

Д. Т. Н. С. Н. Григорьев¹, д. т. н. В. В. Кузин¹ (✉), к. т. н. С. Ю. Фёдоров¹,
д. фил. Тибор Салаи², к. д. фил. Балаж Фаркаш²

¹ ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва, Россия

² Будапештский университет технических и экономических наук, г. Будапешт, Венгрия

УДК 666.3: 621.9.048.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКЕ. Часть 2^{*1}

Приведены результаты изучения влияния технологических режимов электроэрозионной обработки на точность отверстий малого диаметра в деталях из высокоплотной керамики. Установлено, что повышение напряжения пробоя, коэффициента усиления напряжения, силы пикового тока и рабочего напряжения приводит к неоднозначному изменению диаметра и отклонений от формы отверстий, а также диаметра и высоты конуса на его дне.

Ключевые слова: высокоплотная керамика, электроэрозионная обработка, точностные параметры.

Цель работы — исследовать влияние напряжения пробоя, коэффициента усиления напряжения, силы пикового тока и рабочего напряжения электроэрозионной обработки на точностные параметры «глухих» отверстий малого диаметра в высокоплотной оксидно-карбидной керамике.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика проведения экспериментальных исследований подробно описана в части 1 статьи. В настоящем исследовании провели четыре серии экспериментов. В первой серии изменяли напряжение пробоя U_g (gap voltage) в диапазоне от 40 до 100 В, а другие параметры электроэрозионной обработки оставляли неизменными: частота импульсов $f = 120$ кГц, длительность импульса $t_{\text{и}} = 5$ мкс, сила пикового тока $I = 65$ А, рабочее напряжение $U = 120$ В, энергия импульсов $E = 0,105$ Дж, коэффициент усиления напряжения $k_u = 70$, глубина сверления $t = 0,5$ мм. Во второй серии экспериментов изменяли значение коэффициента усиления напряжения k_u (gain) в диапазоне от 10 до 100, а другие параметры оставляли неизменными: $f = 120$ кГц, $t_{\text{и}} = 5$ мкс, $I = 65$ А, $U = 120$ В, $E =$

0,105 Дж, $U_g = 80$ В, $t = 0,5$ мм. В третьей серии экспериментов изменяли силу пикового тока I в диапазоне от 20 до 50 А, оставляя постоянными: $f = 120$ кГц, $t_{\text{и}} = 5$ мкс, $U = 120$ В, $E = 0,105$ Дж, $U_g = 80$ В, $k_u = 70$, $t = 0,5$ мм. В четвертой серии изменяли рабочее напряжение U в диапазоне от 90 до 160 В, а другие параметры не изменяли: $f = 120$ кГц, $t_{\text{и}} = 5$ мкс, $I = 65$ А, $E = 0,105$ Дж, $U_g = 80$ В, $k_u = 70$, $t = 0,5$ мм.

Точность изготовленных отверстий оценивали с использованием следующих параметров: диаметр отверстия D_o , отклонения от круглости отверстия Δ_o , отклонения профиля продольного сечения отверстия от цилиндрической поверхности $\Delta_{\text{п}}$, диаметра конуса $d_{\text{к}}$, образованного на дне отверстия, высоты конуса h , ширины области повреждений l^{*2} .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования влияния U_g , k_u , I и U на точностные параметры «глухих» отверстий малого диаметра в заготовках из высокоплотной оксидно-карбидной керамики ВСК71 показаны на рис. 1. Рассмотрим полученные зависимости последовательно.

Установлено, что точность «глухих» отверстий в заготовках из ВСК71 значительно ухудшается в диапазоне $U_g = 40 \div 100$ В (см. рис 1, а). Наибольшее влияние U_g оказывает на Δ_o ,

^{*1} Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 5 за 2014 г.

✉
В. В. Кузин
E-mail: kyzena@port.ru

^{*2} Григорьев, С. Н. Технологические особенности электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике. Часть 1 / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, Тибор Салаи, Балаж Фаркаш // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 52–56.

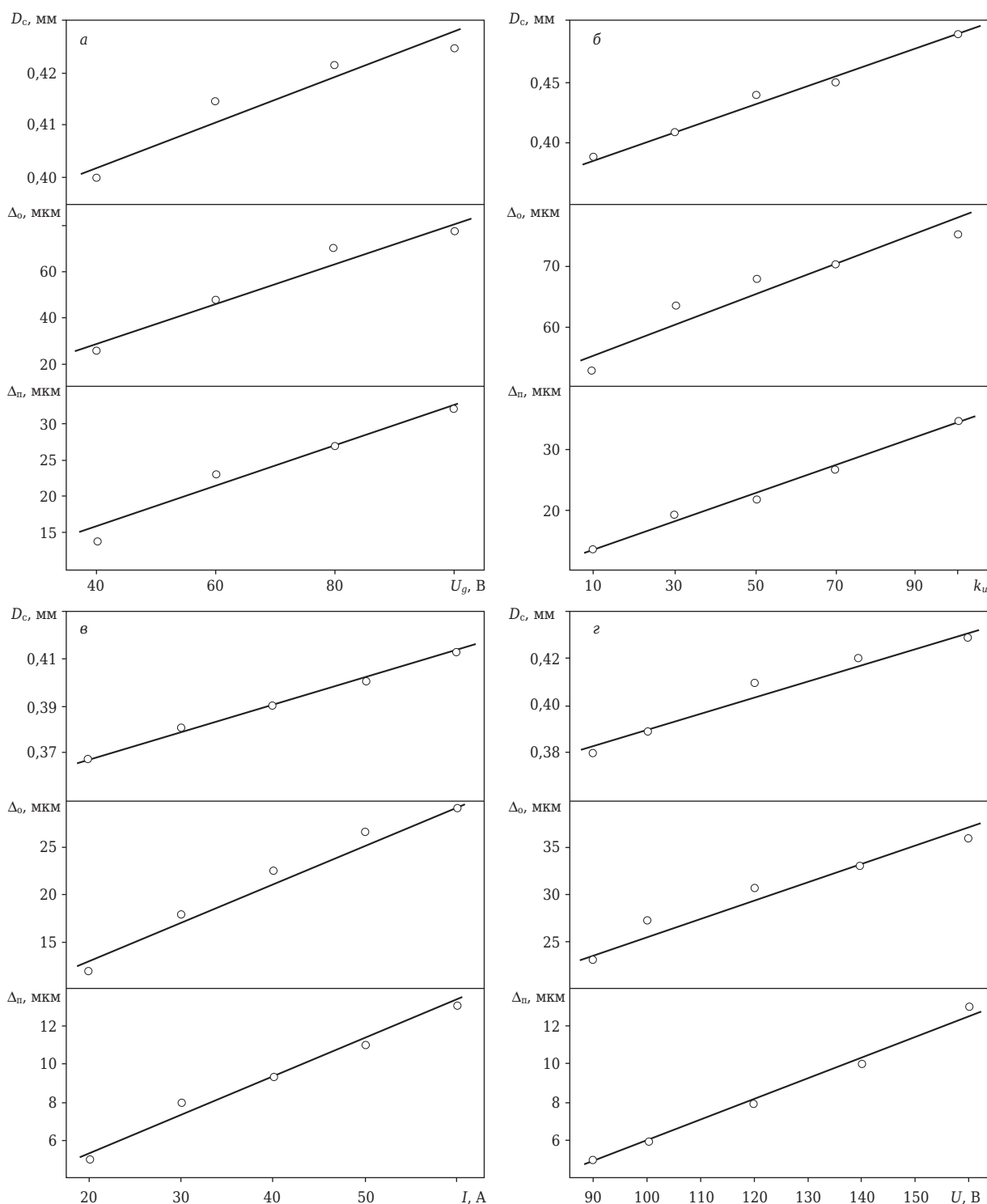


Рис. 1. Влияние напряжения пробоя U_g (а), коэффициента усиления напряжения k_u (б), силы пикового тока I (в) и рабочего напряжения U (г) на точностные параметры «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71 при электроэрозионной обработке

наименьшее — на D_c , причем эти зависимости с высокой точностью описываются линейной функцией. Увеличение U_g с 40 до 100 В приводит к увеличению D_c на 6 %, причем наименьшее значение D_c (0,40 мм) зафиксировано при электроэрозионной обработке с $U_g = 40$ В, а

наибольшее (0,425 мм) с $U_g = 100$ В. Наибольшее влияние напряжение пробоя оказывает на отклонение от круглости «глухого» отверстия в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71. Например, при $U_g = 40$ В Δ_o составляло 27 мкм, а при $U_g = 100$ В этот параметр увели-

чивается более чем в 2,5 раза и достигает 68 мкм. В несколько меньшей степени увеличение U_g ухудшает отклонение профиля продольного сечения отверстия от цилиндрической поверхности: с повышением U_g от 40 до 100 В зафиксировано увеличение Δ_n в 2,3 раза — с 14 до 32 мкм.

Результаты исследования влияния k_u на точностные параметры «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71 показаны на рис. 1, б. Видно, что с увеличением k_u с 10 до 100 точность отверстий также ухудшается по линейной зависимости. Зафиксировано увеличение D_c с 0,38 до 0,49 мм (в 1,3 раза), Δ_o с 52 до 76 мкм (в 1,5 раза) и Δ_n с 13 до 34 мкм (в 2,6 раза) при повышении k_u с 10 до 100.

Результаты исследования влияния I на точностные параметры «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71 показаны на рис. 1, в. Наименьшее влияние I оказывает на D_c . Видно, что повышение I с 20 до 60 А увеличивает D_c на 12 % (с 0,37 до 0,41 мм). Более интенсивное влияние I оказывает на Δ_n . Например, Δ_o увеличивается в 2,4 раза (с 12 до 29 мкм), а Δ_n — в 2,6 раза (с 5 до 13 мкм).

Установлено, что увеличение U с 90 до 160 В приводит к значительному ухудшению точности «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71 (см. рис. 1, г). В наименьшей степени это влияние проявляется на изменении D_c , а наиболее существенно — на отклонениях от формы отверстия. Например, повышение U с 90 до 160 В приводит к увеличению D_c на 13 %, а Δ_o и Δ_n — в 1,6 и 2,5 раза соответственно.

Влияние режимов электроэрозионной обработки на геометрию дна «глухого» отверстия показано на рис. 2 и 3. Результаты этого исследования имеют особый интерес, так как геометрия дна канавки в полной мере коррелирует с геометрией лунки износа на торцевой поверхности электрода-инструмента. Поэтому выявленные закономерности влияния технологических параметров электроэрозионной обработки на диаметр d_k и высоту h конуса на дне «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71 целесообразно рассматривать во взаимосвязи с износом электрода-инструмента.

Износ электрода-инструмента и, как следствие, изменение геометрии дна «глухих» отверстий наглядно прослеживаются на микрофотографиях отверстий, обработанных с минимальными и максимальными значениями U_g , k_u , I и U (см. рис. 2). Наиболее активно влияют на величину износа U_g и U , причем эти параметры оказывают разнонаправленное

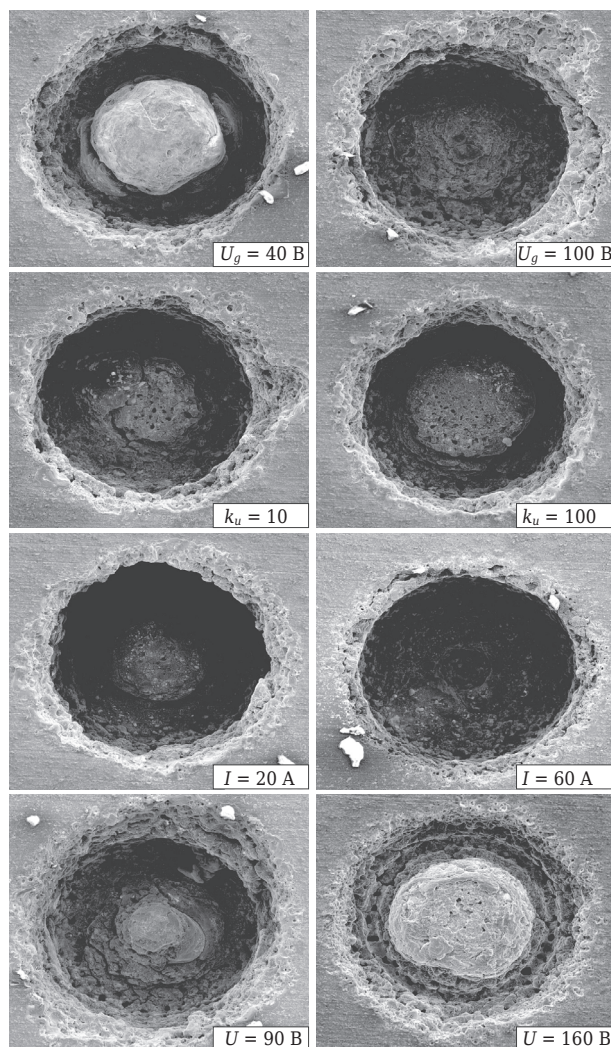


Рис. 2. Влияние технологических параметров электроэрозионного сверления на геометрию дна «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71

влияние. Наибольший износ электрода-инструмента проявляется при сверлении отверстия с наименьшим значением U_g (40 В) и наибольшим значением U (160 В). На изменение k_u и I износ электрода-инструмента влияет значительно менее интенсивно. Более детальные результаты этого исследования показаны на рис. 3.

Установлено, что с повышением U_g в диапазоне 40–100 В происходит уменьшение d_k с 0,23 до 0,14 мм и h с 0,36 до 0,13 мм (см. рис. 3, а). При повышении k_u с 10 до 100 зафиксировано увеличение d_k в 1,5 раза и h в 1,2 раза (см. рис. 3, б). С повышением I с 20 до 60 А значения обоих параметров, описывающих геометрию конуса, уменьшаются в 2,0 раза (см. рис. 3, в). При повышении U с 90 до 160 В d_k увеличивается с 0,21 до 0,31 мм, а его h — почти с 0,13 до 0,37 мм (см. рис. 3, г). Анализ выявленных зависимостей показал, что они с высокой точностью описываются линейной функцией.

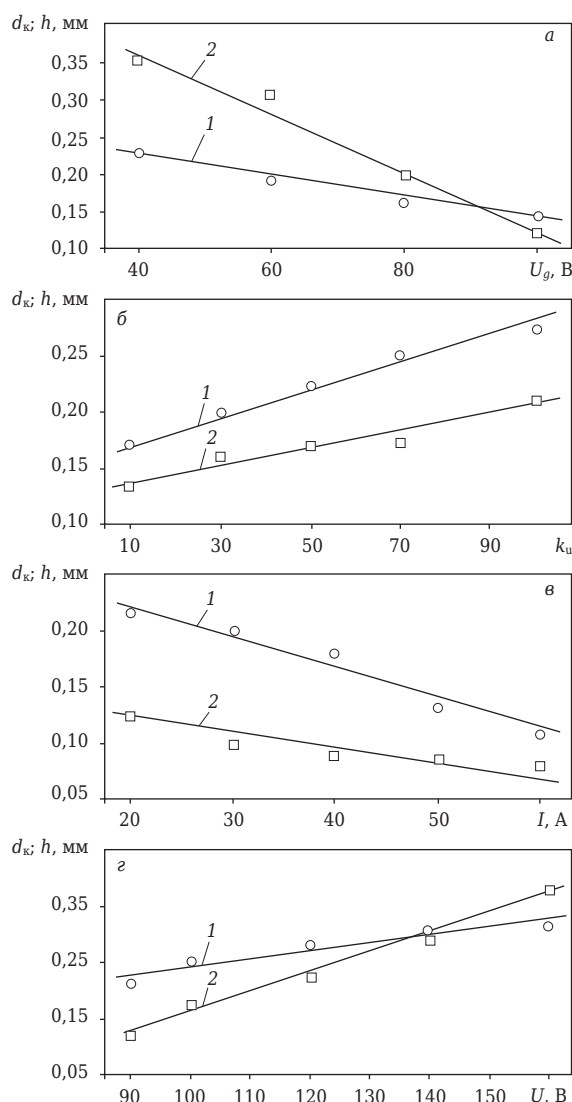


Рис. 3. Влияние технологических параметров электроэрозионного сверления на диаметр d_k (1) и высоту h (2) конуса на дне «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71

Сложное влияние U_g , k_u , I и U на точностные параметры «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71 определяют необходимость поиска оптимальных значений технологических параметров электроэрозионного сверления.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

75th

Conference on Glass Problems

Organized by Glass Manufacturing Industry Council & Alfred University

November 3 - 6 | Greater Columbus Convention Center | Columbus, Ohio USA

75-я конференция по проблемам стекольной промышленности

3–6 ноября 2014 г.

г. Колумбус, штат Огайо, США

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что напряжение пробоя U_g , коэффициент усиления напряжения k_u , сила пикового тока I и рабочее напряжение U значительно влияют на точность «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71.

Повышение U_g в диапазоне 40–100 В приводит к увеличению диаметра отверстия D_c на 6 %, а отклонений от круглости отверстия Δ_o и профиля продольного сечения от цилиндрической поверхности Δ_n в 2,5 и 2,3 раза соответственно, но при этом диаметр d_k и высота конуса h на дне отверстия уменьшаются в 1,6 и 2,8 раза соответственно. С повышением k_u в диапазоне 10–100 происходит увеличение D_c , Δ_o , Δ_n , d_k и h в 1,3; 1,5; 2,6; 1,5 и 1,2 раза соответственно. С повышением I в диапазоне 20–60 А точностные параметры отверстий D_c , Δ_o и Δ_n увеличиваются в 1,12, 2,4 и 2,6 раза соответственно, а параметры конуса на дне отверстия d_k и h уменьшаются в 2,0 и 1,6 раза соответственно. С повышением U с 90 до 160 В значения всех точностных параметров отверстия увеличиваются: D_c на 13 %, Δ_o в 1,6 раза, Δ_n в 2,6 раза, d_k в 1,5 раза, h в 3,0 раза.

Результаты исследования определяют необходимость оптимизации технологических параметров электроэрозионного сверления отверстий в деталях из высокоплотной керамики для обеспечения их точности. ■

* * *

Статья подготовлена при поддержке Минобрнауки России при выполнении научно-исследовательской работы в рамках государственного задания.

(Продолжение следует)

Получено 25.06.14
© С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров,
Тибор Салаи, Балаж Фаркаш, 2014 г.