

# 精密微細加工技術の開発

## — ELID研削法による微細加工 —

小松 利安・大柴 勝彦・大森 整\*

### Development of High Precision Micro Machining Technique

#### — Study of Precision Machining by ELID Grinding —

Toshiyasu KOMATSU, Katsuhiko OSHIBA and Hitoshi OMORI

#### 要 約

成形砥石を必要とする微細溝加工のELID研削において、大きな問題とされるメタルボンド砥石のツルーイング方法を検討するとともに、実際の研削実験を通して加工面の観察を行った。

その結果、鑄鉄ボンド成形砥石では、電解研削とELID電解を併用することにより効率よくツルーイングでき、同時にドレッシング効果もあることがわかった。また、アルミナを被削材として先端角度90度のV溝研削加工を行い、V溝の先端部とふちの部分を電子顕微鏡で観察したが、顕著なクラックはないことを確認した。なお、電解条件については、ツルーイング時は90V・12A、加工時はやや低めの60V・12Aで良好な結果が得られた。

また併せて、薄物材の研削変形に及ぼすELID研削法の効果を調べるため、厚さ1mmの窒化アルミの平面研削加工を行ったが、良好な結果は得られなかった。

#### 1. 緒 言

磁気ヘッド、光ファイバコネクタ等に代表される精密機器、電子機器等の主要材料として、アルミナやジルコニア、フェライト等のセラミックスが使用されている。これらの部材は成形砥石による微細溝加工が施される場合が多く、しかも、より高精度で高能率な加工<sup>1)</sup>が求められてきている。しかし、これら高硬度材料は難削性であるため、特に、砥石の形状維持が困難であり、ツルーイング方法が重要な課題<sup>2)</sup>となっている。

一方、高硬度材料の高精度加工法として、著者の一人である大森がELID研削法<sup>3)</sup>を開発した。この方法を用いれば、砥石の切れ味を保ちながら高精度加工を行うことが可能である。しかし、使用する砥石がメタルボンドであるために、砥石のツルーイングを能率的に行うことが難しく、ELIDで成形砥石を用いた加工<sup>4)</sup>はあまり行われていない。

また、電子機器の基板等に使用されるセラミックスは、軽量化・小型化のために薄くなってきており、従来はラッピング加工されているが、加工時間が掛かるため、できるだけ研削加工だけで仕上げ加工までできる技術が要望されている。しかし、薄物材の研削加工は、加工物に反りが発生することが知られており、反りの要因となる残留応力を

低下させる必要がある。

そこで、本研究は先端角度を90度とする成形砥石によるV溝研削加工を行い、ツルーイングや加工による砥石の摩耗量および先端形状等から、より適切なツルーイング方法について検討した。

また、ELID研削法による薄物材の平面研削を行い、残留応力等を測定して、基礎的なデータを得ることを目的とした。

#### 2. 成形砥石のツルーイング

##### 2-1 実験方法及び加工条件

ELID研削用砥石のツルーイング方法として、過去に放電加工を用いた方法<sup>5)</sup>が報告されているが、この方法は電極の消耗が激しいという欠点がある。そこで、本研究は砥石摩耗が比較的少なく、高能率・高精度な研削加工が可能な電解研削法<sup>6)</sup>を応用することにした。また、従来、ELID研削用砥石のツルーイング時には、ELID電解を停止させていた。しかし、ELID電解を利用して、成形砥石のボンド材を溶解すれば、ツルーイングの能率向上が期待できると考えた。そこで、電解研削単独によるツルーイングの他に、電解研削とELID電解を同時に行う方法についても検討した。

実験は精密平面研削盤（カールユング社製：JF520）を

\*理化学研究所 素形材工学研究室

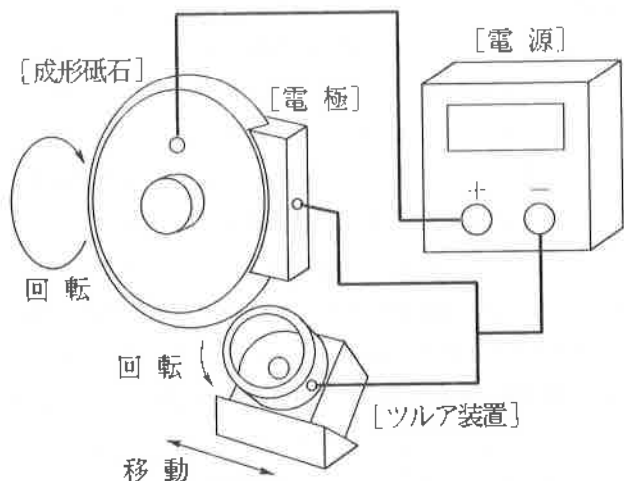


図1 実験装置の概略図

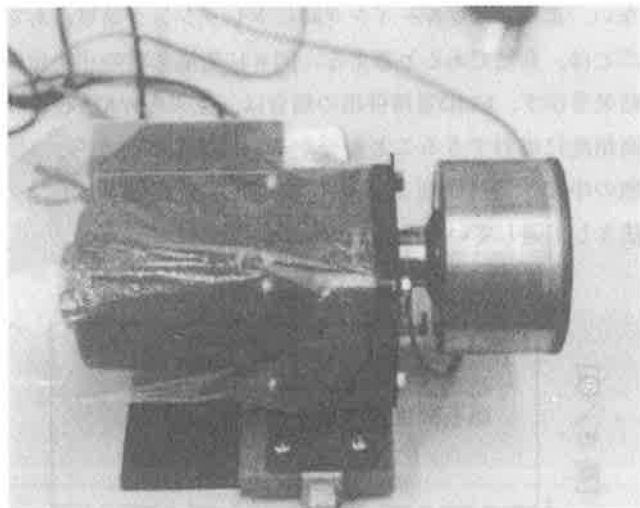


図2 ツルア装置

用い、ELID電解用電極の中心に、導電部を一部制限するために、厚さ1mmの絶縁材を挟み、砥石先端が過度に電解されないようにした。成形砥石は先端角度が90度の#325の鑄鉄ボンドのダイヤモンド砥石を使用した。図1に実験装置の概略図を示す。成形砥石を正極、ツルアと電極を負極にし、ツルアを45度の傾斜台に乗せ、成形砥石をプランジ加工で片面づつツルア加工した。図2にツルアの外観を示す。ツルア加工用砥石はカップ型の#325鑄鉄ボンドのダイヤモンド砥石と、比較用に従来のストレート型WA#400を準備した。被加工材は代表的なセラミックスとしてアルミナを使用した。表1に加工条件及びELID電解条件を、表2に被加工材(アルミナ)の特性値を示す。

成形砥石の形状と研削加工後のV溝形状および成形砥石の摩耗量を測定したが、形状測定は非接触式表面粗さ計(ペルテン社製:Perthometer C5D)により、数値比較ができるように、砥石先端の放射線方向(高さ方向)と厚さ方向(幅方向)の寸法比を測定した(図3参照)。先端角度90度

表1 加工条件およびELID電解条件

項目	条件	
砥石周速度 (m/min)	V溝研削用砥石	600
	ツルア用砥石	176
砥石切込量 ( $\mu$ m/Pass)	1	
総切込量 (mm)	ツルア加工時	0.15
	V溝研削加工時	0.5
工作物速度 (m/min)	20	
初期電解電圧・電流	90V・12A	
ON/OFF TIME ( $\mu$ sec.)	2/2	

表2 被加工材(アルミナ)の特性値

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	硬度 (GPa)	弾性率 (GPa)	熱伝導率 (W/mk)	破壊靱性 (MN/m <sup>2</sup> )
3.9~4.0	17.7~18.6	294.2~392.3	25~31	3.5~4.5

の場合、この寸法比の理想値は1になるので、測定値がどの程度近似するかによって、寸法精度の比較・評価ができる。砥石の摩耗量は、砥石直径の減少量で評価したが、二次元座標測定機(東京精密製:GJ-600)に顕微鏡を取り付け、砥石先端を12箇所測定し、真円とした場合の直径を算出した。また、溝加工を行った後の加工面を走査型電子顕微鏡(日本電子製:JEL840)で、ふち等にクラックが存在するかを確認した。

## 2-2 結果及び考察

### 2-2-1 ツルア加工方法の影響

図4に、従来の砥石による場合と電解研削単独の場合、および電解研削とELID電解を併用してツルア加工したときの砥石径減少量を示す。同一の切込量で直径減少量が多いほど、能率的なツルア加工であるといえる。従来のWA砥石では0.05mm程度減少したが、電解研削では約1.5倍の値を示した。電解研削は、機械的除去と電解除去の両作用があり、鉄系材料の場合、電解除去作用の割合が増加する。よって、機械的除去のみのWA砥石より、電解研削のほうが砥石の減少量が多くなったと考えられる。また、

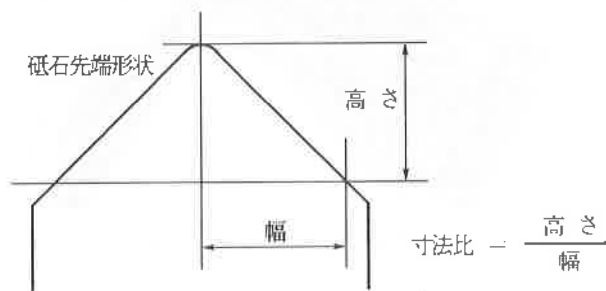


図3 寸法精度の比較方法

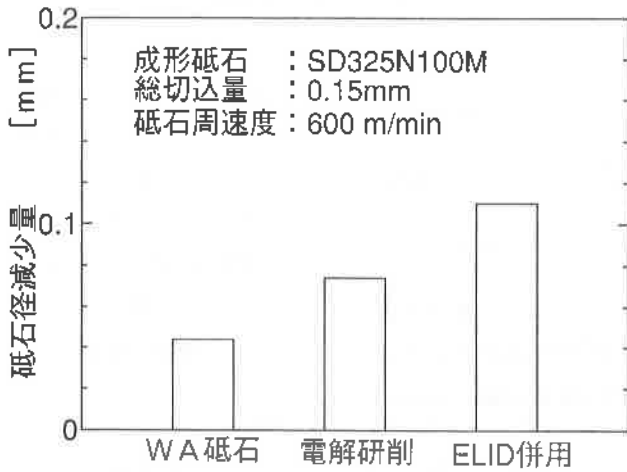
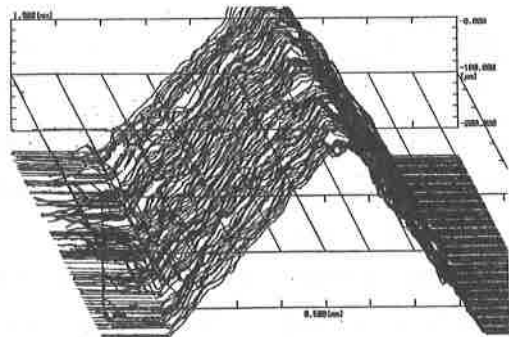
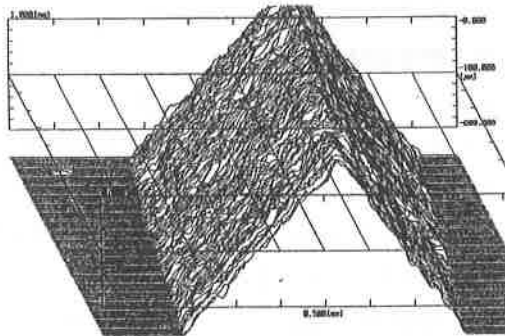


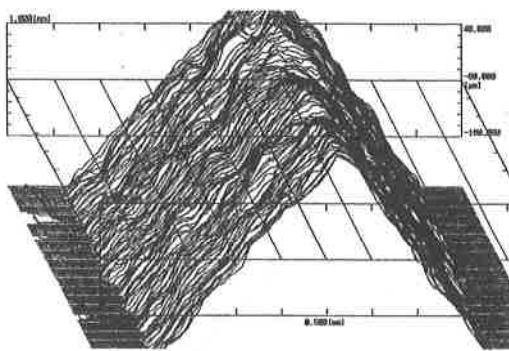
図4 ツルージング方法による砥石径減少量の影響



(a) WA砥石の場合



(b) 電解研削単独の場合



(c) ELID電解と併用した場合

図5 ツルージング方法による砥石形状の変化

ELID電解を併用した方法は、WA砥石でより約2倍、電解研削単独に対して約1.5倍減少量が多いという結果を得た。これはELIDの電解作用を加えたことにより、成形砥石のボンド材がさらに電解除去されたためと考えられる。

図5に各ツルージング方法による砥石形状の測定結果を示す。電解研削単独の場合(b)は、WA砥石の場合(a)などと比較すると、V字形状が良好に成形できている。しかし、砥粒らしい部分は観察できなかったので、成形砥石の砥粒が、電解研削によって脱落・摩耗していると推察される。逆に、ELID電解を併用した場合(c)は、砥粒の突出が顕著に観察できた。この結果は、ツルージングと同時にドレッシングも行われたことを示す。ELID研削の場合、ツルージング後、ドレッシングして加工が可能になるまで30分程度時間がかかり<sup>14)</sup>、その間砥石形状が維持されるとは限らない。よって、ツルージング時にドレッシング効果があることは、有効であると考えられる。図6に先端形状の寸法比の結果を示す。ELID電解併用の場合は、従来のWA砥石より高精度に成形できることが分かる。以上のことから、3種類の中で、電解研削とELID電解の併用が、ツルージング法として適していると考えられる。

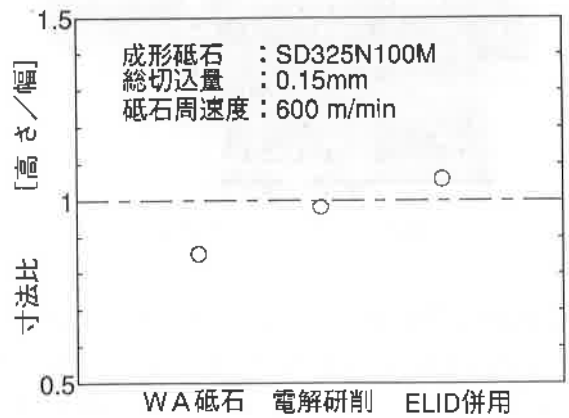


図6 ツルージング方法による砥石先端形状の寸法比の影響

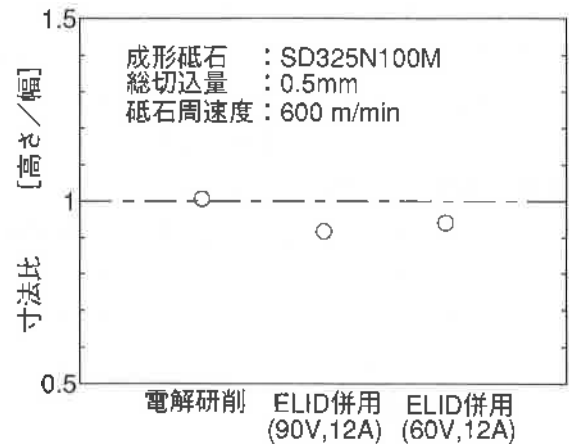
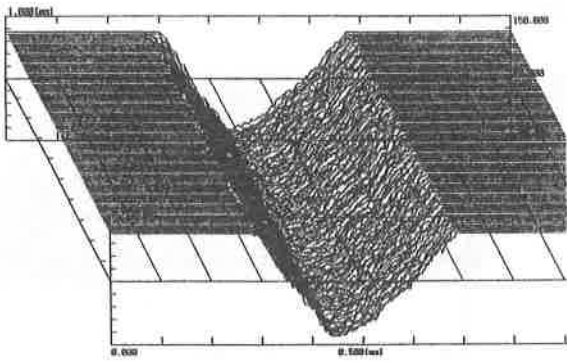
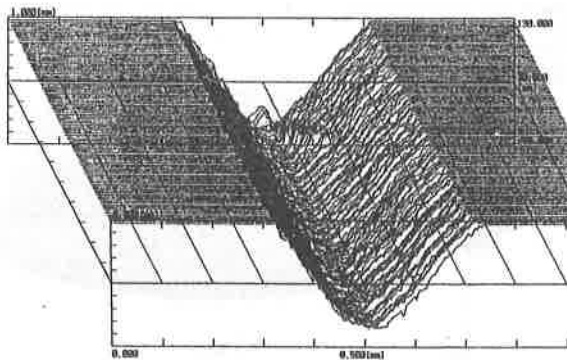


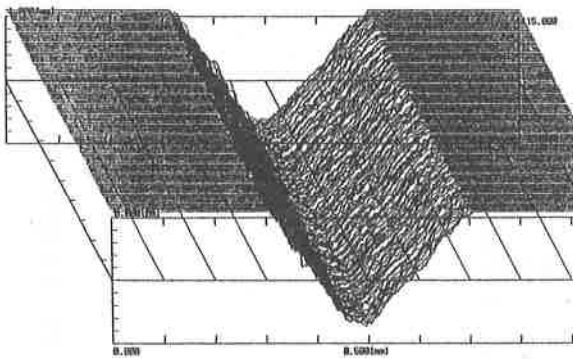
図7 V溝形状の寸法比の変化



(a) 電解研削単独の場合



(b) 90V·12AでのELID電解と併用した場合



(c) 60V·12AでのELID電解と併用した場合

図8 アルミナに加工したV溝形状

2-2-2 加工実験結果

電解研削単独およびELID電解併用でツルーイングした成形砥石を用い、アルミナをV溝研削加工した。前者の場合は、ツルーイング後30分程度初期電解ドレッシングを行い、後者の場合は、ツルーイング後すぐに加工を行った。また、加工中は砥石先端部が過度に電解されると考え、電解条件を60V・12Aに下げた実験も合わせて行った。

図7に加工したV溝の寸法比（高さ/幅）の結果を、また図8に加工面形状を示す。いずれの方法でも顕著な変化が見られず、寸法比の結果もほぼ同じ値を示した。しかし、加工後の砥石摩耗量は図9に示すように、電解条件が

90V・12Aの場合と比較して、60V・12Aの場合は半分程度である。よって、加工時には電解条件を抑え、精度を低下せずに砥石寿命が向上する結果が得られた。

次にツルーイングについて、電解条件が90V・12Aの場合と、60V・12Aの場合における比較（図10）を行った。ツルーイング効率は、後者（60V・12A）は前者（90V・12A）の約半分になった。この結果から、ツルーイング時の電解条件より研削加工時は電圧を低く設定した方が良いと推察できる。

加工されたV溝の先端部とふちの部分を電子顕微鏡で観察（図11）したが、双方とも顕著なクラックは観察されず、正常な研削加工が行われていることが確認できた。

3. 薄物研削加工

3-1 実験方法及び加工条件

実験は、熱伝導性が良く、基板として使用され始めている窒化アルミ（表3）を用いた。他のセラミックスに比べて靱性があり、加工しにくい材質である。試料（50×50×1mm）を治具にワックスで固定し、鋳鉄ボンドのダイヤモンド

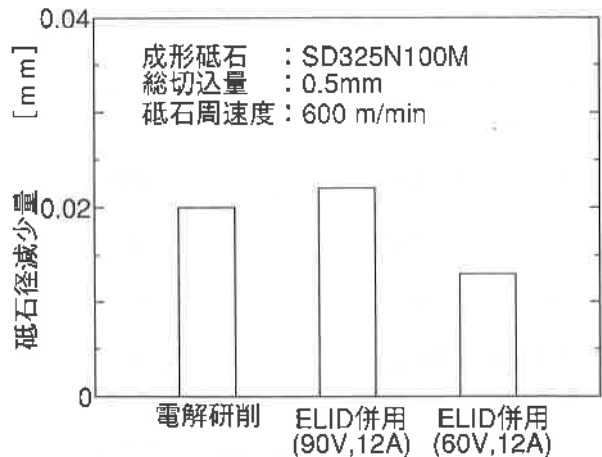


図9 ツルーイング方法による加工時の砥石摩耗量の変化

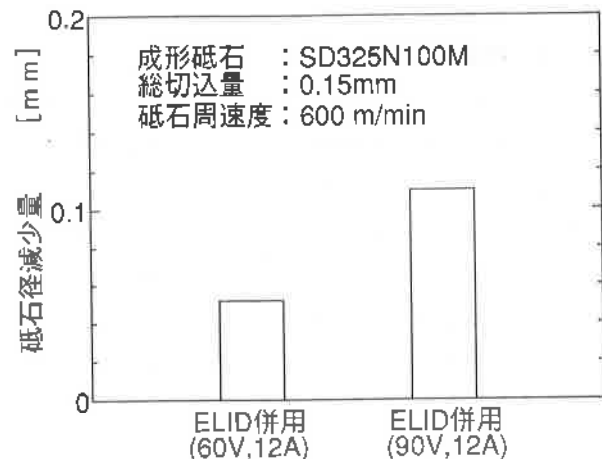
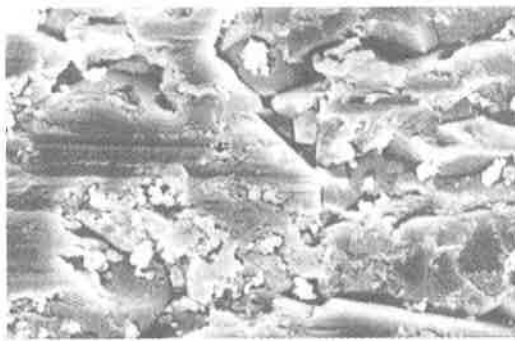
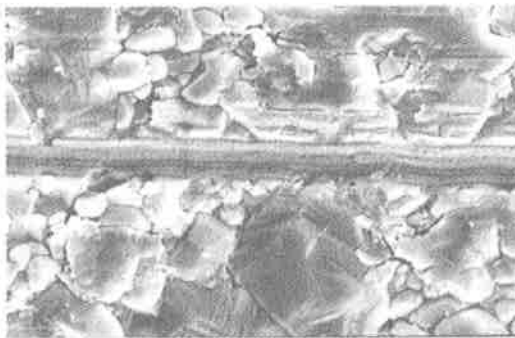


図10 電解条件による砥石径減少量の変化



(a) 先端部分



(b) ふちの部分

図11 電子顕微鏡によるV溝の写真

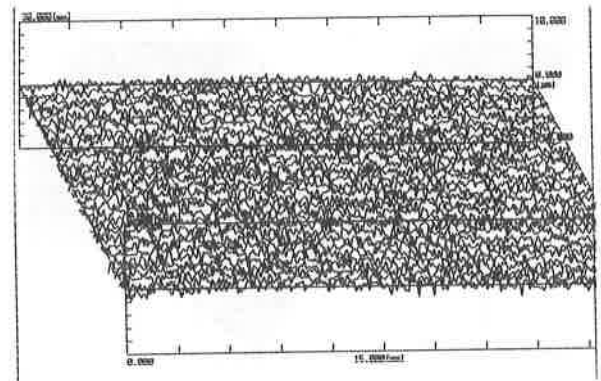
表3 窒化アルミの特性

項目	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.26
硬度 (GPa)	13.0
弾性率 (GPa)	310.0
熱伝導率 (W/mk)	29.4

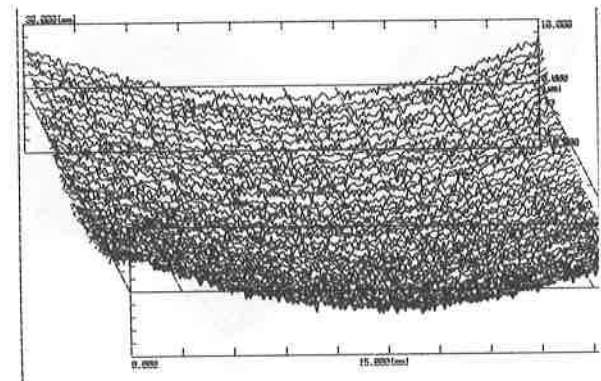
ンド砥石で、砥石周速度を1200m/minとして加工した。反りの測定は非接触式表面粗さ計（ベルテン社製：Perthometer C5D）、残留応力はX線応力解析装置（リガク製：RAD-X）で測定した。

### 3-2 結果および課題

図12に、#1000と#4000で加工した場合の、加工面の反りの測定結果を示す。#4000の場合は、大きな変形を生じるが、砥粒が微細になると研削抵抗が増加するため、残留応力が起きやすくなると考えられる。図13に#4000で研削した加工面のX線残留応力測定結果（ $2\theta$ - $\sin^2\psi$ 線図）を示す。ELID研削法を利用して、圧縮応力が残留してしまい、反りの防止は出来なかった。今後、加工条件を変えて検討することが必要である。



(a) #1000の場合



(b) #4000の場合

図12 窒化アルミの反りの変化

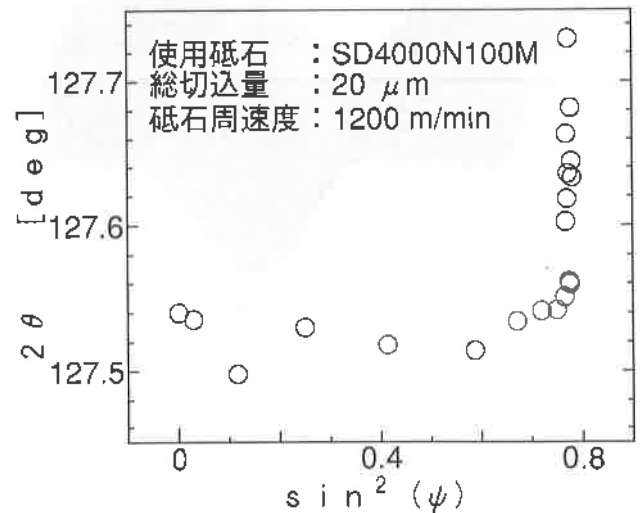


図13 窒化アルミの $2\theta$ - $\sin^2\psi$ 線図

## 4. 結言

ELID研削法において、成形砥石のツルーイング方法と、窒化アルミの薄物研削加工についての実験を行った結果、次のことが確認できた。

- 1) 電解研削とELID電解を併用した方法は、最も効率よくツルーイングができ、ドレッシング効果もある。
- 2) ELID研削での溝加工時の電解条件は、ツルーイング

時より低く設定した方が良好な結果が得られる。

- 3) ELID研削加工したアルミナのV溝先端部とふちの部分には、顕著なクラックの発生は認められなかった。
- 4) 薄物材 (窒化アルミ:50×50×1 mm) のELID研削において、反り (変形) の発生防止には、加工による残留応力の解明が重要である。

#### 参考文献

- 1) 柳瀬辰仁, 他 3 名: 放電加工による薄刃砥石の機上精密ツルーイング, 精密工学会誌, 61, 6 (1995) 819
- 2) 近藤啓一, 他 3 名: 単結晶および多結晶フェライトの溝研削における表面品位の研究, 砥粒加工学会誌, 40, 1 (1996) 38
- 3) 東江真一: ツルーイング・ドレッシング技術の現状と問題点, 砥粒加工学会誌, 39, 5 (1995) 6
- 4) 大森 整, 他 1 名: 超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング (ELID) 研削法, 精密工学会誌, 59, 9 (1993) 1451
- 5) 大森 整: ELID研削加工技術, 第13回ELID研削セミナーテキスト (1995)
- 6) 佐藤敬一: 放電加工と化学加工, 朝倉書店 (1970) 155