

УДК 621.926.086:621.921.34

Б. В. Виноградов, докт. техн. наук; **Д. А. Федин**, инж. ;
В. И. Емельяненко, канд. техн. наук

*Украинский государственный химико-технологический университет,
г. Днепрпетровск, Украина*

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУБМИКРОПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

The results of theoretical researches of the electric discharge grinding mechanism are presented. The results of experimental researches of the electric discharge ultrafine grinding of synthetic diamond are presented.

В связи с выходом отечественных производителей порошков синтетических алмазов на мировой рынок повышаются требования к качеству продукта. Данная проблема особенно касается субмикropорошков, для обеспечения качества которых необходимо обеспечивать узкий диапазон зернистостей при высокой степени помола. В то же время сверхтонкое измельчение порошков синтетического алмаза классическими методами недостаточно эффективно [1]. Поэтому в последнее время растет интерес к электрогидроимпульсному измельчению, преимуществами которого являются управляемость процессом измельчения и значительно меньшее загрязнение продукта. Однако удельная энергоемкость электрогидроимпульсного измельчения остается относительно высокой, что препятствует широкому внедрению в производство. Поэтому исследования в области повышения эффективности электрогидроимпульсного измельчения весьма актуальны.

Сотрудниками Института тепло- и массообмена республики Беларусь совместно с Институтом сверхтвердых материалов НАН Украины проведены обширные исследования электрогидроимпульсного измельчения порошков синтетических алмазов. Разработанная установка ЭПИ-3М при измельчении микropорошков зернистостью $-5+0$ мкм при воздействии высоковольтными импульсными электрическими разрядами в количестве $n=6000$ (при условиях – емкость источника тока $C=0,6$ мкФ, напряжение заряда $U=44$ кВ) позволяет получить выход класса частиц $-2+0$ мкм в количестве 9 % [1]. При этом в качестве основного механизма измельчения предполагается разрушение под действием ударных волн. Распределение энергии разряда между волной сжатия и пульсациями разрядной полости достигается изменением режима разряда. Однако, в работе П.П. Малюшевского [2] показано, что в реальных электрогидроимпульсных установках частицы диаметром менее 1,5 – 6 мкм находятся в условиях квазистатического сжатия, что затрудняет измельчение. Измельчение частиц диаметром 2 мкм и меньше свидетельствует о смене ударно-волнового механизма на кавитационный механизм измельчения.

Авторами настоящей статьи проведен ряд численных экспериментов по исследованию гидродинамических процессов при высоковольтном импульсном электрическом разряде в закрытой камере, камере со свободной поверхностью жидкости и камере с подвижной границей [3 – 7]. Исследования показали, что в разрядной камере существует ограниченная область интенсивной кавитации. Положение области зависит от величины промежутка времени между прохождением первичной и отраженной волны сжатия. Если размер камеры мал, то прямые и отраженные волны накладываются друг на друга и область интенсивной кавитации не возникает. Возникновение области интенсивной кавитации возможно при выполнении условия [8]

$$\frac{\tau \cdot c_0}{S} \ll 1, \quad (1)$$

где τ – время существенного изменения скорости роста разрядной полости, с; c_0 – скорость звука в невозмущенной жидкости, м/с; S – расстояние от центра разряда до границы камеры, м. Если учесть, что время существенного изменения скорости роста разрядной полости пропорционально емкости источника тока $\tau \approx \pi\sqrt{LC}$, то соотношение (1) преобразуется к виду

$$\pi\sqrt{LC} \frac{c_0}{S} \ll 1, \quad (2)$$

где L – индуктивность разрядного контура, Гн; C – емкость источника тока, Ф.

Левая часть соотношения (2) является безразмерным критерием возникновения области интенсивной кавитации в разрядной камере. Из соотношения (2) видно, что положение области определяется соотношением характерного размера камеры S и емкости источника тока. Следовательно, более эффективного управления механизмом электрогидроимпульсного измельчения можно достичь за счет обеспечения рационального соотношения указанных выше параметров, определяемого выражением (2). Наличие подвижной границы камеры позволяет за счет изменения ее параметров регулировать интенсивность кавитации.

Полученные результаты были положены в основу создания экспериментальной электрогидроимпульсной установки для тонкого и сверхтонкого измельчения порошковых материалов. Основные технические характеристики установки приведены в табл. 1. Конструкция разрядной камеры представляет собой вертикально расположенный цилиндр, закрытый сверху крышкой с загрузочной воронкой. Внизу на изоляционной основе расположена линейная электродная система с двойным межэлектродным промежутком.

Таблица 1. Основные технические характеристики установки для электрогидроимпульсного измельчения порошковых материалов

Параметр установки	Значение
Напряжение питания, В	220
Частота питающего напряжения, Гц	50
Напряжение заряда конденсаторов, кВ	40
Емкость конденсаторов, мкФ	1.8
Индуктивность, Гн	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Объем разрядной камеры, л	1
Потребляемая мощность, кВт	0,374

На экспериментальной установке проводилось сверхтонкое измельчение порошка поликристаллического синтетического алмаза. Интегральная характеристика распределения частиц исходного порошка и продукта измельчения представлена на рис. 1.

Измельчение осуществлялось с целью получения максимального выхода частиц зернистости $-1+0$ мкм. Параметры процесса: соотношение твердой и жидкой фазы в обрабатываемой суспензии Т:Ж=1:10; напряжение заряда $U=40$ кВ; емкость конденсаторов $C=1,8$ мкФ; индуктивность $L=1$ мкГн; объем камеры $V=1$ дм³; количество разрядов $n=1000$.

В табл. 2 приведены основные характеристики гранулометрического состава исходного порошка и продукта измельчения.

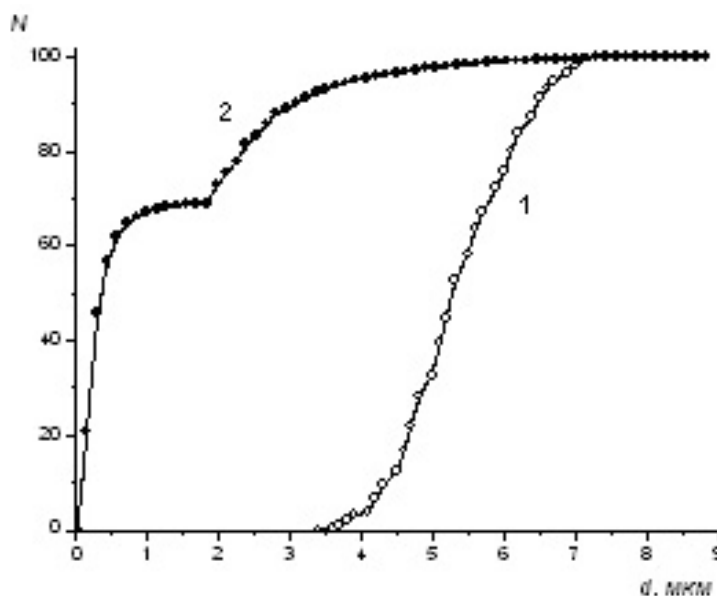


Рис. 1. Интегральная характеристика распределения частиц синтетического алмаза: 1 – в исходном материале; 2 – в продукте измельчения при воздействии разрядами в количестве $n=1000$.

Таблица 2. Основные характеристики гранулометрического состава порошка поликристаллического синтетического алмаза

Параметр	Значение	
	Исходный материал	Продукт измельчения
Средний диаметр зерен, мкм	5,34	1,124
Стандартная ошибка	0,03	0,022
Медиана	5,22	0,338
Мода	4,73	1,910
Стандартное отклонение	0,80	1,423
Наибольший диаметр, мкм	7,30	8,979
Наименьший диаметр, мкм	3,40	0,010
Уровень надежности (95 %)	0,05	0,043

Полученные данные свидетельствуют о том, что количество частиц размером менее 1 мкм, практически отсутствующих в исходном материале, в измельченном материале составило 67,25 %. Количество энергии, затраченное на измельчение, составило 1,4 МДж.

Полученные результаты исследований позволяют заключить, что при обеспечении рациональных параметров электрогидроимпульсной установки получение субмикропорошков синтетического алмаза посредством разрядноимпульсной технологии является весьма перспективным. Для повышения эффективности тонкого и сверхтонкого измельчения порошков синтетического алмаза и других твердых материалов параметры электрогидроимпульсной установки должны обеспечивать интенсивный кавитационный режим измельчения. В связи с этим целесообразно использование разрядной камеры с подвижной границей.

Выводы

1. Комплексный учет геометрических и электрических параметров электрогидроимпульсной установки является эффективным средством управления механизмом измельчения порошков твердых материалов.

2. При рациональном выборе указанных выше параметров электрогидроимпульсный способ является перспективным при получении субмикropорошков поликристаллического алмаза из микropорошков, трудно поддающихся измельчению классическими методами.

Литература

1. Способ дробления сверхтвердых материалов / Бакуль В.Н., Никитин Ю. И., Уман С. М., Виноградов В. М., Лисица В. И., Несветайлов Г. А. // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 3. – С. 55 – 60.
2. Малюшевский П. П. О механизме тонкого измельчения материалов при электрическом взрыве в ограниченном объеме // Электронная обработка материалов. – 1982. – №3. – С. 58 – 63.
3. Виноградов Б. В., Федин Д. А., Никулин Д. С. Особенности гидродинамических процессов при импульсном электрическом разряде в ограниченном объеме жидкости // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. - № 2. – С. 190 – 192.
4. Виноградов Б. В., Федин Д. А. О механизме сверхтонкого электрогидроимпульсного измельчения материалов // Сборник научных трудов НГУ. - 2004. - № 19. - Т. 5. – С. 115 – 119.
5. Виноградов Б. В., Федин Д. А. Управление динамикой процесса кавитации при импульсном электрическом разряде в ограниченном объеме жидкости // Сборник научных трудов НГУ. - 2005. - № 12. - Т. 5. – С. 49 – 51.
6. Федин Д. А. Исследование динамики кавитации при импульсном электрическом разряде в камере с упругим элементом// Вопросы химии и химической технологии. – 2005. - № 4. – С. 171 – 174.
7. Виноградов Б. В., Федин Д. А. Экспериментальное и теоретическое исследование тонкого электрогидроимпульсного измельчения материалов // Новые огнеупоры. – 2005. - № 3. – С. 41 – 43.
8. Шамко В. В. Развитие взрывных каверн в жестких оболочках // Электрогидравлический эффект и его применение. – Киев: Наук. думка, 1981. – С. 19 – 28.

Поступила 05.06.2006 г.