研 究

ジルコンチタン酸鉛磁器の生産ラッピング*

新井湧三** 井田一郎*** 古本俊一****

Production Lapping of Lead Zirconate-Titanate Ceramics

Yuzo ARAI, Ichiro IDA, Shun'ichi FURUMOTO

Production lapping of lead zirconate-titanate ceramics are dealt with lapping rate, parallelism, yield and machining time including cutting-off time, since ceramics are machined as plane-parallel, slender, thin plates in using for relay switches. The results obtained are as follows: (1) The order in lapping rate is A (no additive) > D (added Cr) > C (added Nb) > B (added Fe). Strong specimen C has a yield of 95%. (2) The difference in plate thickness within 10μ and the parallelism of 2μ are obtained from plane-parallel lapping, where the motion of specimens is restricted in carriers. (3) The concentration of lapping vehicle influences on lapping rate only by a factor of 5%. Supplying vehicle at a rate of 150 cc/min is desirable for preventing from breakage of plates. (4) Cut-off thickness is chosen as 0.3 mm regardless of the kind of ceramics. The whole machining time in lapping plates of 0.3 mm thick to 0.2 mm thick is shortened by a factor of about 40% than in lapping plates of 0.5 mm thick.

1. 緒 言

ジルコンチタン酸鉛磁器をバイモルフ形式にして通路素子に用いるさい、その形状は印加電圧と変位の関係より、平行平たんな $50 \times 5 \times 0.2\text{mm}$ 程度の薄板になる。これを焼成だけで得ようとしても、一般セラミックと同様に精度に限界を生じ、特に細長い薄片ではそのわん曲が著しい。したがって磁器を分極後、平らな金属板に接着すると、素子の減極を招き、その性能や信頼性に対して好ましくない結果をもたらす。

ところで、この磁器は酸化物セラミックにくらべると、かたさが低く、マトリックスも少ないので、ラップしやすい反面、上記のような短冊片は、加工中や取扱中に破壊しやすい。したがってその歩留りは大きな問題となってくる。そこで量産を前提とした生産ラッピングで、特に板厚と歩留りの関係を明らかにし、工数算定に密接に関連する切断板厚についてもその限界を中心に、二次加工の総合的な加工能率を検討した。

2. 各種加工面の形状

図1に形状の測定結果を示す。これは非接着形ひずみゲージに触針を取り付けて測定したもので、その倍率は

300、測定圧は3 gである。(a)は約 150μ の凸で、その両端には 50μ のばり状の曲がりがある。これは加圧成形のさいの粉体間や金型側面との摩擦による。(b)の短冊片は打抜きされたため、両端にかえりを生じ、かつ中央部には不均一収縮によるうねりがある。また表面はたたみ目状を呈する。(c)、(d)は砥粒加工したものであるが、内部応力のために $10 \sim 17\mu$ わん曲している。図2で、加圧成形によるものはうねりを有していても、比較的一様であるのに対して、泥しょう法によるものは焼成時の不均一な収縮によるうねりを生じ、表面はたたみ目状で方向性をもつ。

成形による場合の板厚差は5～10%、平行度は両凸の 40μ 、泥しょう法によるときのそれは約 10μ といずれも製造法としての限界に近い。研削では接着誤差があつて

図1 各種加工面の表面形状

* 原稿受付 昭和42年7月4日。昭和41年度秋季大会学術講演会（昭和41年11月21日）にて発表

** 正会員 もと電気通信研究所、現京都セラミック（株）

*** 正会員 電気通信研究所（武蔵野市緑町3-9-11）

**** 電気通信研究所

図2 一次加工面の表面あらさ

平行度は 16μ と低く, ラッピングでそれが 5μ であるのは, 板厚差の収れんが不十分であることを示す。

3. 実験装置とその方法

3.1 試料

試料*にはPbの一部をSrで置換し, 添加物を含まない真性磁器Aと, これに微量のFe, Nbをそれぞれ加えた変性磁器B**, CのほかにCrを添加したD**を用いた。これらの機械的性質は表1に示すように, 回路部品用セラミックの一つであるステアタイトに比し, かたさは約1/2, 曲げ強さは約1/3である。結晶粒***が細かく(1.7μ), 比較的一様な欠陥をもち, その数も9%と少ないB'はかたさの荷重依存性が小さい。一方, 結晶粒が大きく(7μ), 気孔欠陥も大きい(10μ)Aは, かたさのばらつきが40%もあるのが特徴である。C, Dは両者の中間にある。

3.2 実験装置および実験方法

表2に用いたラップ盤の仕様とラッピング条件を, 図3にラップ盤, キャリヤおよび試料の相互関係を示す。片面ラッピングでは対称性と配置換えの容易さから8枚を, 両面ラッピングではキャリヤの有効寸法から矩形片は3枚×4キャリヤ=12枚を, 短冊片は7枚×4=28枚****を同時に加工した。

平行度測定には指示マイクロメータ, ダイヤルインジ

* 一般に $Pb(Zr_x \cdot Ti_{1-x})O_3$ で表わされる。

**異なったメーカーから入手したものを, それぞれB, B'とD, D'とした。

***これを含めた構造特性の形態的検討については, 別報で述べる予定。

****表2の右欄に示すラップ盤の場合。

表1 試料の機械的性質

ジルコンチタン酸鉛磁器	添加元素				ステアタイト
	—	Fe	Nb	Cr	
略号	A	B	C	D	—
曲げ強さ (kg/cm^2)	350	375	396	—	1280
ビッカースかたさ (kg/mm^2)*	215	390	295	315	550

* 荷重 100g, 保持時間 2 min

(a) 片面ラップ盤とそのキャリヤおよび試料

(b) 両面ラップ盤とラップ沈下量検出器

(c) 矩形片試料とキャリヤ

(d) 短冊片試料とキャリヤ

図3 ラップ盤, キャリヤおよび試料

ケータ (いずれも 1μ 目盛) を用いた。両面ラッピングでは同図(b)のように非接着形ひずみゲージおよび差動トランス形ピックアップ (図示せず) によって上ラップの沈下量から仕上がり速度を求めた。前者による測定例が図4で, 記録の傾斜は仕上がり速度, その振幅は板厚差の収れん状況を与える。このほか試料の表面あらさを触針式 (縦3000, 横100) で測定した。

4. 実験結果とその考察

4.1 片面ラッピング特性

図5に示すように仕上がり速度はラップ圧力の1.1乗で増大し, 前報¹⁾と同様に $B > A > C$ の順になる。また#1500の方が#3000によるよりも約50%高い仕上がり速度を与え, 材質間の差も小さい。ラップ面の表面あらさは図6にあるとおり, 破壊部と欠陥部からなり, 前者は粒度, 後者は材質によって異なり, 1500#で 1.0μ , #3000で約 0.7μ のあらさとなるが, 欠陥を含めるとそれぞれ

表2 ラップ盤の仕様とラッピング条件

ラッピング方式	片面ラッピング	両面ラッピング	
		矩形片用	短冊形片用***
ラップ盤	ラップの径 (mm)	300	180
	キャリア有効径 (mm)	90	50
	ラップ回転数 (rpm)	33	32
	ラップみぞの有無	なし	幅1.5mm, ピッチ10mm
	キャリア回転数 (rpm)	20~25(摩擦自転)	公転56, 自転51
ラ条ラッピング件	試料同時加工数	8×1**	3×4**
	砥粒 C #1500, C #3000	C #3000	C #1500
	ラップ剤濃度* (砥粒:水)	1:3	1:3~1:5
	ラップ液供給量 (cc/min)	20	60~150
	ラップ圧力 (kg/cm ²)	33, 66, 120, 165	60, 120

*重量比 **キャリアの数 ***自動定寸付き 精度±2μ, 仕上げ寸法設定範囲0—1mm

試料C (16×15×1.5~2mm)
C #3000, 1:3, 120cc/min
その他条件は表2に示すとおり

図4 両面ラッピングにおける板厚差と平行度の収れん状況

ラッピング時間 75min
その他の条件は表2に示すとおり

図5 片面ラッピングにおけるラップ圧力と仕上げ速度の関係

ラップ圧力 66g/cm²
その他の条件は表2に示すとおり

図6 片面ラッピングによる表面あらかさ

3, 4μ 程度である。

4.2 両面ラッピング特性

初期板厚差が0.08mm程度異なる試料を両面ラップすると、図7に示すように、加工の進行とともに荷重負担枚数が増えて、ほぼ一定の仕上がり速度をとるにいたる。この過程では初期の板厚差を考慮しないで厚さの順に配列したので、その収れんは10μ程度にとどまった。各材質の仕上がり速度は同図(c)にあるように、ラップ圧力の増大とともに増すが、片面ラッピングにくらべ、約3倍、能率がよい。これはラップにみぞがあるので、砥粒の循環やその再分布が有効であるからである。

図8(a)はラップ液の供給量を増やしても約5%の仕上がり速度の上昇にとどまることを示し、片面ラッピングと同様に一定量以上はキャリアによって排出されることを意味する。同図(b)から、濃度の影響も

C #3000, 1:3, 120cc/min, 60g/cm²
その他の条件は表2に示すとおり

図7 両面ラッピングにおけるラッピング時間, ラップ圧力と仕上がり速度, 板厚差の関係

あまり顕著でないが, 結晶粒が大きく, また比較的軟らかいA, Cは低濃度側で仕上がり速度のばらつきがやや大きい。これはラップ面のあらさ(欠陥も含めて1.5~5 μ , 破壊部のみで0.7~1.6 μ)からも示されるように, 低濃度では砥粒当りの荷重が増えて, 結晶粒やマトリックスの破壊あるいは粒子の脱落を強めているからである。

4. 3 板厚差と平行度

平面のラッピングでは, 一般に加工物をキャリア収容穴内で拘束しないが, ここでは試料形状からみて, その破壊防止が先決なので, 収容穴内の試料の自転を束縛した。

図9に示す配置で, 上下ラップが平面であるとすれば, 個々の試料の板厚差(Δt)とその平行度(ξ)は次式で示される。

$$\text{片面ラッピング 長さ方向 } \xi_l = \Delta t \cdot \frac{l}{L_s} \quad (1)$$

$$\text{幅方向 } \xi_w = \Delta t \cdot \frac{b}{L_s} \quad (2)$$

$$\text{両面ラッピング 長さ方向 } \xi'_l = \Delta t \cdot \frac{l}{L_D} \quad (3)$$

$$\text{幅方向 } \xi'_w \doteq 0^* \quad (4)$$

ここに, l は試料の長さ, b はその幅, L_s は片面ラッピングのさいの試料中心間距離, L_D は両面ラッピングのさいのキャリア中心間距離である^{**}。したがって, 矩形試料(16×14mm)の長さ方向の平行度を2 μ 以内とするには, 片面ラッピングでは10 μ 以下の, 両面ラッピングでは16 μ 以下の板厚差におさえる必要がある。

* 幅方向の板厚差はキャリアが自転するので無視できる。

** L_s 80mm, L_D 130mm

(a) 供給量の仕上がり速度に及ぼす影響

(b) ラップ剤濃度の仕上がり速度に及ぼす影響

影響ラッピング時間 15min
その他の条件は表2に示すとおり

図8 ラップ剤の供給量と濃度の仕上がり速度に及ぼす影響

図9 ラップ盤における試料配列

4. 3. 1 片面ラッピングの場合

図10から板厚差が平行度とともに減少するが, その傾向は一様性を欠き, (1), (2)に示した関連性のないことがわかる。特に, 薄い0.6mm以下では, 板厚差が増し, 長さ方向の平行度が著しく低下したものもある。このような結果を生じたときの試料配置が図11である。これは上ラップと試料の間に相対運動がないために, 試料上面と上ラップ下面の間に侵入した砥粒またはチップが堆積

C #3000, 1:3, 20cc/min
その他の条件は表2に示すとおり
図10 片面ラッピングにおける板厚差と平行度の変化

(a) 試料Aにおける推移 (板厚測定値より) (b) 試料A, C, Dにおける推移 (ラップ盤沈下量より)

その他の条件は表2に示すとおり

図12 両面ラッピングにおける板厚差と平行度の変化

図11 片面ラッピングにおける試料配列と平行度, 板厚差との関係

することによる。

4. 3. 2 両面ラッピングの場合

図12は板厚差が110μある諸試料を, 相互の板厚差に応じた対称的な配列を考えないでキャリアに収容してラップしたときの結果である。板厚差の収れん速度は初期には約3μ/min, 後期では約1μ/minであるが, 板厚差が50μ以内となれば, 試料の平行度はかなり向上して, (3)で求まる6μより小さくなった。これには試料の一部をラップよりはみ出させたことも与かっている。しかし最終の板厚差は約3μで, 同図(b)に示すキャリア間の板厚差約10μを残して飽和するのが一般的である。その原因は収容穴内の試料の運動の自由度がないことと, 3枚の配列で対称性が低いこと, さらに上ラップの重さは1.6kg*で比較的小さく安定さに乏しいなどにある。

さて, C #3000, 60g/cm²でラップするときのAの仕上がり速度は約10μ/minであるから, 20分のラッピング

後には, 除去量は200μに達し, 最終板厚より200μ以上厚い素材からラップすれば板厚差の小さい平行平面が得られることになる。このことは逆に初期板厚が薄く, しかも板厚差が50μ以上あれば, 試料を対称的に分散して配置する必要のあることを意味する。

4. 4 短冊形片の生産ラッピング

ここでは前記した表2の右欄に示す装置と条件によった。図13で仕上がり速度の大きいAはほぼ直線的に減少傾向を示すのに対し, B, Cのそれは小さく, ラッピング初期の変化がやや激しい。これらはいずれも砥粒の粉碎に基づくものである。材質によりその程度は異なり, かいB'では砥粒1kg当り21cm³のラップ量るとき, 原砥粒中の10μ以上のものは消失した。ところが軟かいAにはなお15%以上原粒が残っているのである。

なおラッピングの進行に伴う仕上がり速度の低下率はおよそ10%であるが, その大きさの順位はA>D>D'>C>B'となり, B'はAの約1/2にすぎない。前報にあるいは片面ラッピングの結果ではB>A>Cとなったのは, Bの欠陥容積量が16.4%であったのに対し, B'のそれは9%と低く, 内部の気孔欠陥の存在が, その周辺で破壊を招くことに基づく。

板厚が0.4mmを下まわると, キャリヤは0.2mm以下と薄く, その強度の低下がきわだつので, ラッピングのさいに破壊しやすくなる。そこでまず破壊の原因をその

* 4.4の短冊片の場合は3.2kgで, そのさいに得られた板厚差は約3μである。

試料 50×5×1~0.5mm 7×4=28枚同時加工
1:3 15cc/min
ラッピング時間 ラップ盤沈下量 100μ になる
までその他の条件は表2に示すとおり

図13 短冊形片の両面ラッピングにおけるラップ量と仕上がり速度の関係

表3 試料の破壊原因とその対策

番号	破壊原因	対策
(1)	ラップ液中への異物の混入	ラップ液の供給経路にフィルタ(メッシュ#300粒度のもの)を設置する
(2)	チップの混入によるラップ液の粘度の上昇	ラップ剤濃度を低く(たとえば1:4~5)するか、水ひによる切りくずの除去
(3)	キャリヤの平面度低下による試料の逸出	キャリヤの上下面を交互に用い、その両面の加工ひずみをつり合わせる
(4)	試料とキャリヤの間のすきまの不均一や不適切	試料とキャリヤ収容穴のすきまを0.6~0.8mmにする
(5)	試料配列時における上ラップ面の乾燥	試料を配列後、ラップ液を供給し、試料とラップ面に砥粒を介在させる
(6)	内外周歯車に砥粒が堆積することに基づくキャリヤのわん曲	歯車構造を改める*, また常時堆積を除去する
(7)	内外周歯車のかみ合い位置に摩擦に伴うみぞが発生すること	ラップを上下に移動し、内周歯車部における局部的な深みぞ(0.3mm以上)の発生をさける

* 歯車の下部の傾斜を急にして、砥粒の堆積を防ぐ

対策とともに考察すると表3のようになる。破壊原因中、(1)と(4)以外はキャリヤ外周の歯車部に曲げを生じ、これが上ラップを押上げ、キャリヤ中の試料をすべらせる。いったん破壊すると、ラップ上には破片が残って、同表(1)と同様な状態になるので、ラップの洗浄が必要になる。

これらの破壊原因を除いたのちの各材質の歩留りが表4で、ラッピング中の破壊率は2~8%となる。曲げ強さの小さいAは中央での破壊が100%を占めるのに対し、それが大きいC、D'はほとんどかど部で破壊する。

表4 短冊形片の両面ラッピングにおける破壊

試料	加工総数 (枚)	ラッピング中の破壊				取扱い中の破壊		歩留り (%)
		破壊数 (枚)	破壊率 (%)	破壊状況*(%)		破壊数 (枚)	破壊率 (%)	
A	140	3	2.2	100	0	5	3.6	94.4
B'	112	6	5.4	33	67	5	4.6	91.1
C	278	10	3.6	10	90	3	1.1	95.3
D	224	17	7.6	53	47	5	2.2	90.2
D'	224	17	7.6	0	100	3	1.3	91.0

* 中央部 破壊によって試料がもとの長さよりも短くなったもの
かど部 長さは変わらず、幅部の一部を残す

4.5 切断も含めた総合加工能率

切断機の精度とその能率から半径および接線送りの両方式によって切断最小板厚を求める。表5(a), (b)に明らかなように設定板厚よりかなり薄く、砥石側面のふれ(約50μ)と送り精度の影響が出ている。両方式ともCがもっとも破壊しにくく取扱いやすい。両方式による切断結果を比較すると、半径送りによるほうが破壊率が高く、送り精度と接触面の大きさが影響している。同表(c)は切断条件の差に基づくラッピングのさいの破壊で、いずれもかど部で生じ、送り速度96mm/minのとき、破壊はもっとも少ない。この条件で切断したものを材質別にラップすると同表(d)のようになり、前掲表4よりも破壊率の低下したことがわかる。もっともD'だけは中央部で破壊し、取扱中のそれも含めると10%に近い。

試料幅Bのインゴットから厚さ t_0 の試料を切断するときの試料数Nは

$$N = \frac{B}{c + b + t_0} - m \quad (5)$$

で表わされる。ここに、 b は砥石厚さ、 c は切断機の精度や砥石のふれで決まる常数、 m は1または0である*。ここで、 $t_0 = xb$, $c = 0$, $m = 0$ とすれば

$$N = \frac{1}{x+1} \left(\frac{B}{b} \right) \quad (6)$$

となる。 $b = 0.4\text{mm}$ として $t_0 = 0.5\text{mm}$ ($x = 1.25$) に切断するときの総数 N_1 に比し、 $t_0 = 0.3\text{mm}$ ($x = 0.75$) では N_2 は32%増しとなる。

最終板厚 t' の試料N枚を得るための切断とラッピングを含めた二次加工時間Tは

$$T = \frac{l}{v_c} N + \frac{t_0 - t'}{v_L} \cdot \frac{N}{n} = N \left(T_c + \frac{1}{n} \cdot \frac{t_0 - t'}{v_L} \right) \quad (7)$$

で表わされる。ここに、 l は試料の長さ、 t_0 は切断板厚、 v_c は切断送り速度、 v_L はラッピングにおける仕上

* $t_0/2$ 以下であれば0、以上であれば1とする

表5 切断方式と破壊状況

(a) 半径切断方式 (A社製切断機による)

試料	切断板厚(mm)		切断枚数 (枚)	破壊試料数	
	設定値	家測値		枚数	破壊率%
C	0.5	0.44	15	2	13.2
	0.3	0.24	5	2	40.0
D	0.5	0.44	18	5	27.8
	0.3	0.24	11	6	54.5

切断条件 ダイヤモンド砥石 125φ×0.4mm,
周速1550m/min, 送り速度 平均85m/min
軽油

(b) 接線切断方式 (B社製切断機による)

試料	送り速度 (mm/min)	切断枚数 (枚)	破壊試料数	
			枚数	破壊率%
C	55	19	0	0
	96	18	0	0
	170	28	0	0
D	55	26	2	7.7
	96	17	1	5.8
	170	32	3	9.4

切断条件 ダイヤモンド砥石 125φ×0.4mm,
周速 2000m/min, ソリーション80倍液
実測切断板厚 0.33mm

(c) 切断条件の差によるラッピング時の試料破壊のちがい

試料 破壊 状況 切断 速度 (mm/min)	C			D		
	加工数 (枚)	破壊数 (枚)	破壊率 (%)	加工数 (枚)	破壊数 (枚)	破壊率 (%)
55	14	1	7.2	18	3	16
96	14	0	0	15	1	6.5
170	16	1	6.2	20	3	15

切断板厚 0.33mm, 砥石周速 2000m/min, ソリーション
80倍液; 最終板厚0.2mm

(d) 切断試料のラッピング時の破壊

試料	加工数 (枚)	加工中の破壊		取扱中の破壊		破壊状況
		破壊数 (枚)	破壊率 (%)	破壊数 (枚)	破壊率 (%)	
C	140	4	2.8	1	0.7	かど部
D	112	3	2.7	1	0.9	かど部
D'	112	9	8.0	3	2.7	中央部

 切断条件 96mm/min, 2000m/min, 板厚0.33mm, ソリーション
80倍液; 最終板厚0.2mm

表6 切断板厚と総合二次加工時間の関係

 (a) T_c 0.5min, t' 0.2mm n 28(7×4) のとき

試料	仕上がり速度* $vL(\mu/min)$	$T_1(t_{01}=0.3mm)$ のときの加工時 間, min)	$T_2(t_{02}=0.5mm)$ のときの加工時 間, min)	$\frac{T_1}{T_2}$
A	23	0.66	0.97	0.68
B'	12	0.80	1.39	0.57
C	14	0.76	1.27	0.60
D	20	0.68	1.04	0.65
D'	18	0.70	1.10	0.64

 (b) T_c 0.25min t' 0.2mm n 28(7×4) のとき

試料	$T_2'(t_{02}=0.5mm)$ のと きの加工時間, min	$\frac{T_1}{T_2'}$
A	0.72	0.92
B'	1.14	0.70
C	1.02	0.74
D	0.79	0.89
D'	0.85	0.83

 * 図13のラップ量 5 cm³における値を用いた

がり速度, n はラッピングにおける同時加工数, T_c は
切断時間である。

いま, 切断板厚 t_{01} , t_{02} から出発して最終板厚を得る
に要する加工時間 T_1 , T_2 の比は

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_c + \frac{1}{n} \frac{t_{01} - t'}{vL}}{T_c + \frac{1}{n} \frac{t_{02} - t'}{vL}} \quad (8)$$

で与えられる. 最終板厚を 0.2mm にするさい, 切断板
厚 0.3, 0.5mm について T_1/T_2 を求めると表 6(a) のよう

になる. すなわち, 0.3mm によれば加工時
間は 32~43% 短縮できることになる. なお
0.5mm に切断するさい同表 (b) に示すよう
に, 送り速度を 2 倍高めたとしても, 全加工
時間は 0.3mm のほうが 8~30% 短い.

5. 結 言

通話路素子に用いるジルコンチタン酸鉛磁
器の生産ラッピングを仕上がり速度, 歩留り,
最小切断厚などから検討して, 以下に要約
される結論を得た.

(1) 試料のキャリア中の運動を拘束した両
面ラッピングによっても, 板厚差を 10μ 以内,
平行度を 2μ としうる. そのさいの歩留り
は 90% 以上である.

(2) 試料の破壊に対しては, Nb 入りの C
がもっとも歩留りがよく 95% である. また仕
上がり速度は A (添加物なし) > D (Cr 入り)
> D' (Cr 入り) > C > B' (Fe 入り) で, 結晶粒
が細かく, かたい B' よりも, やわらかい A は
2 倍の仕上がり速度をもつ.

(3) ラップ液の濃度は仕上がり速度に対し
5% 程度しか効かないが, 破壊を防止するに
は, 1:4 の液を 150cc/min 程度供給するの
がよい. なお, 砥粒 1 kg 当り 10cm³ ラップす
ると, 砥粒の粉砕による約 10% の仕上がり速

度の低下がある。

(4) 材質にかかわらず，切断厚さを 0.3mm となしうるので， 0.5mm よりラッピングに移ったときにくらべ，総合二次加工時間を約40%短縮できる。

終わりに種々ご討論いただいた当所豊田博夫誘電材料研究室長にお礼申し上げるとともに，両面ラップ盤と切断機に関しそれぞれご配慮いただいた当所高原靖調査役

と電気試験所小林昭電子加工部長，猪俣勝夫技官に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 井田一郎，深瀬雅彦，古本俊一：ジルコンチタン酸鉛磁器のラッピング特性，精密機械，**33**, 10 (1967) 640.