

回転工具用コランダムチップの開発

Development of Single Crystal Corundum for Cutting Tool

研究報告者 牛 尾 雅 樹



プロフィール

最 終 学 歴 平成 20 年 3 月
九州工業大学大学院
情報工学部 終了
専 門 分 野 5 軸工作機械、切削加工
学 位 博士（情報工学）
所 藏 団 体 名 福岡県工業技術センター
機械電子研究所
役 職 名 技術総合支援室長

今後の抱負

平成 22 年度に助成頂き、研究開発を進めた結果、工具に対するコランダム材料の適用につきまして、種々の知見を得ることができました。

かつ、九州工大 鈴木研究室の御協力を頂きました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

さて私は現在、研究所内に在席しておりますが、部署変更に伴いまして、研究所の広報活動・相談の窓口であります。支援室での業務となり研究現場とは違った側面で支援活動を始めております。

研究現場で培いました経験を糧に、支援活動を行ってまいります。

今後ともよろしくお願ひいたします。

本研究は、単結晶コランダムを材種として用い、金型・複合材料等のエンドミル加工に適する工具開発を目的とした。著者らは既に、コランダム非回転工具の開発を行っており、半導体真空チャンバのシール溝に対して溝底面加工に関し一定の成果を得ている。しかし、非回転工具は特殊用途に限定されるため、工具普及の面から更なる適用範囲の拡張が望まれていた。そこで本報では、得られた成果を基に、汎用性の高い回転工具の開発を試み、工具設計・試作を行い、各種材料に対する切削試験から、工具としての適用範囲を明らかにした結果を報告する。

1 はじめに

切削加工において、高精度な加工を実現する一手法として、単結晶ダイヤモンド工具の適用が挙げられる。

単結晶ダイヤモンドは優れた硬度を有し工具刃先稜線を鋭利に成形可能である等の特徴を持つが、高価であり、主成分である炭素が鉄に対し高い親和性を有するため、鉄系材料の切削に適さない課題を残す。

本研究では、鉄系材料との親和性が低く、かつ機械的特性に優れる単結晶コランダムを工具材種へ適用することを検討してきた。著者らは、既に非回転工具の開発¹⁾を行い、半導体真空チャンバ等のシール溝に対し、Rmax40nmの面粗度を実現している。その後、コランダム工具を一般化する試みとして、金型材料に対し回転工具形状²⁾・切削条件³⁾に関する検討を行った。

特に、高速切削において良好な加工面を得られることが明らかとなっているが、切削初期段階で発生する工具刃先の損傷およびそれに伴う加工面の悪化を課題として残す。現在までに、工具作製時の結晶方向の相違が切削後の工具刃先状態に一定の影響を及ぼすという知見を得ている。

本報では、結晶方向の影響を考慮した工具設計・試作を行い、各種材料に対する切削試験か、工具としての適用範囲を明らかにする。

なお本研究は、公益財団法人三井金型振興財団からの助成金を頂き、研究開発を行ったものである。

2 工具設計・試作

2-1 単結晶コランダム

コランダムは、酸化アルミニウムを主成分とする鉱物である。耐熱温度は2050°C、ビッカース硬度は2500 kgf/mm²であり、単結晶材料であることから刃先を鋭利に成形することが可能である。コランダム結晶の合成法⁴⁾として、古くから溶融引揚法が確立されていることからダイヤモンドと比較して、大きな結晶を安価に製造できる。

2-2 工具形状

エンドミル工具で、一般的に使用される工具直径を想定しつつ、簡便に実験が行える構造であるスローアウェイ式を採用した。図1にその概観写真の一例を示す。

試作工具は、Φ6mmの工具シャンク先端部に、単結晶コランダムチップを固定し、Φ7mmの一枚刃とした。

刃先形状は、これまでの結果からすくい角-60°及び逃げ角30°となるよう設定した。

2-3 へき開面と刃先の相対関係

単結晶コランダムは稠密六方格子構造であり、図2のような結晶構造を有する。

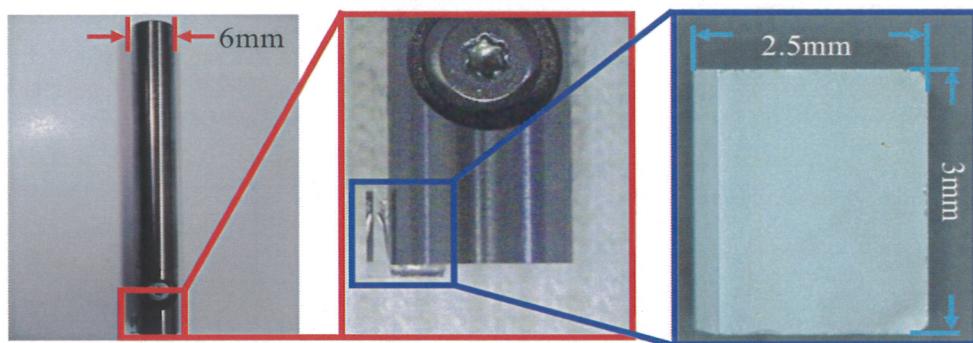


図1 開発したエンドミル(概観写真一例)

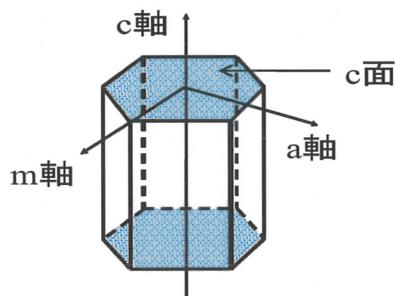


図2 結晶構造

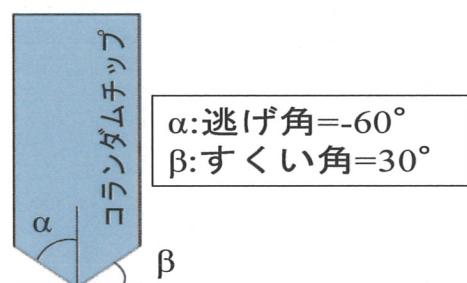
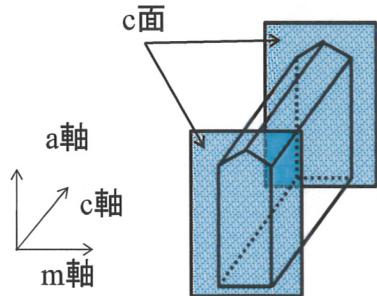
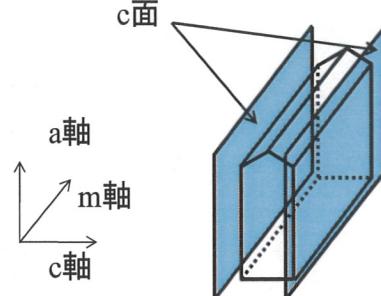


図3 刃先形状



(a)タイプNo.1



(b)タイプNo.2

図4 へき開面と刃先の相対関係

表1 S55Cに対する切削条件(最適条件)

結晶方位	タイプNo.2
回転数 [min ⁻¹]	20000
切削速度 [m/min]	440
送り速度 [mm/min]	200
一刃送り [mm/tooth]	0.01
軸方向切り込み深さ [mm]	2.0
半径方向切り込み深さ [μm]	10
被削材	S55C
加工雰囲気	JIS-N1 4号 ミスト

(以降、説明のため図2中の直交する3軸をそれぞれa,c,m軸と称する)。

単結晶材料は結晶の特定方向に沿って割れやすい特性(へき開性)を有するため,切削工具として使用する際,工具形状とへき開面の関係によって切削特性が異なることが今までに明らかとなっている³⁾.

また,その際に図3のような刃先が,最適形状であることも実験的に明らかとなった.

すなわち,結晶コランダムのへき開面はc面(c軸と直交する面)に存在するため,c面を切削方向に対し平行に設定した場合,工具刃先の損傷が顕著となる.

したがって,へき開面を刃先部から避け,更に図4に示すように,c面を切削方向に対して垂直に設定した場合および軸方向に対して垂直に設定した場合の二種類のチップを試作した. S55Cを切削した後の刃先拡大写真を図5に示す.

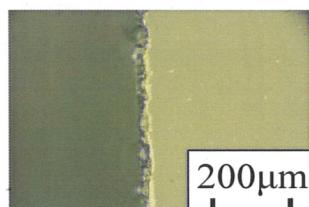
No.1は刃先稜線が損傷しているのに対し,No.2では刃先稜線が保たれており,損傷は確認されなかつた.

加工面拡大写真を図6に示す. No.1の工具による加工面では,工具送りに対し,垂直方向にカッターマークが確認されたが,No.2では確認されなかつた. 工具の損傷状態と加工面の状態はそれぞれ対応しており,カッターマークは,刃先損傷状態が転写されたものであると考えられる.

No.2による加工面ではカッターマークは確認されなかつたが,細かい傷が多数確認された. これは切り屑の巻き込みにより生じたものであると考えられ,切削油材の使用により改善が見込めた.

また,表面粗度を比較したところ,加工面状態と同様にNo.1の場合には μ mRz, No.2の場合には2.26 μ mRzであった.

本実験においては、最大高さ粗さによる評価を行ったため、カッターマークによる影響がより強く表れていると考えられた.したがって、単結晶コランダム作製時においては, No.2の配置,へき開面を軸方向に対して垂直に設定することとした.

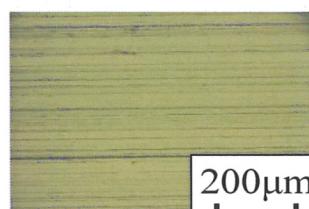


(a)タイプ No.1



(b)タイプ No.2

図5 切削後の刃先(拡大写真)



(a)タイプ No.1



(b)タイプ No.2

図6 切削後の切削面(拡大写真)

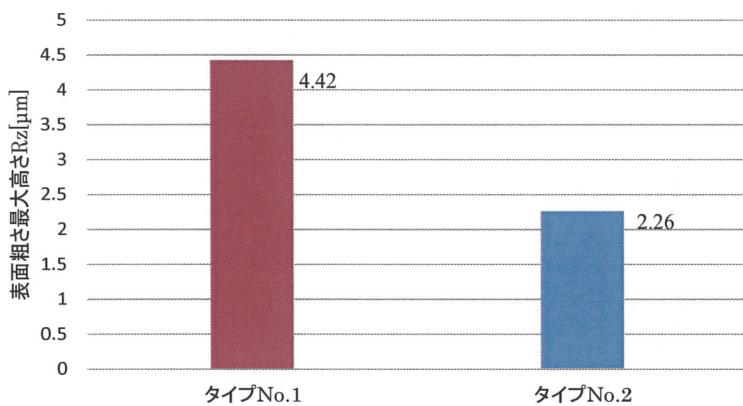


図7 切削後の切削面(面粗度 Rz)

3 他の切削材料に対する性能

開発した工具を幅広い用途に用いる可能性を求め,他の切削材料に関する性能評価を行った.

ここでは,より広範囲な面を仕上げ加工する目的で,図8に示す試作工具を用いた.

また,比較用の超硬工具には,刃先径 $\phi 12\text{mm}$, 4枚刃のOSG(株)製エンドミルWXL-ESMを使用した.

工作機械には(株)牧野フライス製作所製マシニングセンタV56i, 加工後のチップ刃先状態および,加工面の観察には,(株)キーエンス製デジタルマイクロスコープVHX-100,表面粗さ測定には,(株)東京精密製表面粗さ測定器サーフコム110Bをそれぞれ使用した.

3-1 焼結金属

通気性を必要とする金型や,含油軸受の仕上げ加工を想定し,金属光造形法で作成した焼結金属を用い,切削実験を行った.金属光造形複合加工法(以下,本造形法と記す)とは,金属粉末積層造形と高速切削を融合させた加工法であり,レーザ光の照射条件を変更することで,高強度な高密度焼結構造(以下,メルティング部と記す)と通気性能を有する低密度焼結構造(以下,スキン部と記す)を造形することが可能であり,通気性・強度を比較的容易に構造の選択制御が可能である.ここで,表2に切削条件を示す.

切削後の加工面状態の評価を行った.図9にスキン部の拡大写真を示す.(a)は素材,(b), (c)はWXL-ESM,開発工具を用いて切削したものである.

図9(b)と(c)を比較すると,どちらもスキン部の開気孔が加工面に露出しているが,(b)では開気孔が潰れているのに対して,図9では,開気孔の形状を維持することができた.

これは,超硬工具が焼結材料であるため,刃先に一定の粗さを残しているのに対し,開発工具は,単結晶材料であるため,刃先が鋭利であることが起因していると考えられる.

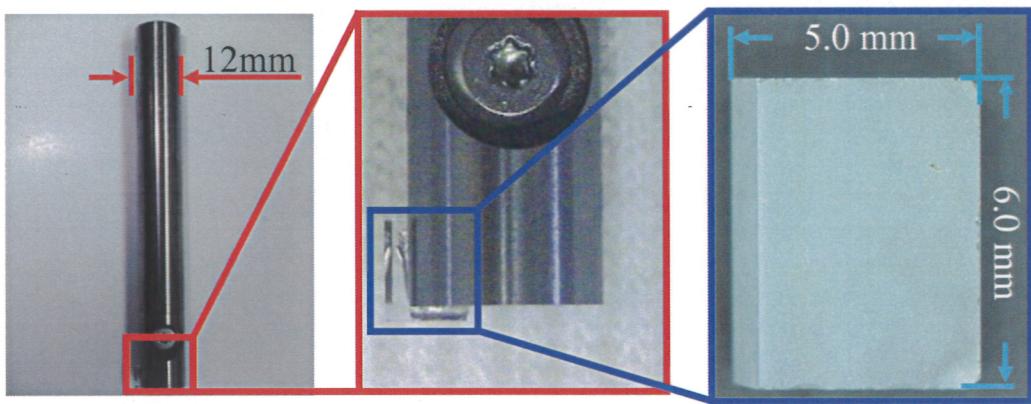


図 8 開発したエンドミル(概観写真一例)

この結果より、開発工具は、焼結材のスキン部を対象とした切削において有効であることが分かった。

図10にメルティング部の拡大写真を示す。(a),(b),(c)は図9と同様の配置である。スキン部と同様に、切削することによって素材表面は良好になった。(b),(c)はどちらも切削方向に対して平行にカッターマークが多く発生している。

(b)のカッターマークは、工具刃先の微細粒子の形状が転写したものであり、(c)のカッターマークは、欠けた工具刃先が転写したものであると考えられる。

次に、表面粗さについて評価を行った。

図11に素材表面とWXL-ESM、開発工具それぞれを用いて切削した加工面の表面粗度を示す。

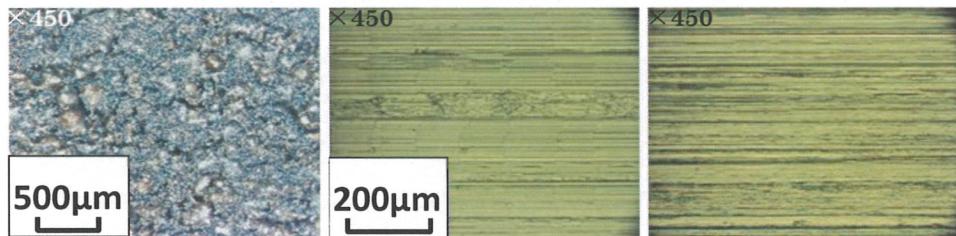
スキン部、メルティング部ともに素材の表面粗さは、WXL-ESM、開発工具それぞれを用いて切削したことにより、明らかに減少している。また、切削後の表面粗度は、スキン部よりメルティング部の方が小さかった。

これは、図8に示すように、スキン部の表面に開気孔が存在するため、メルティング部よりもスキン部の方が、表面粗さが大きくなつたと考えられる。

WXL-ESMと開発工具の表面粗度を比較すると、スキン部、メルティング部とともに、同程度の値を示した。

表2 焼結金属に対する切削条件

主軸回転数	[min ⁻¹]	3000
切削速度	[m/min]	113
送り速度	[mm/min]	30
一刃当たりの送り量	[mm/tooth]	0.01
軸方向切り込み深さ	[mm]	5
半径方向切り込み深さ	[μm]	5
被削材		焼結材
加工雰囲気		ドライ

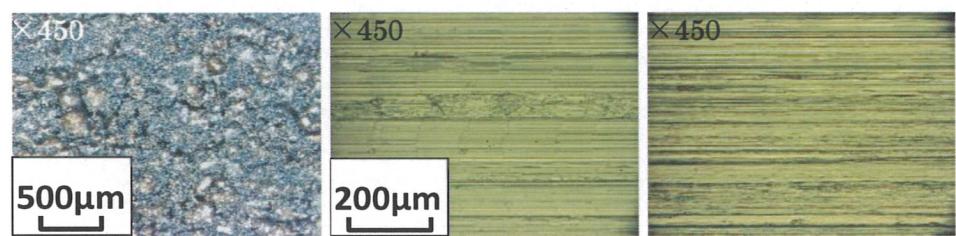


(a)焼結表面

(b) WXL-ESM

(c)コランダム

図9 加工面状態(スキン部)



a)焼結表面

(b) WXL-ESM

(c)コランダム

図10 加工面状態(メルティング部)

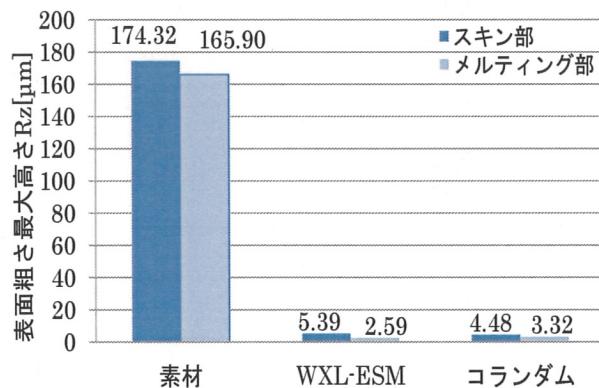


図11 切削後の切削面(面粗度Rz)

この結果より、開発工具は焼結材料を対象とした切削においても適用可能であることが分かった。

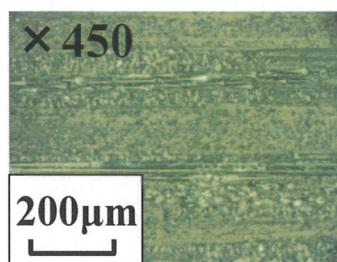
3-2 複合材料

CFRPとGFRPを対象に、開発工具と超硬工具による切削特性の比較を目的として、被削材側面をダウンカットにより切削を行う。切削条件を表3に示す。

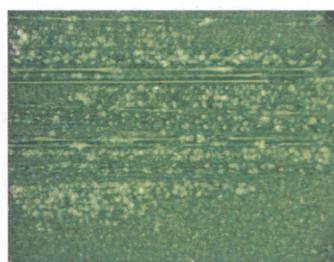
その他の実験手法および実験機器、評価項目は焼結金属切削と同様である。

表3 複合材料に対する切削条件

工具		WXL-EMS	コランダム
主軸回転数	[min ⁻¹]	3979	3410
切削速度	[m/min]	150	
送り速度	[mm/min]	159	34
一刃当たりの送り量	[mm/tooth]	0.01	
軸方向切り込み深さ	[mm]	5	
半径方向切り込み深さ	[μm]	5	
被削材		複合材料 (CFRP, GFRP)	
加工雰囲気		ドライ	

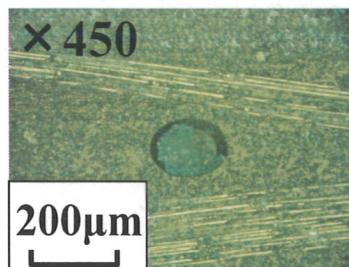


(a)WXL-ESM

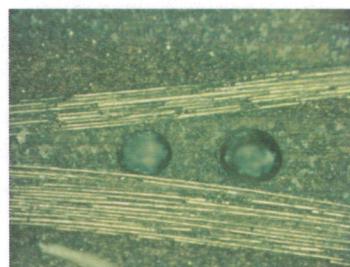


(b)コランダム

図12 加工面状態(CFRP)



(a)WXL-ESM



(b)コランダム

図13 加工面状態(GFRP)

したがって、今後も継続して切削実験を行い、最適な切削条件の把握が必要である。

図12にCFRP、図13にGFRPの加工面の拡大写真を示す。どちらの加工面も比較的良好に切削できており、顕著な差異は認められなかった。

4 まとめ

本研究では、単結晶コランダムを用いた切削工具の開発を目的として、エンドミル工具に単結晶コランダムを適用し、結晶方向による刃先強度向上の検討および、刃先の鋭利性を活用した加工の検討を行った。

まず、単結晶コランダムチップ作製は、c面を切削方向に対して垂直に配置することにより、刃先に

損傷が少なく、加工面の表面粗さも小さいことが分かった。

つぎに、刃先の鋭利性については、焼結金属の場合WEL-EMSとコランダムを比較すると、コランダムでは開気孔の形状を維持することができた。

また、複合材料では、WEL-EMSとコランダムを比較すると、CFRP、GFRPどちらの被削材においても、加工面に差異は見られなかった。以下がまとめである。

1)回転工具用コランダムチップの設計・試作ができ、金型材料・焼結金属の仕上げ加工には、有用であることが分かった。

2)複合材料の仕上げ加工に関しては、加工は可能であるものの、従来工具との差異は認められなかつた。

謝辞

本研究遂行にあたり、平成22年12月から平成24年3月末日まで、公益財団法人 三井金型振興財團殿の助成を頂いた。ここに謝意をする。

5 参考文献

- 1)満留誠：精密工学会九州支部地方講演論文集、巻2007 pp.113-114
- 2)日高史博：精密工学会春季大会講演論文集、巻2007 pp.163-164(2007)
- 3)吉田寛章：精密工学会秋季大会講演論文集、巻2009 pp.117-118(2009)
- 4)吉木文平：鉱物工学、技法堂 pp.183-194(1960)