

水晶の超精密切削（第5報）

—切削面性状に及ぼすバイトの結晶方位の影響—

北海道大学工学部 藤井 茂 藤井章弘 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸
 日本電波工業（株） 千葉亜紀雄 日本精工（株） 田中 守

要 旨

すくい角やノーズ半径、結晶方位の異なる種々のダイヤモンドバイトを用いて水晶の超精密切削実験を行い、バイト形状、結晶方位と切削面性状との関係を検討した。切削面性状はバイトの形状にかかわらずバイトの結晶方位に大きく依存し、刃先方向<100>のバイトを用いた方が、<110>のバイトの場合に比べて透明な切削面となりやすかった。

1. はじめに

超精密切削加工では、工具であるダイヤモンドバイトの形状や摩耗形態などが切削面に大きな影響を及ぼす。本研究では、硬脆材料である水晶を切削し、切削面性状に及ぼすダイヤモンドバイトの形状や結晶方位の影響について検討した。

2. 実験装置および方法

切削実験に使用した超精密旋盤は前報¹⁾までと同じである。図1にダイヤモンドバイトの概略図を示す。バイトの結晶方位は、上面が<110>であり、刃先方向が<110>および<100>の2種類である。表1にバイトの形状および結晶方位を示す。切削試料には両面ポリシング仕上げを行ったφ12.5mm、厚さ1mmのAT-カット水晶板を用いた。主な切削条件は切込み量300nm、送り量8.1μm/rev、主軸回転数1000rpm(切削速度2.4~3.7m/s)である。

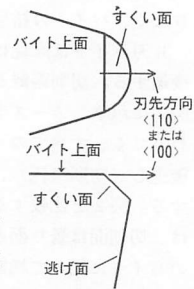


図1 ダイヤモンドバイト

3. 実験結果および考察

図2にそれぞれのバイトについての切削面性状を示す。黒く塗られた部分は切削により曇った部分である。

図3は、バイトCで切削した5個目の試料(切削距離697m)における切削面の金属顕微鏡写真とあらさ曲線である。この試料は切削により、全面曇り面となった。このように、曇った部分は脆性破壊によるクラックにおおわれた面となっている。表面あらさは約2.6μmRmaxであった。また切削方向にほぼ直交した深い溝が見られる。このような溝は、刃先方向<110>のバイトで切削した試料の曇り部分すべてにおいて見られた。刃先方向<110>のバイトを用いた場合、切削距離450~700m程度で切削面は全面曇り面となった。バイトAで切削を続けたが切削面性状は改善されなかった。

図4は、バイトFで切削した1個目の試料(切削距離152m)における切削面の金属顕微鏡写真とあらさ曲線である。切削面は全面曇り面となった。切削面はクラックにおおわれているが、表面あらさは約600nmRmaxでバイトCによる切削面(図3)より小さく、また切削方向に沿った縞模様が見える。このような縞模様は、刃先方向<100>のバイトで切削した曇り面にしばしば見られた。

図5は、バイトDで切削した4個目の試料(切削距離591m)における切削面の、微分干渉顕微鏡写真とあらさ曲線である。この試料の切削面は全面透明だった。送り量8.1μm/revに対応した送りマークが認められる。表面あらさは約4nmRmaxであった。バイトDは2個目(切削距離364m)以降、17個目(切削距離6476m)まで、安定してほぼ全面透明な切削面を得ることができた。バイトと切削面性状の関係を見ると、刃先方向<100>のバイトの

表1 バイトの形状および結晶方位

	ノーズ半径	すくい角	逃げ角	刃先方向
A	0.8mm	-40°	10°	
B	0.8mm	-40°	10°	<110>
C	0.8mm	-20°	10°	
D	0.8mm	-20°	10°	
E	0.8mm	-20°	10°	<100>
F	3.0mm	-20°	10°	

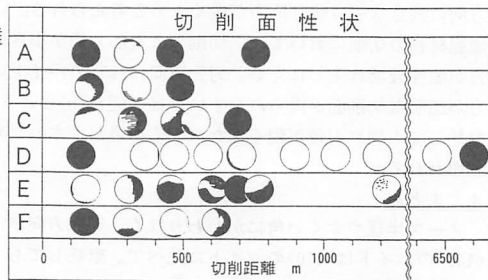


図2 切削距離と切削面性状の関係

方が、刃先方向<110>のバイトの場合に比べて、透明な切削面となりやすかった。

切削距離と切削面性状との関係を見ると、バイトC、Eを除いて、1個目の試料(切削距離150m程度)は切削面性状はあまり良くないが、切削を繰り返すうちに切削面性状はしだいに良くなっていき、その後再び悪化するという傾向が見られた。

図6(a)はバイトC、図6(b)はバイトDの切削後の刃先のSEM写真である。切削距離はそれぞれ697mと6073mである。バイトDの方が、摩耗しても切れ刃が鋭く保たれていることがわかる。このような摩耗による切れ刃稜丸みの違いは、ノーズ半径やすくい角にかかわりなく、バイトの結晶方位に依存した。

R刃バイトは摩耗により先端は直線状になり刃先は後退する。切削距離と、この刃先の後退量との関係を図7に示す。ノーズ半径やすくい角、結晶方位にかかわりなく、すべてのバイトで初め急激に摩耗して刃先が後退し(初期摩耗)、その後、後退量は3~5μmで安定する。図2と比較すると、摩耗量が大きい初期摩耗時には、切削面は曇り面となる傾向があることがわかる。他のバイトに比べて初期摩耗時の後退量が小さいバイトC、Eの場合切削面は比較的良好であった。

一般に切れ刃稜丸みが大きくなるにつれて、刃先下方にまで応力場が拡大し、破壊が起きると考えられている²⁾。刃先方向<110>のバイトは、図6(a)のように摩耗により切れ刃稜丸みが大きくなるため、刃先方向<100>のバイトに比べて切削面の下側にまで応力場が大きく分布していると思われる。図3のように、刃先方向<110>のバイトによる切削において切削方向にほぼ直交した深い溝が生じるのは、応力場が大きく、切削方向に大きな引っ張り応力が働くためと考えられる。硬脆材料の切削においては、切削による応力場が小さい方が脆性破壊は生じにくい。刃先方向<100>のバイトの方が透明な切削面が得られやすいのは、図6(b)のように摩耗しても切れ刃が鋭く保たれ、応力場が小さいためと思われる。

4. まとめ

ノーズ半径やすくい角にかかわりなく、刃先方向が<100>のバイトは<110>のバイトに比べて、摩耗しても切れ刃が鋭く保たれ、透明な切削面となりやすかった。バイトの初期摩耗時には、全面透明な切削面とはならなかった。

参考文献

- 1) 柴田ほか：1992年度精密工学会秋季大会，P15
- 2) 森脇ほか：剛塑性有限要素法による超微小切削機構の解析，精密工学会誌，57，12（1991）2163

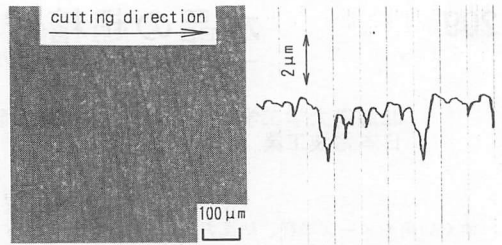


図3 バイトCによる切削面性状

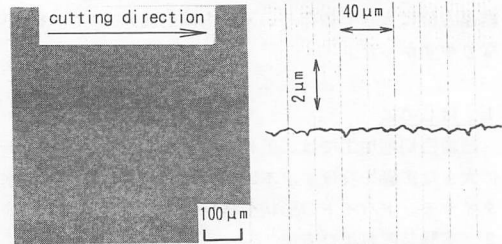


図4 バイトFによる切削面性状

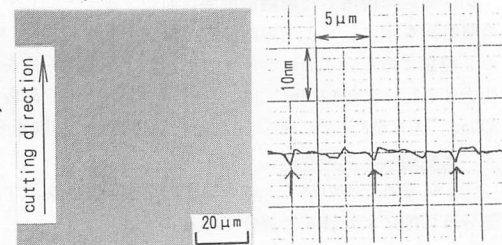
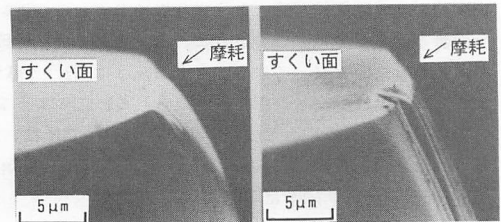


図5 バイトDによる切削面性状



(a) バイトC (b) バイトD

図6 切削後の刃先 (SEM写真)

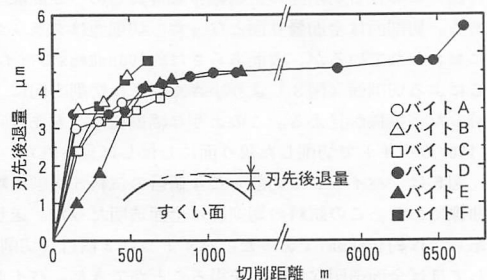


図7 切削距離と刃先後退量の関係