

電解液中放電による穴加工の試験(第1報)

新技術応用部 佐川 克雄

1. 緒 言

近年構造用セラミックスの需要が増大している。しかしセラミックスは、成形焼成時に形状を決めることができるが、寸法精度はよくない。そのためセラミックスを機械部品として使用するためには、焼結後に機械加工が必要になる。セラミックスに小径の穴を開けるには、ダイヤモンド軸付き砥石やレーザーを使用する等の方法がある。またダイヤモンドやガラスに、電解液中の放電を利用して穿孔する方法がある。¹⁾

そこでアルミナセラミックスに前記の電解液中の放電を利用して、穴開けを試みたので報告する。

2. 実験方法

図1のような簡易な装置を試作した。試料は、アルミナ厚さ0.67mmを使用した。加工時間は、試料下部で放電が発生した時点までの時間とした。

繰り返しは、実際に穴開けをする場合を考慮し3回とした。(加工液及び加工電極は、取り付けたままとする。ただし電極が抜けなくなった場合は、加工電極を新品に取り替える。)

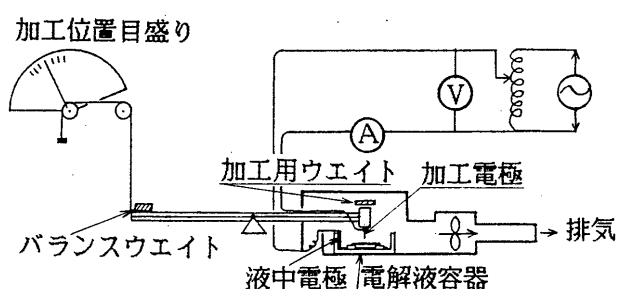


図1 加工装置

表1 アルミナの物性値

密 度	3.70 g/cm ³
硬 度	2,000 kg/mm ²
曲 げ 強 度	36 kg/mm ²
熱 膨 張 係 数	$7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
熱 伝 導 率	0.06 cal/cm · sec · °C
体積固有抵抗	10^{16} オーム · cm

加 工 電 極：0.3 mm 白金ロジウム(13%)線
先端を平らに研磨して使用
電解液中電極：直径2mm
銅線加工電源：AC70～90V
加 工 荷 重：2～4g
電 解 液：NaOH 約2～3 N

3. 実験結果及び考察

加工時間について因子として電解液濃度(2, 3 N), 加工電圧(70, 80, 90V), 加工荷重(2, 3, 4g), 加工回数(3回)を取り実験をした。分散分析の結果を表2に示す。

表 2 の関係を図に示すと

表 2 加工時間の分散分析

図 2～図 4 のようになる。

NaOH- 1 N においては,80 分以上かかっても貫通できなかった。その時の加工電極先端を図 19 に示す。 2N-70V においては,完全に貫通させるのにかなりの時間がかかる。2N-90V においては加工電

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
濃度 (A)	1	1777.111	1777.111	49.670**	27.13
電圧 (B)	2	1177.082	588.541	16.450**	17.22
荷重 (C)	2	167.642	83.821	2.343	
履歴 (D)	2	731.827	365.914	10.227**	10.29
A×B	2	13.119	6.559	0.183	
A×C	2	109.437	54.719	1.529	
A×D	2	234.923	117.462	3.283	
B×C	4	265.592	66.398	1.856	
B×D	4	724.550	181.137	5.063**	9.06
C×D	4	215.618	53.905	1.507	
誤差 (E)	28	1001.786	35.778		
合計 (T)	53	6418.687			

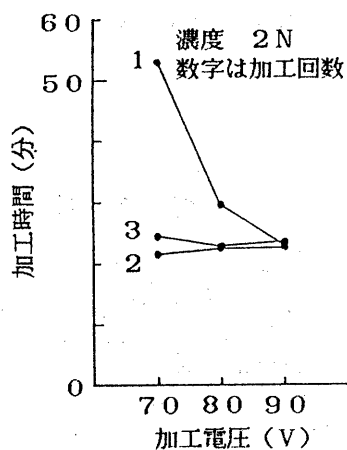


図 2 加工電圧—加工時間

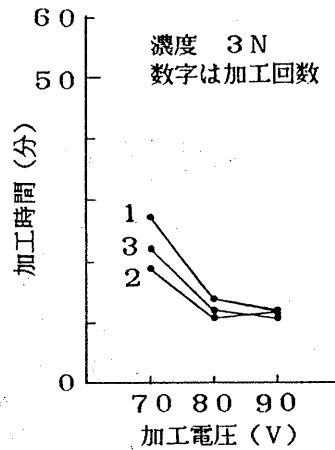


図 3 加工電圧—加工時間

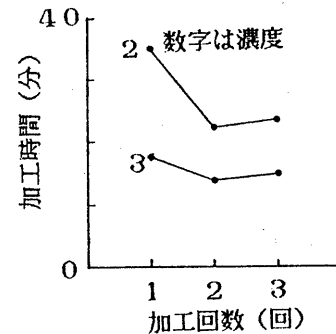


図 4 加工回数—加工時間

極の先端が溶けている。貫通する時間は短い,穴形状は悪い。

3N ではパンという音の発生が, 2N に比較して多く,電極が曲ることが多い。3N-70V では貫通に時間がかかり,下部よりの放電発生から完全貫通までの間が不安定である。また 3N では,完全に貫通させると加工用電極先端が溶けて,抜けなくなる。

次に穴を完全に貫通させる場合は,前記データより加工時間,穴の形状等を考えると 2N-NaOH 80V3g の条件が比較的良いので,この条件により穴形状確認のため, 7 試料について計 21 個の追加穴開け実験を行った。

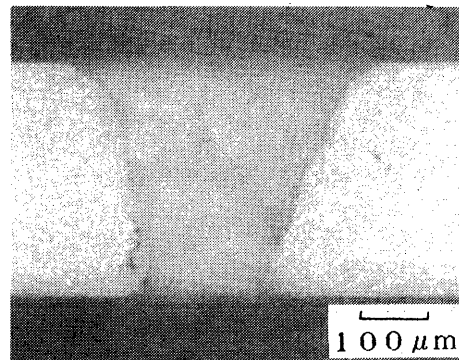


図 5 穴断面

そのときの穴形状は図5のようになった。そこでネック部分の形状を最大内接円半径と真円度(最大内接円中心法)について測定した。最大内接円半径と真円度のヒストグラムを図6と図7に示す。加工時間と最大内接円半径、真円度の関係は、相関がない。最大内接円半径と真円度の関係を図8に示す。

これは相関がある。(相関係数

$$r=0.6626^{**}>r(22,0.01)y=-$$

$$76.3+0.6x)$$

この条件で加工用電極が抜けなくなったのは、全データ24個中8回で、パンという大きな音と液の飛散および電極の曲がりは、1回であった。そこで電極が抜けなくなったときの位置関係を示すと、表3のようになる。

表3より電解液中電極に加工する穴が近い場合には、完全貫通させると加工電極が抜けなくなる可能性の大きいことがわかる。

加工位置と最大内接円半径について分散分析すると表4のようになる。

位置が高度に有意であるのでこれを示すと、図9のようになる。

加工位置と真円度について分散分析すると表5のようになる。

加工位置と試料が高度に有

意である(図10)が試料による寄与率ははるかに大きい。ある意味では、試料による違いは加工に対して誤差の一部である。そのため試料による違いを誤差と考えると加工位置による違いは無視できる。参考までに試料に

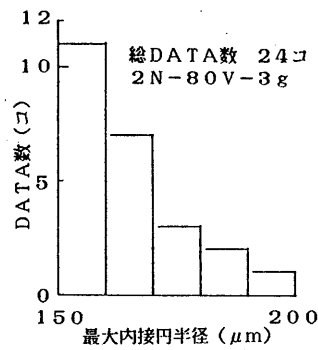


図6 ネック部最大内接半円径分布

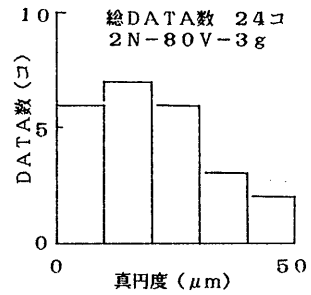


図7 ネック部真円度分布

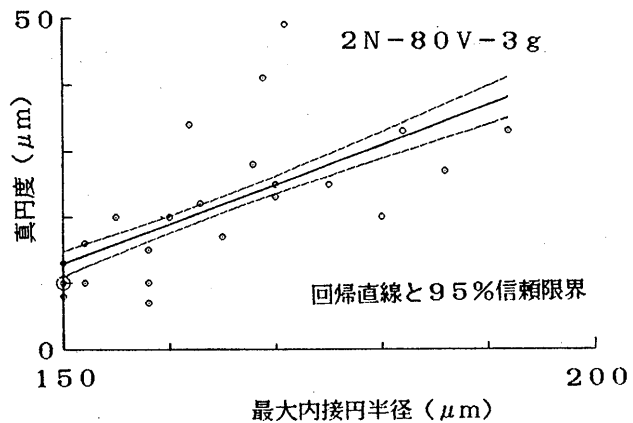


図8 最大内接円半径 - 真円度

表3 位置と抜けなくなった回数の関係

位置	抜けなくなった回数	実験回数	液中電極		
			1	2	3
1	0	8			
2	2	8	.	.	.
3	6	8			
計	8	24			

表4 内接円半径の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
位置(A)	2	1348.583	674.292	6.870**	33.79
誤差(E)	21	2061.250	98.155		
合計(T)	23	3409.833			

よる違いは、真円度以外は関係が認められなかった。

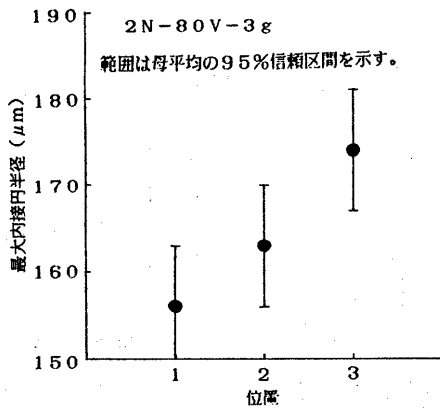


図9 位置-最大内接円半径

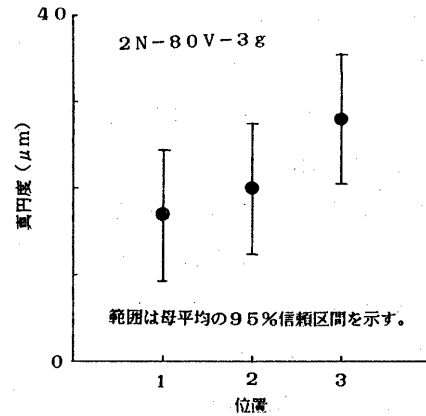


図10 位置-真円度

加工位置と加工時間について分散分析すると表6のようになる。

加工位置と加工時間は、関係がない。

加工回数と最大内接円半径、真円度、加工時間について分散分析すると、表7から表9のようになる。

これから加工回数と加工時間の間に関係があることがわかる。加工回数と加工時間の関係を示すと、図11のようになる。

放電開始から完全に貫通するまでの時間は、平均45.36秒、標準偏差11.83秒(n=22)である。

参考として穴の形状(ネック部)、加工電極先端の形状及び穴のSEM像を、図15から図20に示す。

表5 真円度の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
位置(A)	2	526.750	263.375	13.048**	17.69
試料(B)	7	1940.667	277.238	13.735**	65.43
誤差(E)	14	282.583	20.185		
合計(T)	23	2750.000			

表6 加工時間の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
位置(A)	2	340.862	170.431	2.570	
誤差(E)	21	1392.559	66.312		
合計(T)	23	1733.421			

表7 内接円半径の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
履歴(A)	2	436.583	218.292	1.542	
誤差(E)	21	2973.250	141.583		
合計(T)	23	3409.833			

表8 真円度の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
履歴(A)	2	214.750	107.375	2.528	4.72
試料(B)	7	1940.667	277.238	6.528**	59.76
誤差(E)	14	594.583	42.470		
合計(T)	23	2750.000			

加工電極の消耗については、(加工前の電極位置 - 貫通した時点の位置) - 試料の厚み (mm) として電極消耗量とする。表 2 と同じ条件の時の分散分析結果を表 10 に示す。

寄与率を見ると電極消耗に対して影響の大きいのは、繰返しである。それを示すと図 12 のようになる。

次に 2N-NaOH 80V 3g の条件の時の電極消耗量に対する分散分析結果を表 11 と表 12 に示す。

これらより電極消耗に対して影響の大きいのは、試料や、位置ではなく加工回数である。その関係を示すと図 13 のようになる。

同じ条件における電極消耗と最大内接円半径、電極消耗と真円度には相関がない。電極消耗と加工実時間は、相関がある。

(相関係数

$r=0.839, y=16.3+39.19x$) 図

27 参照

表 9 加工時間の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
履歴 (A)	2	892.816	446.408	11.152**	46.89
誤差 (E)	21	840.605	40.028		
合計 (T)	23	1733.421			

表 10 電極消耗の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
濃度 (A)	1	0.12327	0.12327	4.559*	2.2
電圧 (B)	2	0.33821	0.16911	6.254**	6.5
荷重 (C)	2	0.16938	0.08469	3.312	2.6
履歴 (D)	2	1.86588	0.93294	34.502**	41.3
A×B	2	0.02954	0.01477	0.546	
A×C	2	0.03004	0.01502	0.555	
A×D	2	0.18523	0.09262	3.425*	3.0
B×C	4	0.06378	0.01594	0.589	
B×D	4	0.67864	0.16966	6.274**	13.0
C×D	4	0.14238	0.03559	1.316	
誤差 (E)	28	0.75719	0.02704		
合計 (T)	53	4.38353			

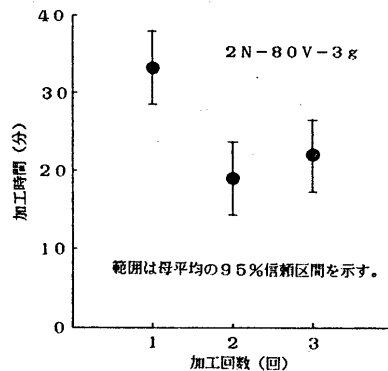


図 11 加工回数—加工時間

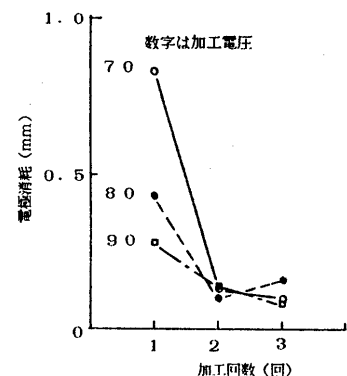


図 12 加工回数—電極消耗

表 11 電極消耗の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
位置 (A)	2	85900	42950.0	1.08	
試料 (B)	7	207000	29571.4	0.99	
誤差 (E)	14	557100	39792.9		
合計 (T)	23	850000			

3. まとめ

加工時間は加工回数に影響され、ネック部分の最大内接円半径は液中電極との距離に影響され、真円度は試料による影響が大きい、液中電極との距離にも影響される。最大内接円半径と真円度は、正の相関がある。

加工電極消耗は、加工回数に影響される。完全に貫通させる場合は、液中電極に近いと先端が溶けて引き抜くことができなくなる。

電極消耗は、実加工時間と正の相関がある。

貫通させる場合のパンという音は、下部放電が停止したのち発生し、大きい場合には電解液の多量の飛散や加工電極の曲がる場合がある。電解液を電気分解すると陽極に酸素が陰極に水素が発生するので、本実験の場合は、水素と酸素が加工電極貫通部下部に溜りそれが放電の火花で爆発するために起こると考えられる。加工電源を直流にするか、試料下部にガスが溜らないようにすれば防げると思われる。

表12 電極消耗量の分散分析

要因	f	S	V	分散比	寄与率(%)
履歴(A)	2	379675	189837.5	10.09**	40.2
試料(B)	7	207000	29571.4	1.57	
誤差(E)	14	263325	18808.9		
合計(T)	23	850000			

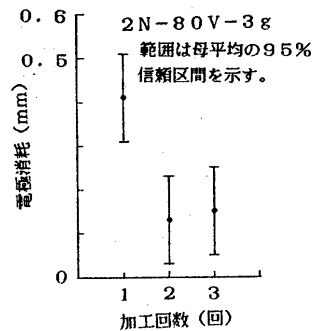


図13 加工回数 - 電極消耗

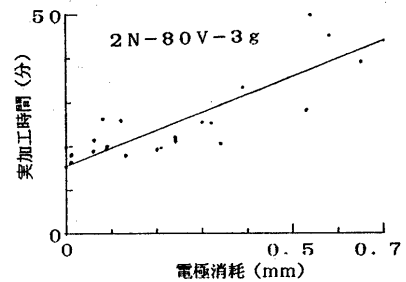
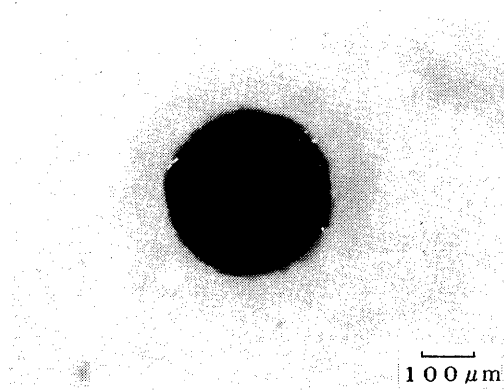
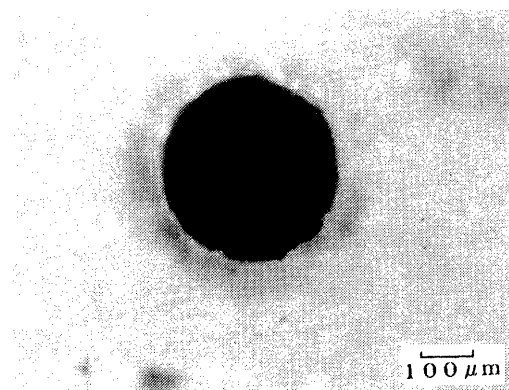


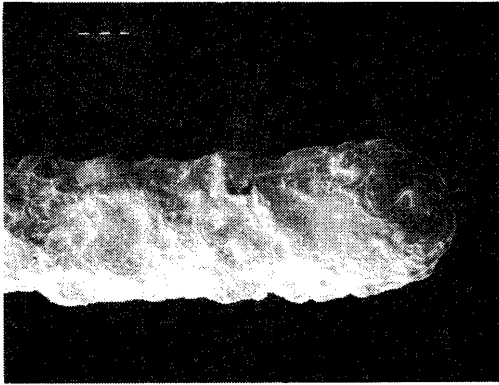
図14 電極消耗 - 実加工時間



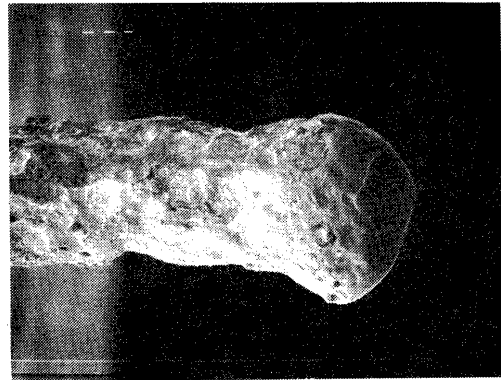
2N-80V-3 g
位置 3回目
図15



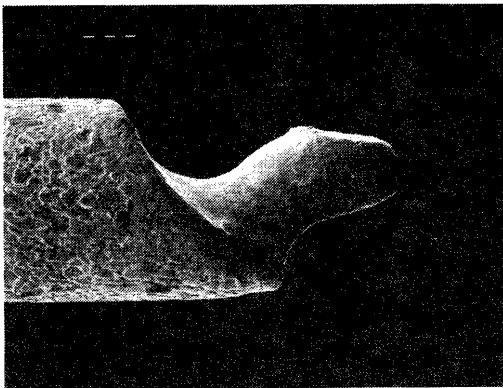
2N-80V-3 g
位置 1回目
図16



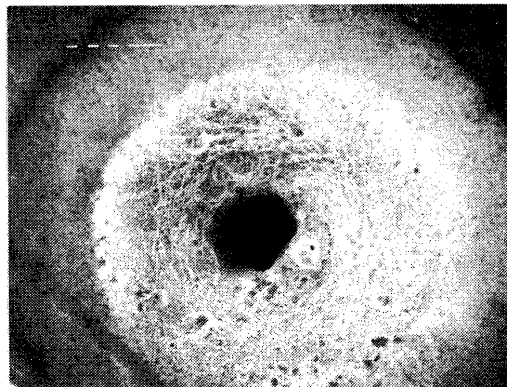
2N-80V-3 g (SEM)
位置 1 回使用
図 17



2N-80V-3g (SEM)
位置@ 1 回使用
図 18



1N-90V-2g (SEM)
穴貫通できず
図 19



3N-90V-2g (SEM)
図 20

4. 結 言

本研究を始めるにあたり、茨城大学の久保田護氏よりご教示を賜ったことに、あらためて深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 鳳ら: 放電加工 (株) コロナ社