

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА НЕПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Зарипов, Х.Б. Ашууров

Институт электроники АН РУз,
ул. Буюк ипак йули, 33, г. Ташкент, 700125, Республика Узбекистан, ashurov@aie.uz

Введение

В настоящее время миниатюризация высокотехнологических устройств требует применения различного рода материалов. Эти компоненты часто изготавливаются из хрупких материалов, стекла и керамики [1–4].

Путем горячего прессования получают наиболее высокопрочные материалы из карбида кремния. Однако они дороже получаемых другими методами, что обусловлено невозможностью изготовления деталей сложной конфигурации без дорогостоящей механической обработки алмазным инструментом [5]. Для обработки композиционных материалов – разновидностей керамики – в нынешних условиях прибегают к альтернативным – нетрадиционным методам обработки [6].

В результате анализа развития современных методов обработки нетрадиционных материалов была выявлена тенденция использования различных химически активных сред в процессе обработки и комбинирования методов [7].

Описание эксперимента и ВАХ тока в электролите

Исследования процессов прохождения тока в электролитических средах и обработки композиционных материалов проведены на специально разработанном стенде (рис. 1). Стенд состоит из гальванически развязанного от сети релаксационного генератора, выходное напряжение которого изменяется в пределах 0–400В при максимальном токе нагрузки 10А; системы регулируемого вращения этого электрода с компенсатором давления; системы тонкой подачи электрода-инструмента (ЭИ) на базе шагового двигателя и сосуда с держателем образца.

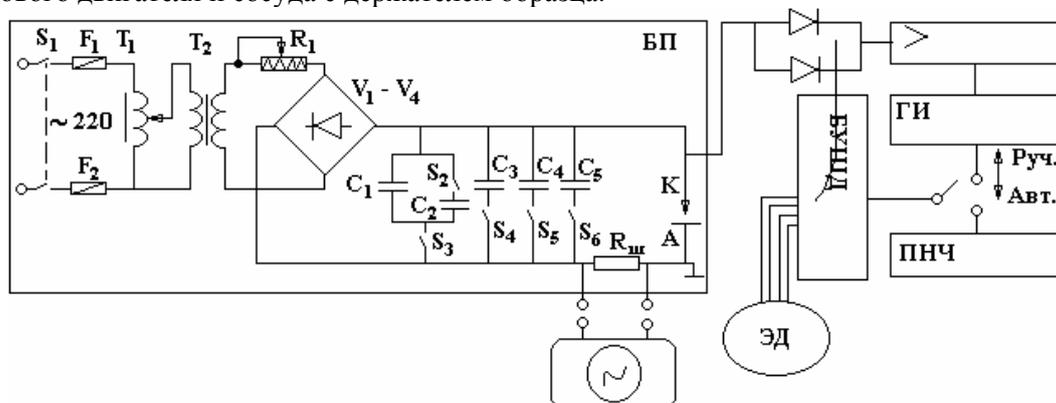


Рис. 1. Экспериментальный стенд для электрических и частотных характеристик тока обработки композиционных материалов. БП – блок питания; > – усилитель; ГИ – генератор импульсов; ПНЧ – преобразователь напряжения частоты; БУШД – блок управления шаговым двигателем; ЭД – шаговый двигатель

Сигнал тока разряда определялся с помощью последовательно включенного в электродную цепь сопротивления $R = 0,5$ Ом, а напряжение измерялось непосредственно на разрядном промежутке. В качестве электролита использовались водные растворы NaOH с различной концентрацией. Межэлектродное расстояние и площадь катода (электрода-инструмента) были фиксированы. Катодом служили вольфрамовые прутки различного диаметра, и площадь катода ограничивалась керамической трубкой с возможностью варьирования в широких пределах. Электрод-инструмент (катод) закреплялся в держателе и с помощью подающего механизма мог погружаться на необходимую глубину в вертикальной плоскости относительно образца, а также перемещаться в горизонтальной плоскости относительно анода.

Измерения частоты оборотов ЭИ проводились с помощью специально разработанного электронного тахометра, состоящего из датчика, преобразующего вращательное движение в электрические импульсы; формирователя прямоугольных импульсов с нормированной длительностью; измерителя частоты импульсов и блока питания.

Анодом служили прямоугольные пластины из меди, поскольку во всех исследованных растворах электролитов ВАХ не зависят от материала, из которого изготовлен анод (свинец, графит, нержавеющая сталь). Они совпадают в пределах погрешности измерений. На рис. 2 представлена динамика изменения тока в электролите при изменении напряжения на межэлектродном промежутке в водном растворе NaOH различной концентрации [8].

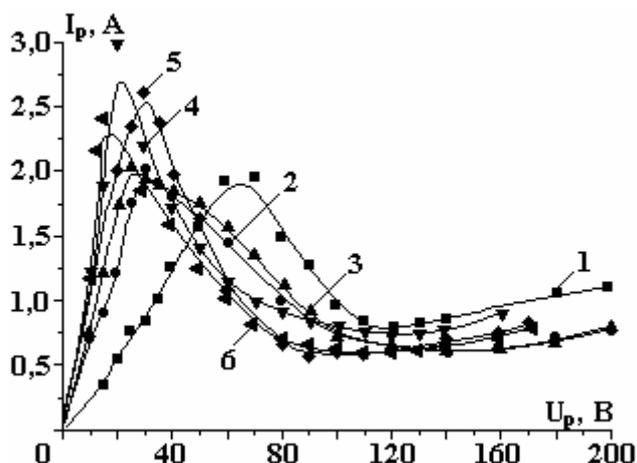


Рис. 2. ВАХ при различных концентрациях электролита NaOH, %: 1 – 1; 2 – 3; 3 – 6; 4 – 12; 5 – 18; 6 – 25. $h = 3$ мм, $S_k = 2,38$ мм², $T = \text{const}$

Такой характер поведения ВАХ электролита подобен изменениям вольт-амперных характеристик, если использовать растворы NaCl. На ВАХ NaOH, как и в случае NaCl, можно выделить четыре режима и сделать следующий вывод: плотность тока, при которой возникает первоначальный разряд для данной концентрации электролита, не зависит от величины межэлектродного зазора и площади катода. Это говорит о том, что решающим фактором, определяющим условия протекания тока в электролите, является процесс образования парогазового слоя вокруг катода. Именно от его свойств зависят параметры разряда и плазменной оболочки вблизи катода. В начале фазы 3 в результате интенсификации газовыделений как из объема электролита, так и за счет парообразования из-за роста вкладываемой электрической мощности возникает устойчивая сплошная газовая оболочка, и ток через слой проходит в виде высокочастотных разрядов. В узкой зоне катода образуется плазменный светящийся факел. При ограничении поверхности катода диэлектриком плазменный факел существует независимо от глубины погружения катода в электролит. Он сильно зависит от концентрации и состава электролита вследствие изменения коэффициента поверхностного натяжения электролитических жидкостей. Таким образом, на параметры сплошного газового слоя влияют физико-химические свойства электролита, так как изменение концентрации электролита приводит не только к изменению коэффициента поверхностного натяжения раствора, но и плотности, вязкости, электропроводности, подвижности ионов и т.д. [9].

Этот режим использовался нами в дальнейшем для прошивки отверстий в непроводящих материалах.

Исследования зависимости объемной скорости прошивки стекол от частотных характеристик.

Процесс прошивки стеклянных и керамических пластин осуществлялся на экспериментальном стенде (рис. 1). Образцы устанавливались в держателе, который расположен в ванне с рабочей жидкостью (на рисунке не показана). Автоматическое поддержание межэлектродного расстояния и механической (50–100 мН) нагрузки на обрабатываемые образцы обеспечивалось компенсирующим устройством и демпфером. Все эксперименты проводились при прямой полярности электродов.

Проведены исследования зависимости скорости объемной прошивки стеклянных образцов от частоты оборотов катода. Определено, что существует оптимальная частота оборотов ЭИ, при которой скорость обработки максимальна (рис. 3). В случае постоянства величины вкладываемой электрической мощности и концентрации электролита скорость обработки возрастает с уменьшением

диаметра ЭИ, что можно объяснить различием плотности потока энергии на единицу обрабатываемой поверхности. А рост скорости обработки с увеличением числа оборотов электрода связываем с абразивным эффектом воздействия вольфрамового электрода и ростом интенсивности выноса продуктов эрозии из зоны обработки.

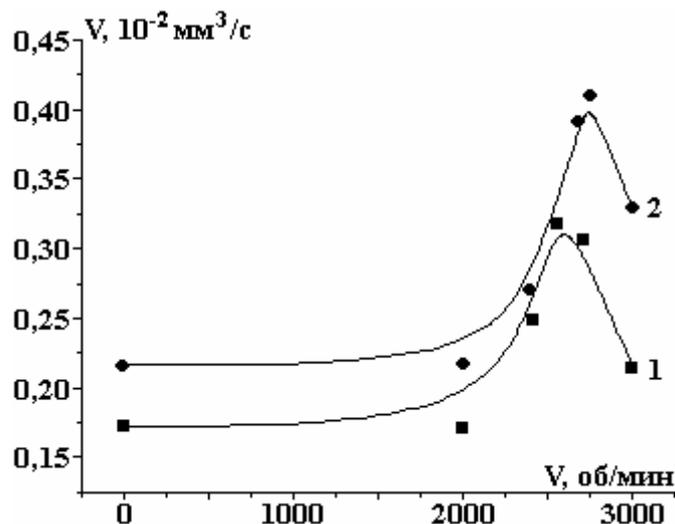


Рис. 3. Зависимость скорости съема от скорости вращения ЭИ в 6% растворе NaOH. $P = 40 \text{ Вт}$, $C = 0,05 \text{ мкФ}$. $d_{эл} (1) - 1,5 \text{ мм}$, $d_{эл} (2) - 0,8 \text{ мм}$

В работе [10] авторы вращению ЭИ приписывают иную роль. В процессе высокотемпературной эрозии стекла удаление материала происходит в области основания электрода. Глубина отверстия иногда ограничивается с областью основания ЭИ [10]. Для решения этой проблемы используется вращение или сканирование ЭИ [11].

Уменьшение скорости обработки при дальнейшем возрастании частоты оборотов ЭИ связано с гидродинамическим эффектом разрушения парогазовой оболочки в результате вращения ЭИ. На это указывает тот факт, что уменьшение диаметра ЭИ смещает зависимость в область больших частот.

Для объяснения механизма воздействия электрического разряда на диэлектрик могут быть использованы результаты исследования зависимости скорости обработки от емкости релаксационного генератора, представленные на рис. 4. Скорость обработки возрастает с уменьшением величины емкости и достигает максимального значения для емкости 0,02 мкФ (этот показатель у раствора NaCl 0,1 мкФ), при которой характерные частоты находятся в области ультразвуковых частот, что подтверждает осциллографические наблюдения. Известно, что стекло хорошо обрабатывается ультразвуковыми методами с использованием абразивов.

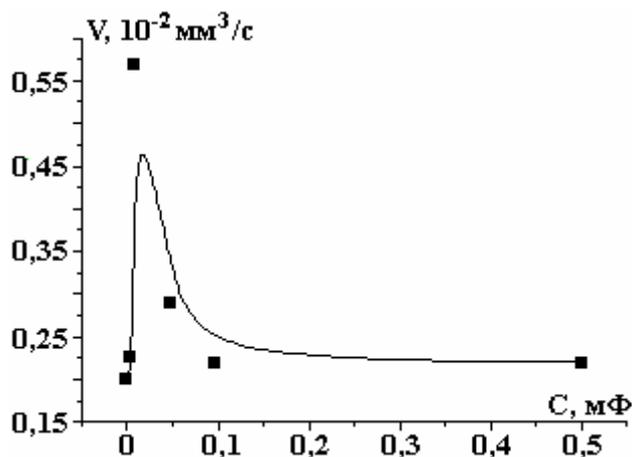


Рис. 4. Зависимость скорости съема от емкости конденсатора в 6% растворе NaOH. $d_{эл} = 1,5 \text{ мм}$, $T = \text{const}$, $P = 40 \text{ Вт}$

В отличие от вышеупомянутых выводов авторов, относительно роли ультразвука при обработке стекол авторы статьи [12], связывают механизм съема со смешиваемостью. Они предлагают вместо NaOH использовать NH₄OH одинаковой концентрации при обработке боросиликатного стекла, предполагая, что ион OH⁻ помогает удалению материала из поверхности.

Авторы работы [13] считают, что увеличение количества Na₂O в составе образца делает поверхность более мягкой. Вследствие этого поверхность будет легче обрабатываться наконечником электрода инструмента.

Вывод относительно роли иона OH⁻, по нашему мнению, существенно преувеличен. Одним из факторов воздействия на процесс обработки наряду с плазмохимическим воздействием, стимулированным высокой температурой, является кавитация, возникающая в результате генерации ультразвуковых колебаний в области катода. Как указывалось выше, в растворе NaOH (по сравнению с NaCl) коэффициент поверхностного натяжения меньше, из-за чего проводимость увеличивается, а сопротивление разрядного промежутка уменьшается. Это приводит к уменьшению постоянной времени разряда RC-генератора и в соответствии с этим – сдвигу характерных разрядных частот в область высоких частот. В связи с этим в области низких концентраций, согласно характеру изменения коэффициента поверхностного натяжения, скорость обработки низка и возрастает с увеличением концентрации.

Один из источников ультразвука при электроэрозионной обработке – прерывание электрической дуги при вращении катода. На рис. 5 это можно пояснить так:

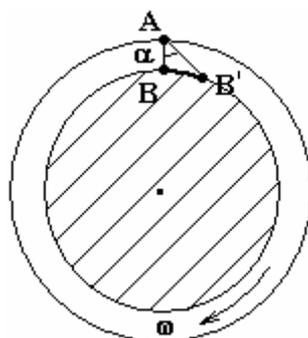


Рис. 5

Заштрихованная часть канала представляет собой вращающийся с угловой скоростью ω катод. В момент времени t точка A на поверхности пленки электролита, являющейся по сути анодом, и B на поверхности катода соединены микродугой. В момент времени $t' = t + \Delta t$ точка B перемещается в положение B' . При этом создаются условия для разрыва дуги. В соответствии с соотношением:

$$K = \operatorname{tg} \alpha = BB'/AB = R \cdot \omega \cdot \Delta t / h$$

получаем

$$\Delta t = K \cdot h / (R \cdot \omega).$$

Например, для $h = 0,01$ мм, $R = 1$ мм, $\omega = 40$ с⁻¹ имеем $\Delta t = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с (секунд). Здесь K – число порядка 0,1. Таким образом, $\Delta t = 2,5 \cdot 10^{-5}$ с. Соответствующая частота $f = 1/\Delta t = 40$ кГц.

Заключение

Установлено, что в режиме образования плазменной оболочки вблизи катода в электролитной среде возможна обработка неэлектропроводящих материалов. Исследовано влияние на скорость обработки этих материалов таких технологических параметров, как частота вращения электрода-инструмента и емкость релаксационного генератора. Показано, что скорость прошивки зависит от частоты релаксационного генератора и частоты оборотов электрода-инструмента. Вышеизложенные расчеты и факты свидетельствуют о том, что у комбинированной электроэрозионно-электрохимической обработки есть и ультразвуковые составляющие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belloy E., Sayah A., Gijss M.M. Micromachining of glass inertial sensors. *J. Micromech. Microeng.* 2002, **11**, 85–90.

2. Bien D.C. S., Rainey P.V., Mitchell S. J. N., Gamble H.S. Characterization of masking materials for deep glass micromachining. *J. Micromech. Microeng.* 2003, **13**, S34–40.
3. Yagyu H., Sugano K., Hayashi S., Tabata O. Micropowder blasting with nanoparticles dispersed polymer mask for rapid prototyping of glass chip. *J. Micromech. Microeng.* 2005, **15**, 1236–1241.
4. Zhang H., Guo H., Chen Z., Zhang G., Li Z. Application of PECVD SiC in glass micromachining. *J. Micromech. Microeng.* 2007, **17**, 775–780.
5. *Ceramics and Society*. Ed. R.J. Brook. Faenza: Techna, 1995. 158 p.
6. *Role of Ceramics in a Self-Sustaining Environment*. Eds. R. Pampuch, K. Haberko. Faenza: Techna, 1997. 206 p.
7. June –Ho, Young –Hag Koh, Hyoun-Ee Kim. Densification and Mechanical Properties of titanium Diboride with Silicon Nitride as a Sintering Aid. *J. Am. Ceram. Soc.* 1999, **82**(11), 3037–3042.
8. Abdulkarimov E.T., Mirkarimov A.Sh., Zaripov A.A. Electroerosion treatment of dielectric materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007, **43**(2), 77–82.
9. Абдукаримов Э.Т., Миркаримов А.М., Зарипов А.А. Исследование электрического разряда в водном растворе электролита. *Uzbek Journal of Physics*. 2003, **5**(1), 52–57.
10. Tokura H., Kondoh I., Yoshikawa M. Ceramic material processing by electrical discharge in electrolyte. *J. Mater. Sci.* 1989, **24**, 991–998.
11. Gautam N., Jain V.K. Experimental investigations into ECSD process using various kinematics. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 1998, **38**, 15–27.
12. Smith R.D., Corbin P.E. Attack of glasses by alkaline solutions. *J. Am. Ceram. Soc.* 1949, **32**, 195–198.
13. Scholze H. *Glass Nature, Structure and Properties*. New York: Springer-Verlag, 1990. P. 293–294.

Поступила 25.10.10

Summary

The authors of the article put forward the combined electrical discharge (EDM) method of processing of composite non-conductive materials. The article sheds light on the study of electric discharge in water electrolyte solution, comparison of electrolytes and their strength, as well as the study of electrical and mechanical characteristics of processing of different dielectric materials.
