

ダイヤモンド単粒を用いたファインセラミックスの研削加工

大分大学 工学部技術部 機械・エネルギー工学系
北村 純一 junichi@oita-u.ac.jp

1. 緒言

ファインセラミックスとは、厳選した原料を精密に化学組成し、高精度に制御した成形・焼成加工法を用いて産出したセラミックスで、従来のセラミックスと比べ工業用部品として高い付加価値を有する素材である。これらは機械的、電氣的、化学的に優れた性質を持ち金属材料と比べて軽量であることから、環境エネルギー分野や医療機器・材料分野における基盤材料として大きな役割を果たしているが、これらを工業材料として活用していく上で改善しなければならない問題点もある。その一つとして素材が難加工性であることが挙げられる。近年、製造業では製品の多様化と複雑化に伴い、高品質で高精度な製品が求められている。ファインセラミックスを産出する場合、成形、焼成工程を経た後に仕上げとして研削加工を施す必要があるが、材質が高脆性であるため微細なひびや欠けを生じ製品の品質を劣化させ信頼性を損なうことが問題となっている。これらの需要や信頼性を高めるとともにより多くの分野に応用するためには、適切かつ高能率で加工する方法を確立することが必須であるため材料加工時の特性や現象を把握することが重要である。本研究では、砥石の各々の砥粒が被削材に及ぼす影響を把握するために、一つの砥粒が研削を行う現象をシミュレートしたダイヤモンド単粒研削実験を行った。研削後の試験片性状を調査し、その研削特性に関して検討した。

2. 実験方法

実験装置主要部の概略図を図1に、研削条件を表1に示す。勾配を持つベースを介して試験片をテーブル上に固定し、砥石にダイヤモンド単粒を取り付けて研削を行った。ベースに勾配があるため、切り込み深さはテーブルを送ることにより漸増する。この方法を用いることで任意の切り込みに関して解析、観察できるようにした。

試験片には、窒化ケイ素、サイアロンを選定した。表2に試験片の機械的性質を示す。研削痕の切り込み値は試験片にうねりなどなく平坦であるものとし、研削開始点からの距離と傾きから算出した。

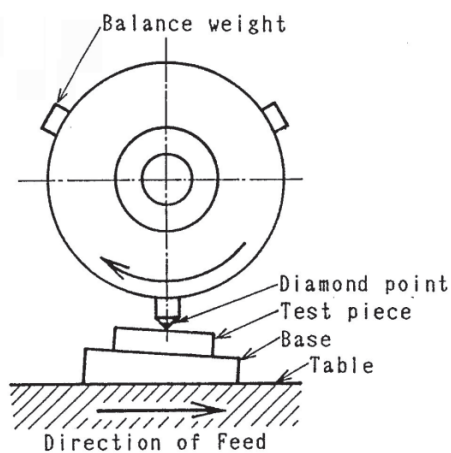


図1 研削実験概略図

表1 研削条件

研削速度 m/min	テーブル 送り速度 mm/min	切り込み 深さ μm	湿式・乾式	研削方法
1200	42	~10	乾式	アップカット

表2 試験片の機械的性質

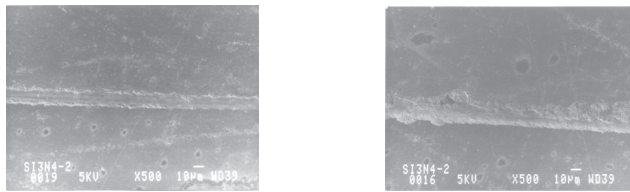
材質	密度 g/cm ³	ビッカース 硬さ Hv	曲げ強さ GPa	破壊靱性 MPa・m ^{1/2}	ヤング率 GPa
窒化ケイ素	3.36	18.0	1.10	6.5	300
サイアロン	3.26	15.5	0.88	6.0	127

3. 実験結果と考察

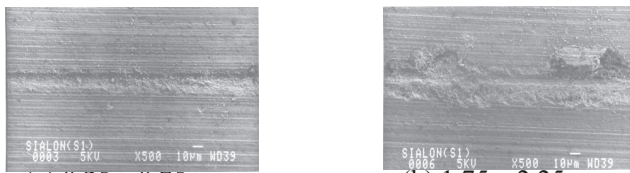
3.1 加工表面の損傷

単粒研削された窒化ケイ素加工表面のSEM写真を図2(a), (b)に示す。切り込み深さ0.25~0.75μmでは加工溝底部は滑らかではあるが、擦過作用による材料除去が行われていることが確認できる。溝側部では、肩部がわずかに隆起しており、塑性変形による材料除去が行われている。1.75~2.25μmでは溝底部の延性的な変形は観察できるが、底部が部分的に捲り取られている。溝側部では微小なチップングが連続的に発生しており、切り込み深さ0.25~0.75μmとは様相が異なっていることがわかる。サイアロン加工表面のSEM写真を図3(a), (b)に示す。切り込み深さ0.25~0.75μmでは溝側部にチップングは観

察されないが、溝底部では組織が細かく剥がれ落ちており、窒化ケイ素で観察された性状とは異なることがわかる。切り込み深さ $1.75\sim 2.25\mu\text{m}$ では、溝底部において小さなむしれが生じている。また、溝側部に巨大なチップングが断片的に発生する脆性破壊が生じており、窒化ケイ素とサイアロンではその加工形態が異なっていることが確認できる。図4に窒化ケイ素とサイアロンのチップング寸法と理論溝幅の関係を示す。窒化ケイ素は、切り込みを増加させても理論的な溝幅と大きな差は見られないが、サイアロンではチップング幅が急激に増大していることがわかる。



(a) $0.25\sim 0.75\mu\text{m}$ (b) $1.75\sim 2.25\mu\text{m}$
図2 窒化ケイ素研削後のSEM写真



(a) $0.25\sim 0.75\mu\text{m}$ (b) $1.75\sim 2.25\mu\text{m}$
図3 サイアロン研削後のSEM写真

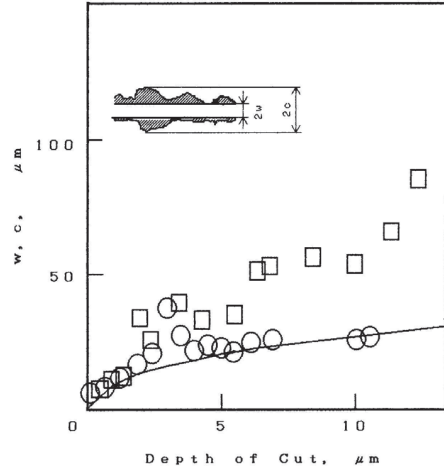
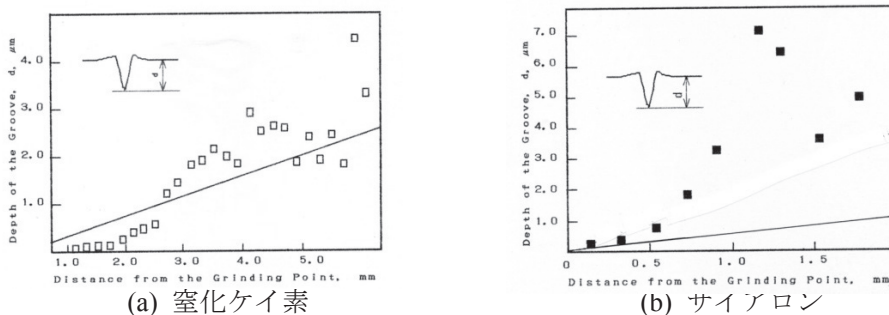


図4 チップング寸法と理論溝幅の関係
○... 窒化ケイ素 □... サイアロン

3.2 溝断面の形状

加工溝の形状が研削中にどの様に遷移するか調査するため、形状粗さ計を使用して加工溝の形状を調べた。測定は研削方向と垂直に 0.2mm 間隔で実施した。測定結果と理論切り込み直線の関係をそれぞれ図5 (a), (b)に示す。窒化ケイ素では、溝深さは研削開始直後から距離 2.6mm までは線形的に増加しており、その値は理論値よりも小さいことがわかる。この理由として、窒化ケイ素の高硬さに起因する砥粒の逃げや材料の弾性回復等の影響が考えられる。この点（切り込み深さ約 $1.0\mu\text{m}$ ）までの溝深さ曲線の傾きはおおよそ 0.4×10^{-3} で理論値とほぼ同値であるが、曲線の傾きはこの点を境に変曲し、溝深さは理論値を超えている。さらに切り込みが大きくなると溝の深さも大きくなるが、同時にばらつきが生じていることから、この変曲点付近で滑らかな延性的加工から脆性破壊中心の加工に遷移したと推測できる。サイアロンにおいても同様の経過を示すが、研削開始点から距離 0.7mm で理論値を超えており、窒化ケイ素よりも早い段階で変化が現れている。また、溝深さが増加する割合も大きいことがわかる。



(a) 窒化ケイ素 (b) サイアロン
図5 加工溝の測定結果と理論的切り込み深さとの比較

4. 結言

本研究より、得られた結果を以下に示す。

1. 研削後の溝幅は、窒化ケイ素では理論値とほぼ同値を示すが、サイアロンでは切り込みが深くなると巨大なチップングが発生し、理論値よりも大きい値を示す。
2. 溝深さは、両材料とも切り込みが浅い研削初期は理論値よりも小さいが、固有の切り込み深さに達すると変曲し理論値よりも大きくなる。両材料で比較すると、サイアロンの方が窒化ケイ素よりも小さい切り込みで変曲点に達し、その後の変動も大きい。