

平成26年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「無垢単結晶ダイヤモンド複数刃切削工具の製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 協和精工株式会社

目次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-2	研究体制	7
1-3	研究開発の成果と達成状況	10
1-4	当該研究開発の窓口	11

第2章 研究内容及び成果

2-1	①ダイヤモンド格子面の違いによる加工性の差異を考慮した加工条件の開発	12
2-3	②電界砥流研磨によるクラック除去の研究開発	14
2-4	③-1 複数刃エンドミルの開発と製品評価	15
2-5	③-2 評価方法の確立	16

第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	20
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	20

第一章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

研究開発の背景

昨今 IT 産業の発展に伴い、液晶用導光板、小型非球面レンズ、フルネルレンズ等の需要が年々増えている。一般にこれらの素子は精密金型を用いて大量生産され、素子の生産コストは金型の寿命に、素子性能は金型精度に依存することが大きい。この金型はダイス鋼で製作されている為に離型性、サイクル性に難があり十分な寿命が得られていないのが現状である。この対策として長寿命・高品質を目的とした超硬合金が注目されており、ダイス鋼金型と比較して約10～30倍の寿命が期待出来る。

超硬材の加工はその硬さの為に非常に難しい放電加工や電着砥石で荒加工、PCD、CVD コーティングエンドミルでの中仕上げの後に、ラッピングで鏡面仕上げを行っている。しかし、中仕上げの面精度に依るところが大きいラッピングによる鏡面仕上げは時間が掛かる工程である。

そこで、ラッピングに変わる手法としてエンドミルによる切削加工のみで鏡面化する手法が以前より着目されている。

鏡面加工可能な工具の一つとして単結晶ダイヤモンドが挙げられるが、加工が非常に困難なことや、劈開性がある為に使用出来る格子面が限られており、また、工具仕上げ研磨時の応力集中により100nm～1 μ m レベルのクラックが発生し、切削加工中にチッピングを起こし刃先寿命の低下を招くことが報告されている。

マイクロクラックの除去は必要だがダイヤモンドの高い硬度の為に時間が掛かるうえ、エンドミルの複雑な形状からマイクロクラックを除去するのは既存の技術のみでは難しい。

このため、仕上げ研削代が小さく出来ず、仕上げ時間の掛かる仕上げ研磨を長時間行う必要がある。また複雑な形状加工もできないのが現状であり単純な形状である一枚刃のみの製品しかなく非常に高価である。

一枚刃は一刃に掛かる力が大きいため切削抵抗が高く、複数刃と比較して工具寿命や磨耗が早いことは周知の事実であり、実際他の切削工具でも単刃は殆ど無く複数刃が主流である。以上のことから、市場ニーズを満足するには安価

で耐摩耗性、耐欠損性の優れた単結晶ダイヤモンドの複数刃が望まれるが、ダイヤモンドには劈開性・格子毎による磨耗性があり、これらの特性を考慮し刃先形状などを検討し加工方法の研究を進めなければならない。

研究目的及び目標

〔①. ダイヤモンド加工条件の開発〕

ダイヤモンドの各格子での加工性の差異を調査し、荒加工にレーザー加工、仕上げ研磨にスカイフ研磨を実施する。レーザー加工においてはダイヤモンドエンドミル一枚刃、二枚刃工具の仕上げ加工代を $5\mu\text{m}$ とする。また、仕上げ研磨によりダイヤモンド面粗さを $Rz: 0.1\mu\text{m}$ 以下にする。

レーザー加工はダイヤモンドを早く切削することは優れているが、加工物を一瞬高温にすることと焦点距離(集光特性)がある為に直進性のある加工は難しくある程度の加工代が必要である。その上ダイヤモンドは 800°C 以上で黒鉛化する性質を持つ為に、高温となった箇所は黒鉛化し硬度が著しく低下する為に黒鉛部の除去が必要である。この為、従来は仕上げ研磨代が数 $100\mu\text{m}$ と時間の掛かる仕上げ研磨を長時間行う必要がある。

しかし昨今のレーザー技術の進歩とともにダイヤ加工も容易に可能となった。本研究で使用する特殊レーザーの加工条件の最適化と、ダイヤモンドが劈開(割れ)が発生しない加工パスを設計することで仕上げ研削代を $5\mu\text{m}$ 以内にする。

仕上げ研磨代を低減することにより、ダイヤモンド工具の製造時間短縮化が図れるため、工具単価を抑えることで今後単結晶ダイヤモンド工具の加工事例が増えることが予想される。

ダイヤモンドを工具形状に加工をするためには特殊レーザーの使用とレーザー加工シミュレーション手法の開発が必須である。特殊レーザーの仕様も相まって市販のシミュレーションソフトが使用できないため、本研究ではダイヤモンド加工に特化した多軸加工機とシミュレーション手法を弊社独自に設計する必要がある。

次に、研磨評価を行う。レーザー加工後のダイヤモンドに研磨を行い、ダ

イヤ面で粗さが $Rz:0.1\mu\text{m}$ 程になる条件を検証する。ここでの $Rz:0.1\mu\text{m}$ は工業用合成ダイヤモンドで光沢となる粗さであるが、ダイヤモンドには結晶格子が存在し、主な格子として $[100]$ 、 $[110]$ 、 $[111]$ があり $[111]$ 面に沿って劈開する特性を持っている。そのため、仕上げ研磨をする際も結晶方位を考慮した研磨が手法が必要となってくる(図1、図2参照)。

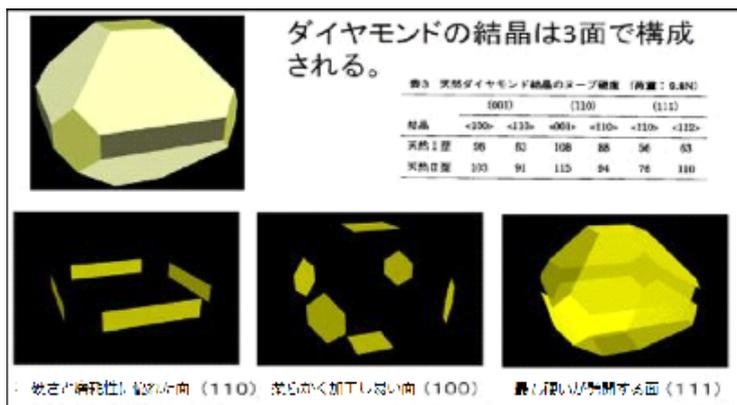


図1 ダイヤモンド格子

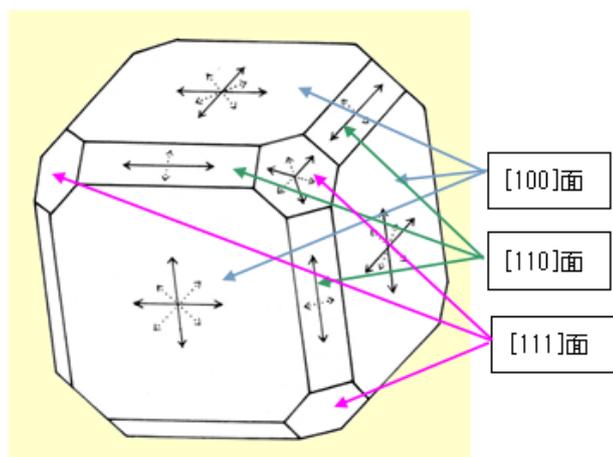


図2 結晶方位と加工性
※太字が加工し易い方向

〔②. 電界砥流研磨によるクラック除去の研究開発〕

ダイヤモンドに適した化学研磨方法を確立し、仕上げ研磨後のマイクロクラックを除去する。

ダイヤモンドの熱損傷による現象を利用して、ダイヤモンドを研磨する方法はいくつか報告されている。化学研磨の共通点は仕上げ研磨であるスカイフ研磨による機械的な除去により発生した研磨表面のマイクロクラックを熱化学反応のみで除去する手法である。

報告されている例はいずれも平面部への化学研磨であるため、本研究におけ

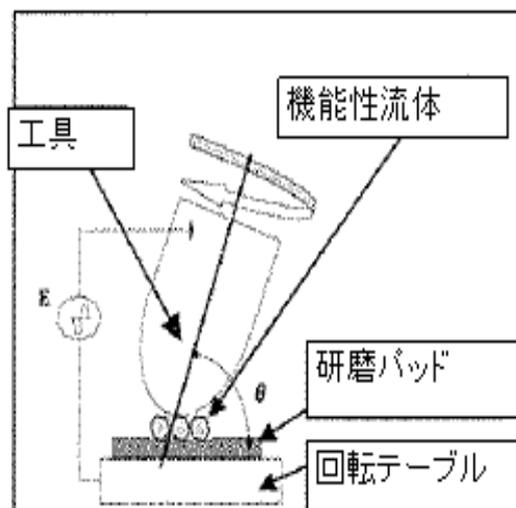
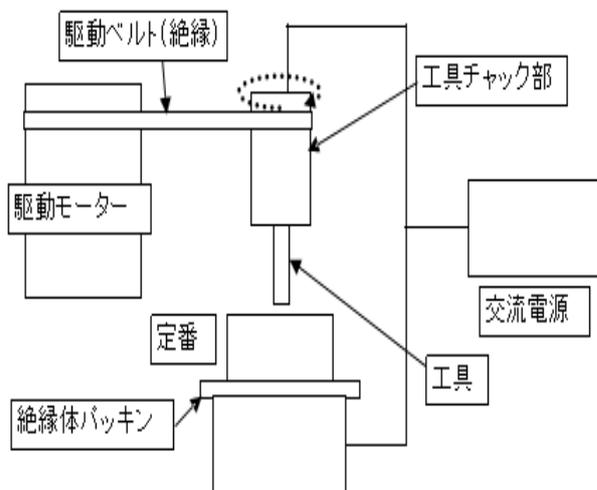
る工具形状への化学研磨手法に対しては効果が期待できない。

そこで、弊社独自の電界研磨手法をダイヤモンドの化学研磨に応用し、仕上げ研磨後の刃先仕上げとした。電界砥粒研磨は弊社と秋田県産業技術センターの共同研究で開発した加工方法(特許工法 PAT-3595219)であり弊社他工具でも仕上げ加工として使用しており、工具の長寿命化が施されることで客先より非常に高い評価を得ている工法である(図3、図4参照)。

従来は電界により引き寄せた誘電体の媒体であるダイヤモンド砥粒で刃先の研磨を行っていたが、ダイヤ工具の場合ダイヤ同士の共削りが発生し機械的研磨となるため刃先仕上げの効果は薄い。

そこで本研究は誘電体に酸化還元反応を誘発する媒体を選定し、電界によりダイヤモンド工具に誘電体を引き付け、ダイヤモンド-誘電体間で酸化還元反応を起こし単結晶ダイヤモンドのマイクロクラックを化学的に除去することである。

誘電体に用いる媒体と電界砥粒研磨条件を検証した。



〔3. 複数刃エンドミルの開発と製品評価〕

〔③-1 結晶格子による面の違いを考慮したエンドミルのデザイン〕

前述したとおりダイヤモンドには大きく分けて3面があり、〔111〕面に平行に劈開する特性がある。その為刃先先端は〔110〕面を使用したエンドミルの製造が望ましいと考えられるが、複数刃を作成するにあたり各格子が切削加

工に及ぼす影響が未知数である為に様々な格子のパターンを試作する必要がある。ダイヤモンドの結晶方位性を検証しながら工具刃先の開発を行う。

- ・格子⇒刃先(すくい面)に〔110〕面を使用する予定であり、逃げ面に〔111〕面、あるいは〔100〕面を試作する。

- ・すくい面角度、逃げ面角度⇒すくい面は 0° 逃げ面は $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の範囲で試作する。

- ・刃先形状⇒一枚刃と二枚刃エンドミルを作成する。

〔③-2評価方法の確立〕

製造した工具の評価は被切削材として超硬を用い、一枚刃、二枚刃で比較し摩耗性、欠損性の評価を実施する。

- ・被削材の面粗さ⇒面粗さが $RZ:0.2\mu m$ 以下になる加工条件を一枚刃、2枚刃で比較する。

- ・工具のSEM分析⇒面粗さが変化した時の工具磨耗、工具欠損の状態を調査する。

川下の求める性能ニーズに満たない場合、これらデータ情報を元に

⇒摩擦磨耗、チッピングの発生状況の調査

⇒磨耗、チッピング原因調査

⇒エンドミルの製造(加工)方法、デザインの見直し

を行うと共に、超硬切削時の加工条件の見直し等を行い再設計・再評価をしていく。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織

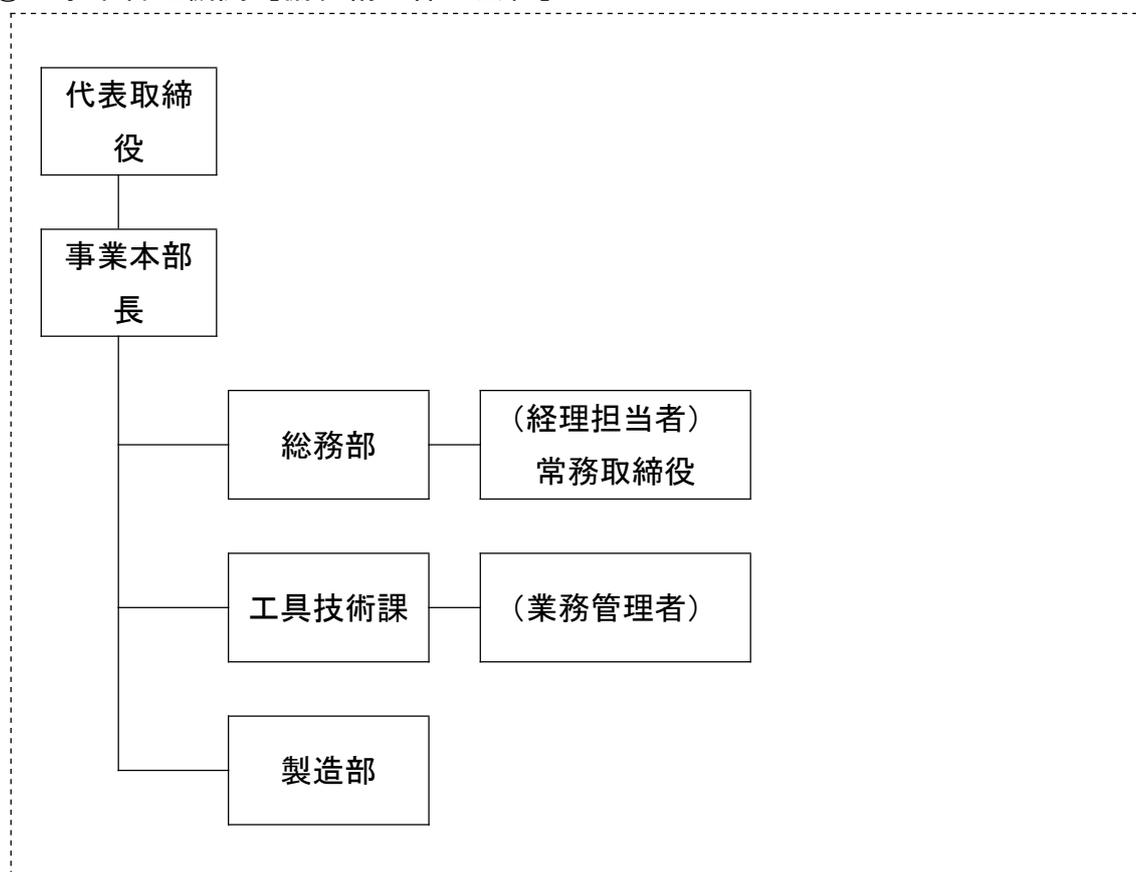
協和精工株式会社

総括研究代表者 (P L) 工具技術課 高橋 勇助

副総括研究代表者 (S L) 工具技術課 課長 小松 志行

2) 管理体制

① 事業管理機関 [協和精工株式会社]



② (再委託先)

なし

(2) 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理機関】 協和精工株式会社

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高橋 勇助	協和精工株式会社 工具技術課	P L、①、②、③
小松 志行	協和精工株式会社 工具技術課 課長	S L、①、②、③
佐藤 誠	協和精工株式会社 製造部 課長	①、②、③
大嶋 功	協和精工株式会社 製造部 係長	①
佐藤 千鶴子	協和精工株式会社 製造部 係長	①、②
長谷山吉明	協和精工株式会社 製造部	①

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高橋 勇助（再）	協和精工株式会社 工具技術課	P L、④
小松 志行 （再）	協和精工株式会社 工具技術課 課長	S L、④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】

協和精工株式会社

（経理担当者）	協和精工株式会社 常務取締役	渡辺 誠
（業務管理者）	協和精工株式会社 工具技術課	高橋 勇助

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
高橋 勇助	協和精工株式会社 工具技術課	PL <input type="checkbox"/> 委
小松 志行	協和精工株式会社 工具技術課 課長	SL <input type="checkbox"/> 委
川瀬 恵嗣	株式会社小林機械製作所 工機グループ取締役部長	アドバイザー
吉川 博道	株式会社トーメイダイヤ 気相合成部 部長	アドバイザー
安藤 豊	株式会社トーメイダイヤ 気相合成部	アドバイザー
高野 正樹	シノヴァジャパン有限公司 上級プロセスエンジニア	アドバイザー
鈴木 照光	有限公司 峰友技研 営業部長	アドバイザー

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
川瀬 恵嗣	レーザー発振機を搭載する多軸同時加工装置、ツールパスについて助言・協力を行う予定
吉川 博道	ダイヤモンド工具を作成するにあたり、ダイヤモンド結晶格子、磨耗性について助言・協力を行う予定
安藤 豊	ダイヤモンド結晶格子についての測定・評価について助言・協力を行う予定
高野 正樹	レーザー加工条件、加工パスについて助言・協力を行う予定
鈴木 照光	ダイヤモンド工具の評価、ユーザーニーズなどの助言・協力を行う予定

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望。

(6) その他

なし

1-3 研究開発の成果と達成状況

〔①ダイヤモンド格子面の違いによる加工性の差異を考慮した加工条件の開発〕

一枚刃工具においてはレーザーによる加工で仕上げ研磨代 $4\mu\text{m}$ であり、仕上げ研磨における工具精度としては、R部寸法 $\pm 3\mu\text{m}$ 、輪郭精度 $0.3\mu\text{m}$ 以下、芯上がり $1\mu\text{mMAX}$ 、中心部は $3\mu\text{mMAX}$ で製造。ダイヤモンド研磨部の面粗さは $Rz:0.01\mu\text{m}$ であるため目標を達成している。

二枚刃工具においては、工具ギャッシュ部の仕上げ研磨代が $10\mu\text{m}$ と目標よりも大きくなってしまったため、事業化前に補完研究を実施して仕上げ研磨代 $5\mu\text{m}$ 以内を目指す。仕上げ研磨における工具精度としては、R部寸法 $\pm 3\mu\text{m}$ 、輪郭精度 $0.3\mu\text{m}$ 以下、芯上がり $10\mu\text{mMAX}$ 、刃部フレ $3\mu\text{mMAX}$ で製造。ダイヤモンド研磨部の面粗さは $Rz:0.03\mu\text{m}$ であったため、仕上げ研磨は目標を達成している。

〔②. 電界砥流研磨によるクラック除去の研究開発〕

電界砥粒研磨の誘電体、研磨条件の検証と鏡面研磨技術の応用により、無垢単結晶ダイヤモンドエンドミル工具にチャンファー(面取り)加工を施し、ダイヤモンド工具先端の欠けを減少させた。刃部を全周にわたり10,000倍で測定したが、数 $10\mu\text{m}$ レベルのマイクロクラックはほぼ無かった。

〔③-1 結晶格子による面の違いを考慮したエンドミルのデザイン〕

研究項目①、②の達成で一枚刃、二枚刃エンドミル工具の製造が可能となった。製作した工具の刃先形状はボールエンドミルとスクエアエンドミル両方あるが、ユーザーニーズの高いボールタイプで評価する。すくい面に[100]、[110]と両面製造した。

主に[100]をすくい面とした工具はアルミ、アクリル用、[110]をすくい面とした場合は超硬等の硬脆材に使用すること前提としている。

〔③-2評価方法の確立〕

製造した一枚刃エンドミル、二枚刃エンドミルによる超硬加工を実施したところ、どちらも鏡面となった。

使用工具はすくい面に[110]格子のR=0.5mmのボールエンドミルでミーリング加工を実施した。被切削材には超硬のG80(V70相当)板材を用い、回転数30000rpm、送り速度60mm/min、横送りRd0.004mm、切込深さap0.002mm、潤滑方法はセミドライ加工を使用した。被削材の面粗さはどちらもRz:0.2 μ m以内と鏡面であったため本研究の目標は達成したといえる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

○事業管理機関

協和精工株式会社

〒012-1103 秋田県雄勝郡羽後町林崎字三ツ盛 34-1

Tel : 0183-62-4566 Fax : 0183-62-2030

工具技術課 課長 小松 志行

E-mail : komatsu@kyowaseiko.co.jp

第二章 研究内容及び成果

2-1〔①ダイヤモンド格子面の違いによる加工性の差異を考慮した加工条件の開発〕

特殊レーザーと弊社シミュレーションによるレーザー加工パスが動作可能な多軸加工機を設計、導入した後に加工条件の最適化を図ることで仕上げ研磨代 $5\mu\text{m}$ の荒加工が可能となった。

ダイヤモンド工具の製造において荒加工であるレーザー加工は非常に重要な項目である。レーザー加工条件や加工パスを最適化しなければダイヤモンドの割れや面精度の悪化を招き、工具としての不良、若しくは仕上げ研磨時間が増える等の弊害が発生する。レーザー加工を安定させるためには加工室の恒温化はもちろん、ダイヤモンドとシャンク間におけるろう付け精度の均一化等管理する項目は多岐にわたる。

また、本研究での仕上げ研磨手法としてはスカイフ研磨を実施する。研磨盤のフレが大きいとダイヤモンド工具刃先のチッピングが発生しやすくなるため、研磨盤のフレが非常に小さいエアスピンドルと研磨剤には天然ダイヤモンドパウダーを使用しダイヤモンド刃先を形成する。

特殊レーザー加工の最適化による仕上げ研磨代の削減により、ダイヤモンド工具の単価を現在の価格より $1/3\sim 1/2$ 程下げられることが分かった。現状ダイヤモンド工具は10万円以上するため、本研究で開発された加工手法により工具単価を下げることで、ダイヤモンド工具の普及につながるのではないかと期待している。

H25年度においてダイヤモンド一枚刃工具を製造し超硬を加工したところ、刃先が欠損し加工が出来なかった。その要因としては二つあり、一つは結晶方位の問題が挙げられる。 $[100]$ をすくい面とし製造したが、 $[100]$ 面は加工し易い反面、エンドミルとして加工する際も摩耗が早い。2つ目は一枚刃の刃先剛性が低く、直ぐにチッピングを起こすことが挙げられる。

そこで、 $[110]$ をすくい面とし、刃部に剛性向上を目的としたチャンファ加工を施したところ、超硬の鏡面加工に成功した(図5、6、7参照)。

工具精度としては、R部寸法 $\pm 3\mu\text{m}$ 、芯上がり $1\mu\text{mMAX}$ で製造。ダイヤモンドの面粗さは $Rz:0.01\mu\text{m}$ と目標以上の寸法精度を測定している。

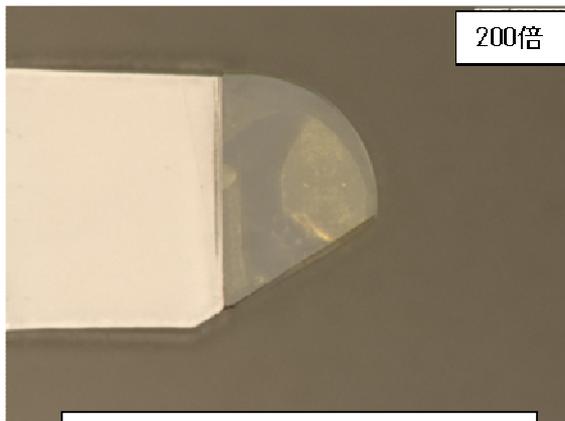


図5ダイヤモンド一枚刃工具すくい面

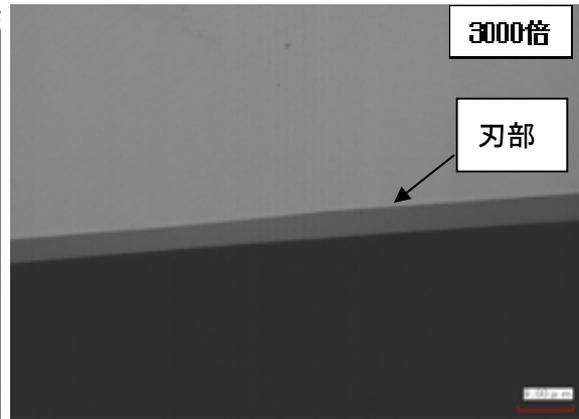


図6 刃先2番面拡大図

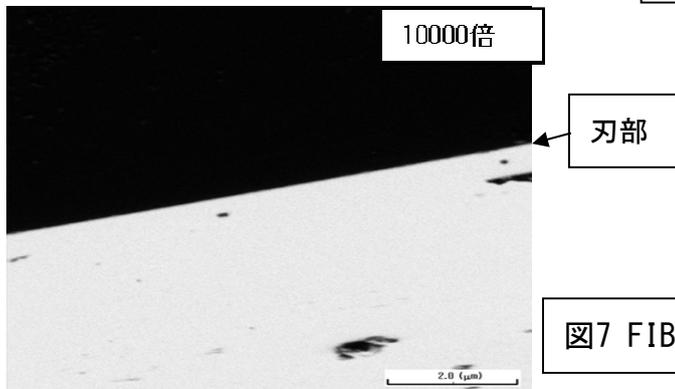
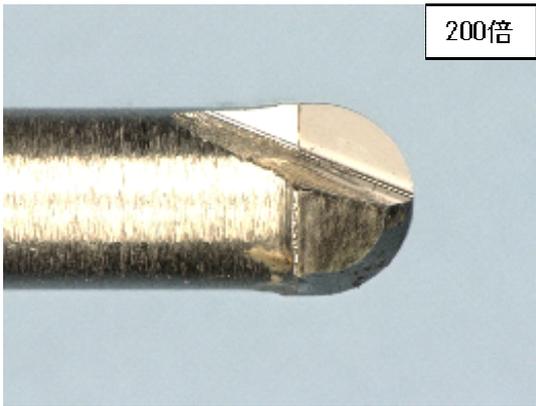


図7 FIBによる刃部細部観察

また、二枚刃工具においてはレーザー加工により仕上げ研磨代を $5\mu\text{m}$ 以内とする加工条件と仕上げ研磨でダイヤモンドの面粗さを $Rz:0.3\mu\text{m}$ 以内にする加工条件を検証したところ、レーザー出力の設定変、加工パスの最適化により、2枚刃工具の製造に成功した(図8、9参照)。

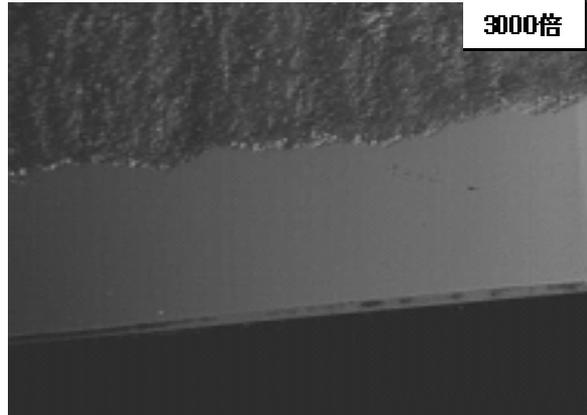
工具精度としては、R部寸法 $\pm 3\mu\text{m}$ 、芯上がり $10\mu\text{mMAX}$ で製造。ダイヤモンドの面粗さは $Rz:0.03\mu\text{m}$ と目標とした寸法精度を上回る結果となった。

2枚刃工具による超硬加工においても、鏡面加工に成功しており目標を達成した。



200倍

図8 ダイヤ2枚刃工具すくい面



3000倍

図9 2枚刃工具2番面拡大図

2-2 〔②. 電界砥流研磨によるクラック除去の研究開発〕

電界砥粒研磨によるマイクロクラックの除去として、H25年度までの研究でマイクロクラック除去に有効的であることは判明していた。

電界印加前の工具全周を確認したところ、10nmレベルのマイクロクラックは数10か所であったが、電界砥粒を加えることで2~3か所まで減少した(図10、11、12、13参照)。

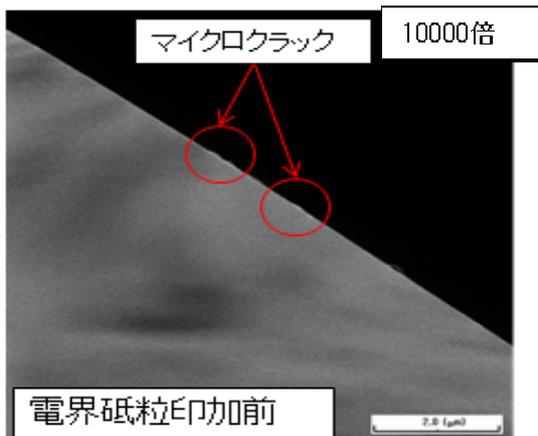


図10 電界砥粒印加前工具刃先

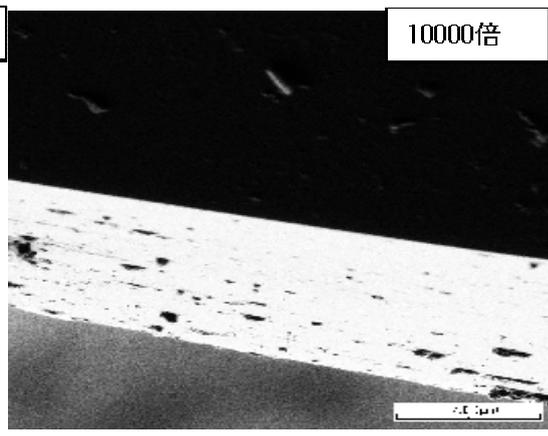


図11 電界印加後の工具刃先(10°付近)

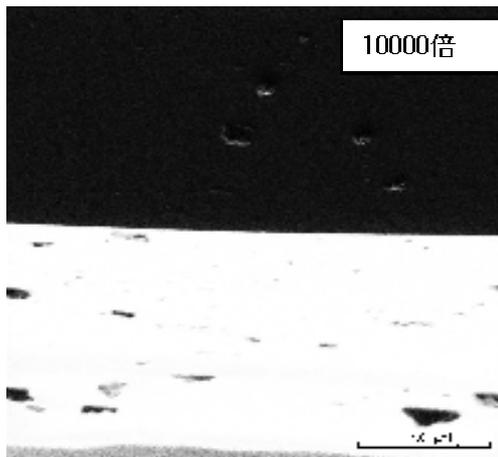


図 12 電界印加後の工具刃先 (45° 付近)

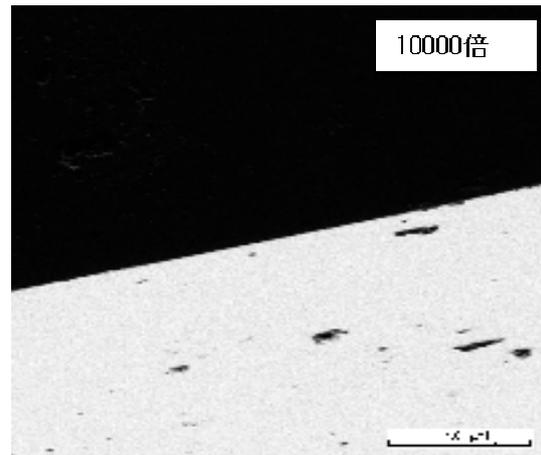


図 13 電界印加後の工具刃先 (80° 付近)

二枚刃工具においても電界砥粒研磨を実施したところ、一枚刃同様の結果が得られたことにより刃先のマイクロクラック除去に大きく効果が有ることが判明した。

電界砥粒研磨によるマイクロクラックの除去手法は工具刃先の欠け、チッピングが起こり難くなることによるダイヤモンド工具の品質安定化に繋がると考える。この工法はダイヤモンド工具の仕上げ処理としては非常に有用であり、PCD等のダイヤモンド工具への応用も期待できる。

2-3 [③-1 結晶格子による面の違いを考慮したエンドミルのデザイン]

研究項目①、②の達成で二枚刃エンドミル工具の製造が可能となった。製作した工具の刃先形状はボールエンドミルとスクエアエンドミル両方あるが、ユーザーニーズの高いボールタイプを優先で評価する。スクイ面に[100]、[110]を選択。製法上より逃げ面角度が8°以下は逃げ面幅が極端に狭くなり、12°以上になると研磨中ダイヤが割れやすくなる傾向にあったため、スクイ面は0°、逃げ面は8~12°とした。

また、チャンファー角は[100]をすくい面とした場合結晶方位上45°付近で非常に硬い面が出てくるため加工が困難となり、[110]の場合は劈開する方向となるため、45°以下が望ましい。また、チャンファー角が15°以下になると研磨時に刃先が割れ易くなるため中間の30°がチャンファー角として適正であった。

2-4 〔③-2評価方法の確立〕

製造した一枚刃エンドミル、二枚刃エンドミルによる超硬加工を実施したところ、どちらも鏡面となった。

使用工具はすくい面に[100]格子、[110]格子の2種類を選択し、R=0.5mmの一枚刃ボールエンドミルでミーリング加工を実施した。

被切削材には超硬の G80 (V70相当) 板材を用い、回転数30000rpm、送り速度60mm/min、横送り Rd0.004mm、切込深さ ap0.002mm、潤滑方法はセミドライ加工を使用した。

予備実験で油性による湿式と、セミドライ式で超硬の溝加工を実施したところ、セミドライ加工において面粗さは良好であった(図14、15参照)。

湿式加工による切削油が加工点に供給される場合、エンドミル加工のような断続切削では切削時の刃先温度は高温となり、一方非切削時には油剤で急に冷やされる状態を繰り返すため工具は熱的な衝撃を受けやすい傾向にあるが、セミドライ加工では非切削時に過剰な冷却がないため工具摩耗の減少につながったと考えられる。

ダイヤモンド工具のすくい面を[100]格子にして試験を行ったところ、4m程の加工で図4のようにダイヤモンド工具はアブレッシブ摩耗が顕著に観察された。

すくい面を[100]格子にすると逃げ面も[100]格子となるためダイヤモンドの摩耗方位と一致する。そのためアルミ等の硬度の低い非鉄金属の加工には適用できるが、超硬を加工するうえで工具寿命の観点から好ましくないと考える。

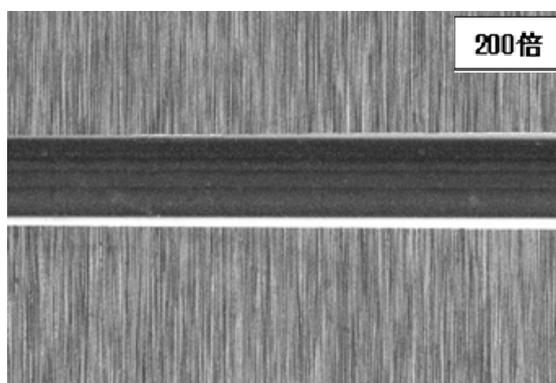


図14湿式による超硬溝加工 ($R_z : 0.35 \mu\text{m}$)

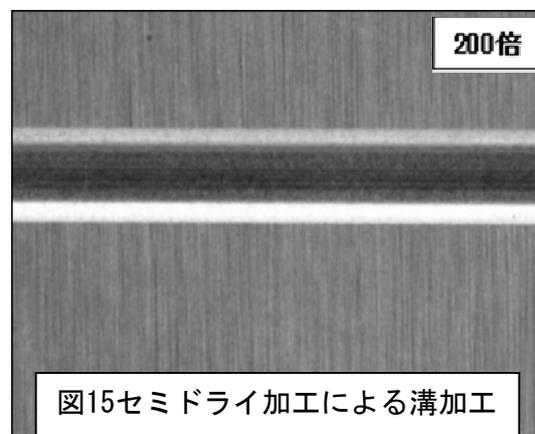


図15セミドライ加工による溝加工
($R_z : 0.1 \mu\text{m}$)

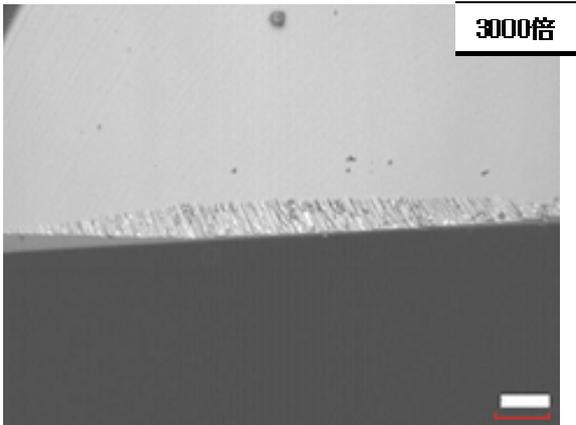


図16 [100]をすくい面として4m加工後の刃先

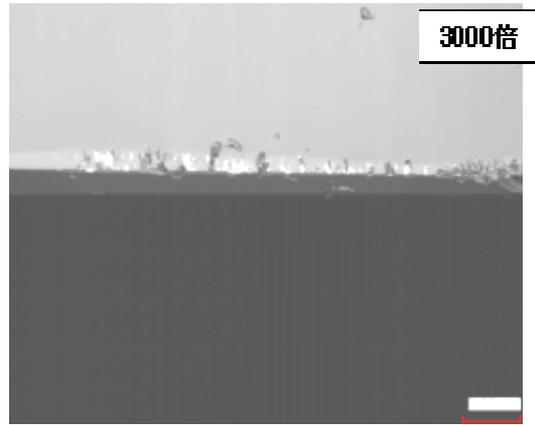


図17 [110]をすくい面として15m加工後の刃先

次にすくい面を[110]とし加工試験を実施したところ、15m加工（面積60mm²）後のダイヤモンド工具の拡大図を図17に示す。[110]格子をすくい面とすると、刃先が劈開方向である[111]格子の影響を受けるため、チップングしやすい傾向にあるがチャンファー加工を施すことによりダイヤモンドの損傷を抑えることが可能となった。

加工形状は図18の通りで20mm×10mmの超硬板材にロゴマークを加工した。被削材の面粗さはRz:0.2μmであり、Rz:0.3μm以下の面粗さで鏡面とされているため良好な面粗さであると言える(図19参照)。



図18 パターンミリング加工後の写真

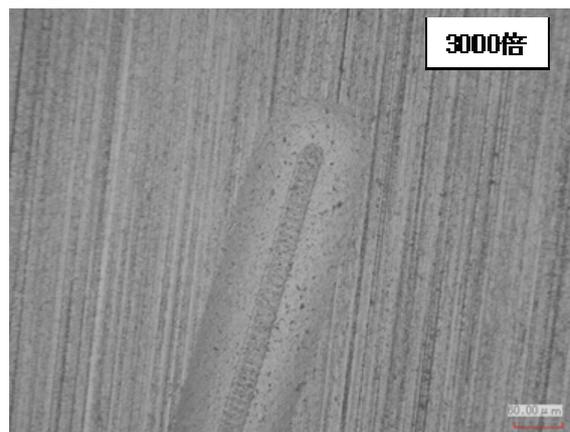


図19 パターンミリング加工面の拡大写真

[110]をすくい面として二枚刃工具による R=0.5mmボールエンドミルでミリング加工を実施した。

被削材と切削液は一枚刃と同様であり、加工条件は回転数50000rpm、送り速度150mm/min、横送り Rd0.004mm、切込深さ ap0.002mmで実施した。

40m加工後のダイヤモンド工具の拡大図を図20に示す。超硬粒子が付着しているが、摩耗はチャンファ部分のみであり3~4 μ m程の損傷であった。損傷形態はチップング、アブレッシブ摩耗両方であり、40m加工後の状態としては良いと考える。

被削材の面粗さを測定したところ、Rz:0.21 μ mであり、2枚刃においても鏡面仕上げが成功したと考える(図21参照)。

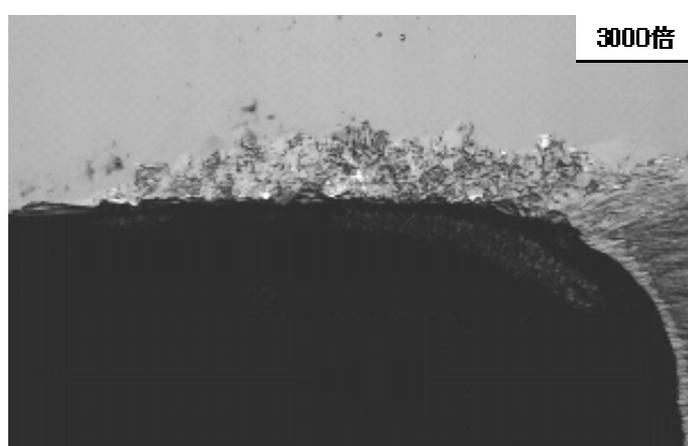


図20[110]をすくい面として40m加工後の刃先



図21パターンミリング加工後の写真

次に被切削材にアクリル材、アルミ材 (A5052) を用い、単結晶ダイヤモンドボールエンドミル工具 ($R=0.5\text{mm}$) でミーリング加工を実施し被削材の面粗さを測定した。

加工条件はそれぞれ回転数30000rpm、送り速度400mm/min、横送り $Rd0.01\text{mm}$ 、切込深さ $ap0.005\text{mm}$ とし、潤滑方式はエステル系によるセミドライを採用した。

図22、23は加工後の被削材であり、アクリルは完全鏡面、アルミ (A5052) の面粗さは $Rz:0.1(\mu\text{m})$ 、 $Ra:0.02(\mu\text{m})$ とどちらも鏡面仕上げとなっている。



図22 アクリル加工



図23 アルミ合金 (Al5052) の加工

第3章 全体総括

開発研究成果

一枚刃ダイヤモンド工具は以前より各メーカーから販売されていたが、仕上げ研磨時に発生するマイクロクラック除去工法は未だ技術的に確立されていなかったため、本研究にて達成できたことは非常に大きい。

二枚刃ダイヤモンド工具においては、レーザー加工、仕上げ研磨、マイクロクラック除去に成功し工具形状として製造が出来たことは研究成果としては当初の目標通りであった。

二枚刃工具の製造成功により、一刃当たりの負荷低減による耐摩耗性を向上、且つ、刃の剛性を持たせる効果が期待できる。現在、工具市場では無垢ダイヤモンド複数刃はまだ報告されていないため、市場初となる無垢ダイヤモンド二枚刃工具となる。

耐欠損性、耐摩耗性の向上により、難しいとされていた超硬合金の直堀り加工を実施したところ、超硬加工時の被削材表面粗さは Rz:0.2 以下を測定しており、鏡面となる粗さの指標は Rz:0.3 μm 以下であるため良質な加工面を得ることに成功した。

このことから本研究におけるメインテーマの一つであるダイヤモンド工具の耐欠損性、耐摩耗性の向上に対しての製造開発の目標は達成したと考える。

また、レーザーによる荒加工工程の最適化でレーザーから仕上げ研磨まで想定した以上に加工時間が短くなった。工具単価を下げることで今後単結晶ダイヤモンドエンドミル工具の使用事例が増えることが期待される。

ただし、本報告書中①の二枚刃工具形状のレーザー加工によるギャッシュ部の仕上げ研磨代は 10 μm であり、目標である 5 μm 以内の到達には至らなかった。このため、一枚刃工具は弊社工具単価の目標を達成しているが、二枚刃工具においては工具単価の目標を達成していない。

研究開発後の課題・事業化展開

本研究中で達成できなかった①の二枚刃工具のギャッシュ部の仕上げ研磨代を 5 μm 以内にするためにはレーザー加工機の改造が必要となってくるため、事業化前に補完研究を実施する。

今後、本工具の製品化、事業化のために弊社ダイヤモンド工具の基礎評価を

実施しての加工条件の提案、ユーザー様にて使いやすい工具、メリットのある工具を開発していく必要がある。本事業中に投稿論文による研究成果の報告と大型展示場での弊社試作工具を展示したところ、多くの会社からサンプル、関係資料の取り寄せ依頼があった。

平成 27 年はマーケティング、及び、客先ニーズのあるダイヤモンド工具形状を試作しながらプレスリリースや技術情報を発信し平成 28 年より販売を開始する予定である。