

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・橘田 鉄雄・大森 整*

Development of High Precision Micro Machining Process

— Study on Precision Machining by ELID Grinding —

Tosiyasu KOMATU, Tetuo KITTA and Hitoshi OHMORI

要 約

地場産業の一つである水晶振動子は、製品の品質・精度の維持にとって、外周端面の加工が問題となっている。また、水晶は結晶軸に対して異方性を示すため、結晶軸方位が研削加工性に影響を及ぼすことも考えられる。そこで、水晶振動子の加工にELID研削法の適用を検討し、水晶振動子を重ね合わせた試料について平面研削した。その結果、水晶のX・Y・Z軸方向に対する加工性は、Y軸の場合のみ表面粗さが著しく低下した。また、水晶振動子の外周端面加工では、振動子の厚さによる影響は少ないが、重ね合わせ面に対する研削方向の違いが表面粗さの変化に大きな影響を及ぼした。

Abstract

This paper describes that effect of precision machinability on different crystal axes by ELID of quartz crystal units for oscillators. Crystals is usually anisotropic materials, grinding characteristic experiments of crystal axes were carried out, and the results were obtained that the surface roughness of Y axis was arger than that other crystal axes such as, X and Y axes. When edge shapes of crystal units were machined by ELID grinding, it was found that the roughness of the edge surface improved by grinding directions.

1. 緒 言

精密機器、電子機器等の中でも、移動体通信・衛星通信およびコンピュータ関連機器の進展はめざましく、周波数制御デバイスとして用いられている、水晶振動子の加工面精度の向上は非常に重要である。これらのデバイスは、通信周波数の有効活用や高速データ処理のために、従来より高い周波数帯の安定発振が要求され、小型軽量化や低コスト化¹⁾も求められている。硬脆材料の高精度加工法であるELID研削法²⁾を水晶振動子の加工に用いる場合、問題点は次の2つである。

- ①水晶結晶軸の異方性が加工精度に及ぼす影響
- ②ELID研削法の適用性

従来のELID研削の研究では、セラミックスや超硬合金・ガラス等、等方性材料の場合が多く、ELID研削法を用いた異方性材料の加工³⁾はあまり行われていない。また、水晶振動子の品質・精度の維持にとって、水晶振動子の端面加工が問題となっている。

そこで本研究は、一定の結晶軸にした水晶ブロックと、現場での端面加工と同様に重ね合わせた振動子を、ELIDによる平面研削法を適用して実験を行い、加工表面粗さ等の

測定から適正条件について比較し、その有用性について検討した。

2. 実験方法及び加工条件

現状で行われている水晶振動子の加工工程の概略⁴⁾を図1に示すが、振動子の外周加工での工程数が多く、この時の加工精度が製品の品質に大きな影響を及ぼし、問題になることが多い。そのため、1回の加工枚数が非常に多い切断やラッピング加工工程よりも、外周端面加工にELID研削法を導入することが効果的と考え実験を行った。

研削は精密平面研削盤(カルテック社製:JF520)を用いて行った。表1に加工条件及びELID電解条件をそれぞれ示す。仕上加工では#4000鑄鉄ボンダダイヤモンド砥石を使用し、平面研削後の表面粗さを測定した。表2に試験片(水晶)の物性値⁵⁾を示す。試験片はX・Y・Z軸方向の結晶軸に対し、軸のズレ誤差が16分以内になるように切断した10mm角のブロック状試験片と、ATカットされ厚さ0.50mmおよび0.25mmの製品である水晶振動子(9×23mm)の2種類を準備した。水晶振動子の外周端面加工では、熱軟化性ワックスで水晶振動子を15mm幅に重ね合わせ、研削面積を同一にして加工した。

加工面粗さの測定は、非接触表面形状測定機(WKYO社製:TOPO-3D)を使用し、表面粗さの数値比較は中心線平均

* 理化学研究所(素形材工学研究室)

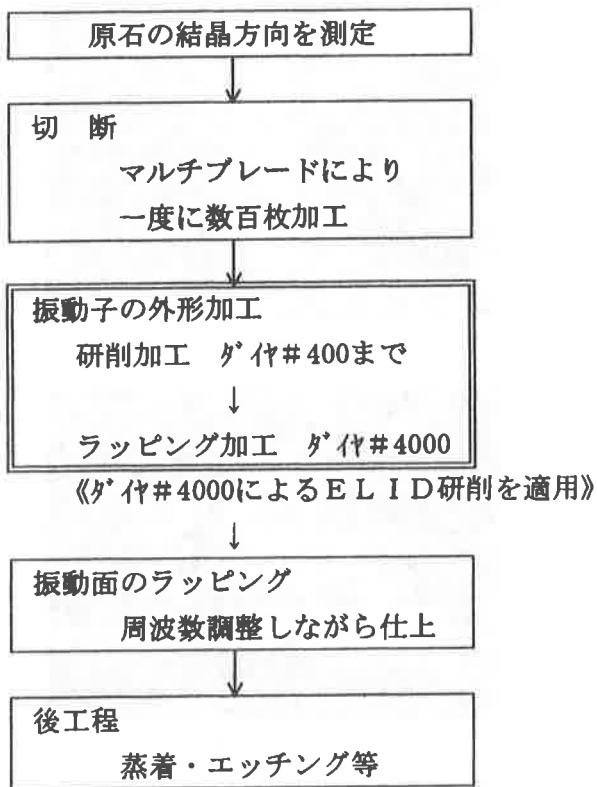


図1 水晶振動子の加工工程の概略

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)	1200
砥石切込量 ($\mu\text{m}/\text{Pass}$)	1
総切込量 (mm)	15
工作物速度 (m/min)	20
初期電解 電圧・電流	90V・12A
ON/OFF TIME ($\mu\text{sec.}$)	2/2

表2 被加工材（水晶）の特性値

密度 (g/cm^3)	硬度 (Hv)	弾性率 (GPa)	熱伝導率 (W/mk)	破壊靱性 ($\text{MN}/\text{m}^{3/2}$)
2.65	9.8~ 11.5	76~ 104	6.6~ 12	(0.7)

粗さ (Ra) により、5箇所を測定し平均値を求めた。加工面のクラック等の発生、研削加工面の観察は、ビデオマイクロスコープ (スカラ社製:VMS-3000) および走査型電子顕微鏡 (日本電子製:JEL840) により行った。

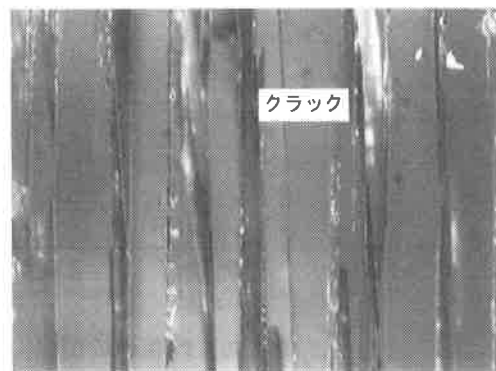
3. 結果及び考察

3-1 従来の砥石との比較

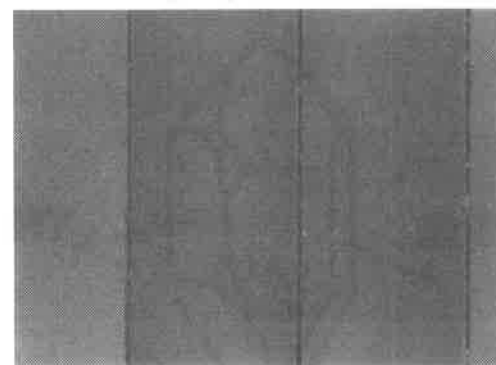
水晶振動子に要求される精度を得るためには、微細砥粒砥石を用いる必要がある。そこで、水晶振動子の外周端面加工が可能か否かを確認するため、#4000のレジンボンドダイヤモンド砥石で加工した場合と、ELID研削法 (#4000 鑄鉄ボンドダイヤモンド砥石) を用いた場合の各々について実験を行った。各外周加工端面の観察結果を図2に示す。従来の砥石では加工面に大きなクラックが認められ、砥石の目つぶれ・目詰まりにより発生したものと考えられる。一方、ELID研削においては、非常に良好な加工面が得られた。このことから、微細砥粒砥石で水晶を加工する場合には、ELID研削法が効果的であることが明らかとなった。

3-2 水晶結晶軸の影響について

図3は、試験片のX・Y・Zの各軸に対して、垂直方向にELID研削した場合の表面粗さの変化を示す。X軸とZ軸の場合は、表面粗さ約6.0nmで顕著な変化は見られないが、Y軸の場合は他の軸と比較して1.3倍程度大きな値を示した。図4



(a) 従来の砥石を使用した場合



(b) ELID研削した場合

図2 砥石による水晶振動子外形加工面の変化

に示した水晶結晶方位の概略図から、X軸およびZ軸方向には、へき開面が傾斜して加工表面に現れるが、Y軸の場合は、加工面と平行してへき開面が存在することが明らかである。よって、へき開面に沿って加工すると、研削抵抗も低下し、表面粗さも向上すると考えていたが、今回の実験では反対の結果が得られた。

これらの現象を明確にするため、走査型電子顕微鏡で研削加工面を観察した。その結果を図5に示す。X軸とZ軸の場合は、微細クラックが間隔をおいて直線状に存在するが、クラック間には微細な研削条痕が認められた。一方、Y軸の場合、白色の縞状の加工痕が加工面全体に存在し、詳細に観察すると、部分的に脱落した状態も認められた。これらの結果から推察すると、図6に示すようなモデルが考えられる。X・Z軸の場合は、へき開面が存在する領域で微細クラックが局所的に発生するのみで、全体としての表面粗さは小さくなる。一方、Y軸の場合は、小さな研削抵抗でもへき開しやすいため、表面から内部のへき開面にまで加工の影響が及ぼされ、はく離が容易となり、微小な凹部が加工面

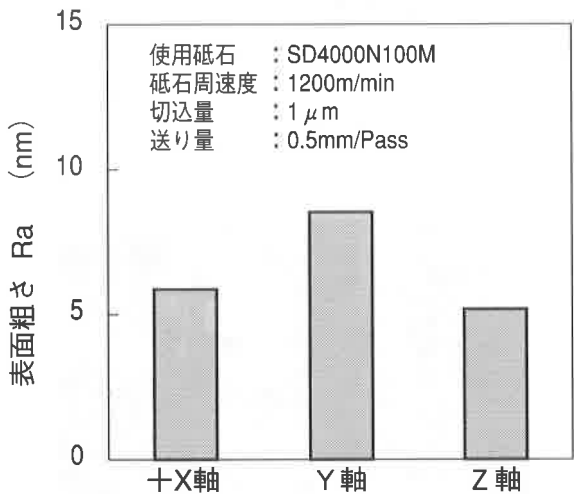


図3 水晶結晶軸と加工面粗さの関係

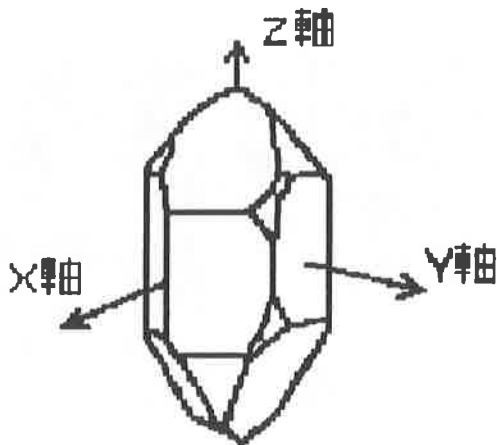
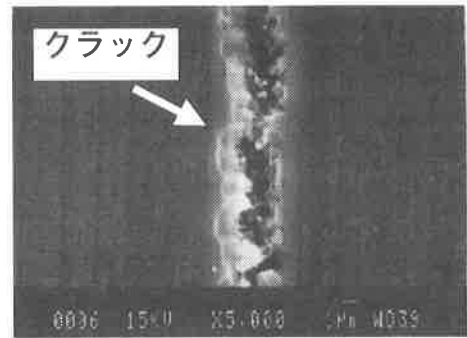


図4 水晶結晶の概略図



(a) X軸の場合



(b) Y軸の場合



(c) Z軸の場合

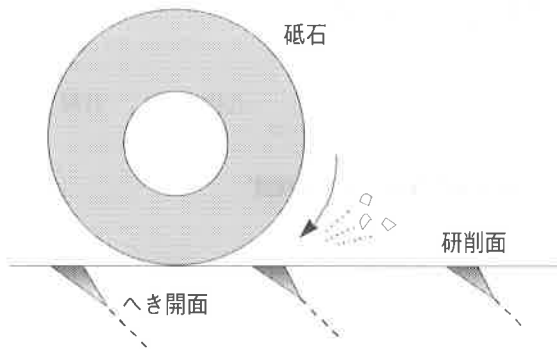
図5 ELID研削加工面の電子顕微鏡写真

全体に生じた結果、表面粗さの値が大きくなったものと考えられる。

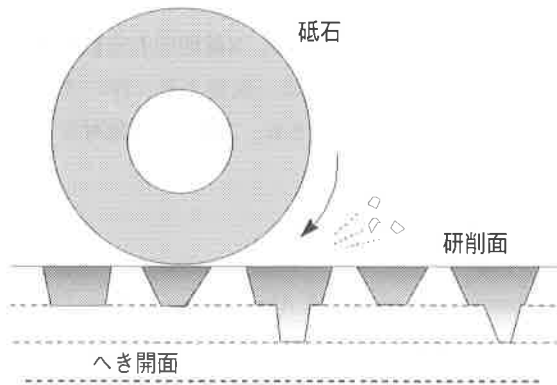
3-3 水晶振動子の外周端面加工について

水晶振動子を積層接着するため、振動子の端面加工は軟質層を含む複合材料加工に類似している。同一加工条件でも、加工面粗さ等が単一材料の場合とは異なる可能性があるため、加工条件等の検討が必要である。図7にELID研削面粗さと砥石周速度との関係を示す。加工端面はX軸に垂直で、振動子の積層方向に沿って研削を行った。砥石周速度1200mm/minの場合、振動子の厚さ0.50mmおよび0.25mmとも表面粗さは12nm前後となった。この値はブロックで加工した場合より2倍程度大きい。また、砥石周速度を600~1800m/minの間で変化させた場合、1500m/min以上で表面粗さが悪化したものの、1500m/min以下では表面粗さは12nmでほぼ一定の値であった。振動子の厚さや砥石周速度による差はほとんど認められなかった。

これらの現象は水晶ブロック単体を研削した場合より表



(a) X軸, Z軸の場合



(b) Y軸の場合

図6 結晶方位による研削状況のモデル図

面粗さが著しく悪いが、その理由として振動子を重ね合わせる形態が大きく影響していると考えられる。そこで、振動子を重ね合わせた方向に対し、研削方向を変化させて表面粗さがどのように変化するか検討した結果を図8に示す。振動子の厚さ0.50mmおよび0.25mmとも、重ね合わせた方向に沿って研削した場合より、直角方向に研削した場合が、表面粗さは約半分の6.0nm程度になり、ブロック研削の場合に認められた値とほぼ同等となった。このことから、研削方向を変化させることで端面の加工精度は著しく向上し、製品の高精度研削が可能になることが明らかとなった。

4. 結 言

水晶振動子へのELID研削法の応用を検討し、水晶ブロックを用いた結晶軸の異方性の影響、および積層接着された水晶振動子の端面加工について実験を行った結果、次のことが明らかとなった。

1) 結晶軸の異方性では、Y軸に対して垂直方向に研削した場合が、表面粗さを増加させ、加工面上に他の軸とは異なる形態のクラックを生じる。

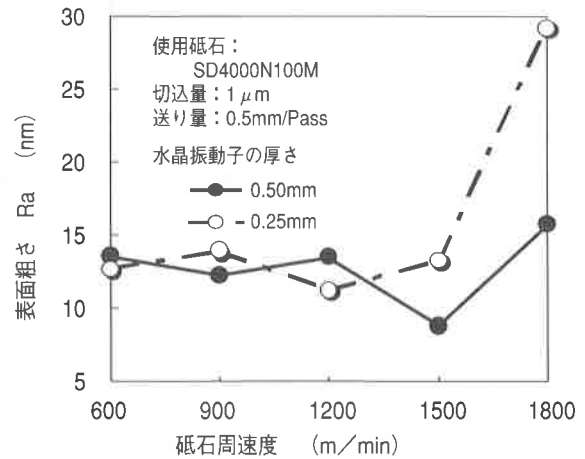


図7 外周加工面粗さと砥石周速度の関係

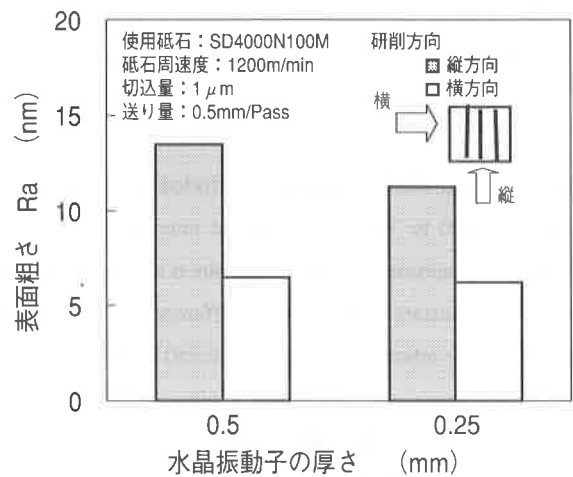


図8 研削方向と加工面粗さの関係

2) 水晶振動子を端面加工した場合、砥石周速度が600~1500m/minの間では、振動子の厚さ0.50mmおよび0.25mmとも表面粗さは12nm前後で一定となった。

参考文献

- 1) 岡野庄太郎; 水晶周波数制御デバイス, (株)テクノ, (1995)
- 2) 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ストレッチング (ELID) 研削法, 精密工学会誌, 59, 9, 1451 (1993)
- 3) 大森 整,他1名; 単結晶 SiCのELID鏡面研削における結晶方位の影響, 砥粒加工学会学術講演会論文集, 3 (1996)
- 4) 小林 昭 編; 超精密加工技術マニュアル, (株)新技術開発センター, 454 (1985)
- 5) 杉田忠彰 編; セラミックスの機械加工, (株)養賢社, p44 (1985)