ダイヤモンドバイトの精密研磨および計測*

Fine Polishing and Instrumentation of Diamond Cutting Tool

岡 幸嗣** 小島一志***
Koji OKA and Kazushi OBATA

Key words: fine polishing, instrumentation, single crystal diamond, form deviation of corner radius, crystal damage, anisotropy, orientation of crystal

1. はじめに

ダイヤモンドバイトは耐摩耗性や刃先稜の鋭利さなど、切削工具として優れた特性を持っている。その反面、加工法や刃先の設計が不十分であると、その優れた特性の数分の1も生かせない結果となる。それはダイヤモンド結晶の異方性と、それによるへき開性による。

たとえば、刃先研磨を行う場合、結晶の異方性を無視すると研磨面の表面品位が悪くなり刃先稜に微小チップングが多数発生する。この刃先稜は鋭利さが損なわれるばかりでなく、結晶欠陥を多く含んだ加工変質層をもつため、切削加工中に新たな欠陥を誘発することとなる。

また、結晶の異方性に逆らわず刃先研磨を行うと刃先稜は鋭利となるが、刃先各部は研磨特性が異なるため、満足のいく刃先形状精度を得るのは困難である。

単結晶ダイヤモンドバイトは、古来、工具寿命および切削性能の不安定さが問題点としてあげられているが、これはダイヤモンド素材のばらつきだけではなく、研磨による刃先形状精度および刃先稜の品位（チップングのないこと、潜在クラックのないこと、刃先稜丸味半径が均一なこと）のばらつきも大きな要因となる。

ダイヤモンドバイトの工具寿命と切削性能を高め、かつ安定させるには次のことを実施する必要がある。

- (1) 用途、使用条件に合った工具設計を行う。
- (2) 刃先の幾何学的精度を高める。
- (3) 刃先稜の品位を高める。

本稿では(2)および(3)にかかわる精密研磨および計測について説明する。

2. ダイヤモンドバイトの研磨

2.1 ダイヤモンドの研磨

ダイヤモンドの加工法には、主として表1に示す加工法があり、このほかに最近ではイオンビーム²⁾を用いた加工法など、いままでに利用されなかった新しい加工法がある。これらの加工法のうち、ダイヤモンドの研磨は最も古くから行われ、最も基本的な加工法である。

ダイヤモンドの研磨は、スカ이프とよばれる鑄鉄製の円板にダイヤモンド微粉末を塗り込み、その円板にダイヤモンドを押し付けることにより行う(図1)。ダイヤモンドの保持は、はんだなどの低融点合金を溶かしてその中に埋め込む方法や、特殊な鋼製のつめを使って固定する方法がある。このようにダイヤモンドの研磨は、ダイヤモンドの微粉末を用いて加工するが、その機構は微粉末による微小へき開の集積と熱による炭化および黒鉛化である。

ダイヤモンドバイトを造るにあたり、結晶面および方向をバイトのどの位置に精度よく設定するか、研磨特性を熟知しいかに精度よく研磨するかはバイトの性能を左右する重要な要素である。古くから行われているバイトの研磨では、ダイヤモンドの面および方向の

* 原稿受付 昭和63年7月7日

** 大阪ダイヤモンド工業(株) (堺市鳳北町2-80)

*** 正会員 大阪ダイヤモンド工業(株)

表1 単結晶ダイヤモンドの加工法

加工法	加工原理	応用分野
研 磨	ダイヤモンド微粉末を回転円板に塗りつけて、単結晶を押しつける（ともずり）	良好な仕上表面が得られるため、単結晶バイトの刃付工程に用いる
超音波加工	ダイヤモンド微粉末を使うともずり加工であるが、超音波振動による微粉末に振動を与える	良好な表面が得られるが、加工速度は研磨より遅い
クリーピング	金属製のノミを用いて、単結晶のへき開面に沿って割る	工具製造に利用することはごくまれ
ソーイング	黄銅製の回転円板外周にダイヤモンド微粉末を塗りつけて単結晶を押しつけ、切断する	切断できる方位は限られるため特殊な工具製造にのみ用いられる
ブルーチング	単結晶を旋盤の回転軸に取り付け、別の単結晶をバイト同様に押しつける。ともずり加工の一種	粗加工法として簡便である。良好な面は得られない
放電加工	気中での高電圧放電あるいは液中での低電圧放電がある。いずれも放電による熱加工である	加工形状を厳密にコントロールはできない。また、表面は炭化相（酸化）が生じており、粗い
レーザ加工	レーザ光による熱加工である	レーザビーム径を細くすることによりある程度の形状精度は得られるが、表面は変質層（炭化、酸化）を生じており、粗い

図1 単結晶ダイヤモンド研磨装置

設定は熟練者の経験と勘によるものである。面の設定は、まずダイヤモンドの外観から推定し、上述の保持方法を用い必要とする面を固定するが、保持具の機構上正確に面設定することは困難である。さらに研磨方向については、外観である程度研磨方向の予測をたてた後、実際に加工し方向の適正を判断する方法をとるため、必然的に結晶方位を無視した加工法となり、高品位な刃先稜は得られない。また、研磨されたダイヤモンドは、粉末冶金法を用い焼結固定され、この焼結

体チップをバイトシャンクにろう付けしバイトとなる（図2(a)）が、研磨された面とバイトシャンクの位置および角度精度が狂いやすい。

このように、古くから行われている加工法では、高精度な刃先および高品位の刃先稜を得るのはむずかしい。

2.2 精密研磨

ダイヤモンドバイトへのニーズも切れ味のみを求めた時代から、加工機械の運動精度や制御技術が向上し、表面粗さ $0.01\ \mu\text{m}$ 、形状精度 $0.1\ \mu\text{m}$ オーダを求めるようになり、バイト刃先の品位と形状精度はより重要となった。

バイト刃先の品位と形状精度をより高める方法として、ダイヤモンドの固定方法と研磨システムをあげることができる。

ダイヤモンドの固定方法として、ダイヤモンドと反応性の高い金属をろう材として用い、シャンクとダイヤモンドをろう付けする方法がある（図2(b)）。この方法の特徴¹⁾は、

- (1) 接合強度がきわめて高い。せん断強度 $15\ \text{kgf/mm}^2$ 以上である。
 - (2) シャンクとダイヤモンドの密着性が高く、熱拡散性がよい。
 - (3) 精度よく結晶方位を設定できる。
 - (4) シャンク基準に精度よく研磨できる。
- である。

この接合法により、バイトのコーナ R の輪郭度数十

(a) 焼結合金によるダイヤモンド固定

(b) 特殊ろう材によるダイヤモンドの接合

図2 ダイヤモンドの接合

表2 ダイヤモンドバイト加工の主な計測装置

形 状	品 位
<ul style="list-style-type: none"> ・万能投影機 ・万能工具顕微鏡 ・表面粗さ測定機 ・輪郭形状測定機 ・測長機能付きSEM 	<ul style="list-style-type: none"> ・微分干渉型顕微鏡 ・SEM ・EPMA ・ESR ・X線回折装置

nmおよび数秒オーダの角度を有する超精密ダイヤモンドバイト‘UPC-R’、‘UPC-T’が誕生した。

一方、研磨システムについては、研磨盤の機械精度を高め、かつ研磨材であるダイヤモンド微粒子の厳密な分級を必要とする。

これらの方法により、高精度、高品位な刃先を安定的に造ることが可能となる。

3. ダイヤモンドバイトの計測

3.1 計測装置

表2はダイヤモンドバイトの加工に使用される主な計測装置である。

一般的に角度や寸法は万能投影機（最小目盛0.001mm、角度最小目盛1°）や万能工具顕微鏡（最小目盛0.001mm）を用い計測を行う。

また、万能工具顕微鏡の計測によりダイヤモンドバイト刃先各点の座標を求めバイトコーナR部の半径などを求める。

その他、ダイヤモンドバイト研磨面の真直度や輪郭度の計測には表面粗さ測定器、輪郭形状測定器などを用いる。

また、刃先品位の評価方法としては微分干渉型顕微鏡（400～600倍）により刃先稜のチップングの有無や研磨状態の良否を判定する。

3.2 輪郭形状（真円度）測定装置

真のバイトの輪郭形状を測定するには、切削に関与する切れ刃稜を工具を取り付ける加工装置の運動平面に平行に2次平面上で切削点の高さで観察する必要がある。

そこで、ダイヤモンドバイトの刃先稜を非接触で測定できる測長機能付き走査型電子顕微

表3 バイト輪郭形状測定法の比較

	EMM-3000	従来法
方 法	測長 SEM (非接触)	触針式形状測定装置 (接 触)
測定点
プローブ径	5nm (電子線)	100 nm (ダイヤ針)
分解能	垂 直 — 水 平 10 nm 以下	数 nm (100 nm)
測定範囲	600×600 μm	バイト全域(触針法)

鏡(EMM-3000)を用いて測定するシステムがある。ダイヤモンドバイト刃先に照射する電子ビームの軸を移動するコイルと、別に電子ビームを走査するコイルを設け、広範囲において収差の少ない電子線走査装置により刃先を観察する(表3)。

このとき、任意の測定点の座標をビームの移動距離により算出する。これらの座標を円の方程式の最小自乗法により回帰円半径を求め、回帰半径から実測値ま

表4 単結晶ダイヤモンド工具の形状例

すくい面形状		項 目	達成精度
通常 バイト 精度 例	単純形状バイト	平刃形真直度	$L < 2 \text{ mm}$ $l = 0.01 \mu\text{m}$
		角度精度	$A < 30'$ $a_1 = \pm 10''$
			$< 5^\circ$ $= \pm 2'$
			$< 60^\circ$ $= \pm 10'$
	総型バイト	R 刃形輪郭度	$WA < 90^\circ$ $r = 0.05 \mu\text{m}$
			$< 120^\circ$ $= 0.1$
			$< 180^\circ$ $= 0.2$
	ピッチ精度	$P = \pm 0.01 \mu\text{m}$
		角度精度	$a_2 = \pm 30'$
		凹部最小値	60° 未満 $R = 0.1 \text{ mm}$
			60° 以上 $= 0.05$
		刃幅方向段差	$h_1 = \pm 0.01 \text{ mm}$
微細 形状 例		切込み方向段差	$h_2 = \pm 0.01 \text{ mm}$

*寸法および寸法精度において、現状技術の限界に近い例を示す。

図3 UPC-RT 輪郭度の例

での距離を回帰円半径から減じた値を偏差量として表示する。そして、その値をダイヤモンドバイト刃先の輪郭度（真円度）とする³⁾⁴⁾。

3.3 刃先稜品位

0.1 μm 以下の輪郭形状やマイクロフレネルレンズ等の各種回折格子にサブミクロンオーダーの溝加工が必要となった場合、ダイヤモンドバイト刃先に0.1 μm のチッピングがあると非常に大きな問題となる。しかし、刃先品位の保証が必要となっても、従来から行われている微分干渉型顕微鏡による400~600倍の観察では不可能である。そこで、刃先稜の品位はSEM（走査型電子顕微鏡）により10 000~50 000倍の倍率で刃先を観察し二次電子像で保証している。

3.4 結晶方位測定

結晶方位の測定方法としてはX線回折による測定や電子チャネルリングパターン（ECP）による測定な

どがある。このうち、X線回折によるものでは、特性X線を使うディフラクトメータ法と連続X線を使用するラウエ法がある。

4. 超精密ダイヤモンドバイト‘UPC’

表4に当社の超精密ダイヤモンドバイト‘UPC’の刃先形状および精度限界について記す。

球面、非球面加工用超精密ダイヤモンドバイト‘UPC-R’のコーナRの輪郭度は0.05 μmに到達した。図3は3.2項で記した輪郭度測定装置と触針式形状測定装置で輪郭度を測った記録である。

また、当社の超精密ダイヤモンドバイトの切れ刃稜の鋭利さを示す報告⁵⁾がある。この報告によると数nmの切込みにおいて連続した切粉を排出することが確認されており、これはこの切れ刃稜が高品位で、かつきわめて鋭利であることを意味するものである。

5. おわりに

古くからダイヤモンドバイトは、その素材が天然であるがゆえに工具寿命、切削性能が不安定であると言われてきた。

確かに素材が天然であることも不安定性の要因であるが、その前にダイヤモンドの特性を十分に活かすための工具設計、精密研磨技術、超微細加工技術および計測技術を用いることで、高品質で安定した、使いやすい工具となる。

参考文献

- 1) 中條敏則：単結晶ダイヤモンドバイトの特性と製造上の問題点、ツールエンジニア（1988）108.
- 2) 宮本岩男ほか：イオンビーム加工による超精密切削用ダイヤモンドバイト刃先のファセット形成について、昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集（1987）291.
- 3) 西村一仁，小島一志，川北宇夫：精密ダイヤモンドバイトのコーナ半径の測定，昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集（1987）286.
- 4) 岡 幸嗣：超精密切削に使うダイヤモンド工具とは，ツールエンジニア（1987）10.
- 5) 井川直哉，大森義市，島田尚一，吉永博俊：マイクロマシニングにおける最小切取厚さ（第2報），昭和62年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集（1987）465.