlier.

---