

ダイヤモンドコーティングドリル・エンドミル

Performance of Diamond-coated Cutting Tools

キーワード

ダイヤモンドコーティング、気相合成法、ドリル、エンドミル、ボールエンドミル、リーマ、アルミニウム合金

工具製造所技術一部
島倉文則
安藤弘紀

1. はじめに

ダイヤモンドは工具材料として優れた特性を有しており、非鉄金属、非金属の加工に幅広く使用されている。切削工具として使用されるダイヤモンド工具には、単結晶工具、焼結体工具およびコーティング工具があり、それぞれ得失を有しているが、ダイヤモンドコーティング工具は複雑な形状の切れ刃を容易に形成できることから、幅広い用途に適應できる工具として注目を集めている。

一方、自動車をはじめとする輸送機械の軽量化指向から、使用割合が増加しているAl-Si合金、CFRP、GFRP等の軽量かつ高強度な材料のドリル加工に、あるいは金型加工における短納期、低コスト対応のために電極として使用割合が増加しているグラファイト等の高脆性材料のエンドミル加工にダイヤモンド工具を使用することによって、難削性の高い新素材の長寿命・高能率加工の実現が期待されている。

このような背景から、当社はねじれ溝を持ったダイヤモンドコーティング工具の実用化に取組み、ドリルおよびエンドミルを商品化したので、その切削性能を加工事例を中心に紹介する。

2. ダイヤモンドのコーティング方法

ダイヤモンドの合成方法には気相合成法と高圧合成法があるが、気相合成法は高圧合成法に比べてダイヤモンドが薄膜として利用できること、複雑な形状の製品表面にもダイヤモンドが合成できることおよび広い面積のダイヤモンド膜が生成できることなどの特長がある。

気相合成法には種々の方法が研究されているが代表例として熱フィラメント法¹⁾の装置概略を図1に示す。

この方法では、フィラメントの下方3~10mmの位置に置

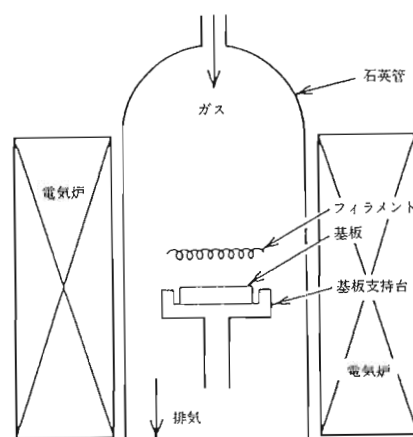


図1 熱フィラメント法の装置概略

かれた基板上にダイヤモンドを合成する。基板の温度は約700~1000°Cで、ダイヤモンドの合成速度は1時間に平均1μm程度である。

3. ダイヤモンドコーティングの工具への適用

ダイヤモンドコーティングを切削工具に適用する場合の課題として、工具本体材料とダイヤモンド膜の密着強度、ダイヤモンド膜表面の粗さ、さらにコーティング処理量などについて指摘されている²⁾³⁾。

当社はこれらの課題を、処理条件などを最適化することによって解決し、工具本体材料に、非鉄金属、非金属の加工に多く使用されているK10相当超硬合金を採用したダイヤモンドコーティング工具を世界に先駆けて商品化した。

頁54の表1にはダイヤモンドコーティングドリル、表2にはダイヤモンドコーティングエンドミル(ボール、スクエア)の寸法表を示す。

4. 切削性能

4.1 工具寿命

ダイヤモンドコーティング工具と超硬 (K10相当) 工具の耐摩耗性比較として、旋削加工における摩耗進行状況を図2に示す。

図から明らかなように、ダイヤモンドコーティング工具は耐摩耗性に著しく優れ、工具寿命の飛躍的な延長が期待できる。

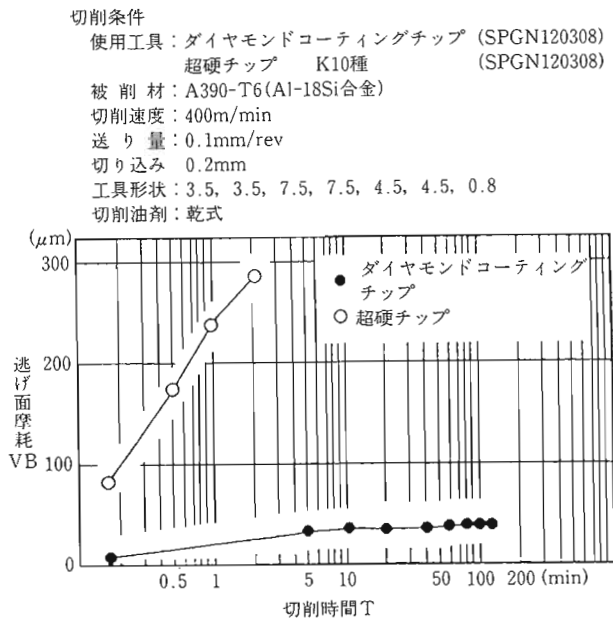


図2 Al合金旋削時の摩耗曲線

4.2 損傷状態

ダイヤモンドコーティング工具における代表的な損傷状態を写真1および写真2に示す。

写真1はAl-12%Si合金の穴あけを行ったダイヤモンドコーティングドリルの外周コーナ部分の損傷状態であり、写真2はグラファイト (65HS) の加工を行ったダイヤモンドコーティングボールエンドミルの切れ刃部分の損傷状態である。

写真から明らかなように、アルミニウム合金などの軽量かつ高強度な材料の加工では摩耗も進行するが、ダイヤモンド膜の剥離が工具寿命の判定基準になり、グラファイト、セラミックス仮焼結体などの高脆性材料の加工では、ダイヤモンド膜の摩滅が工具寿命の判定基準になる傾向がある。

このように、判定基準が異なる原因は、被削材料の比切削抵抗の影響が大きいですが、いずれの場合でも超硬工具に比べて10倍以上の工具寿命になっている。

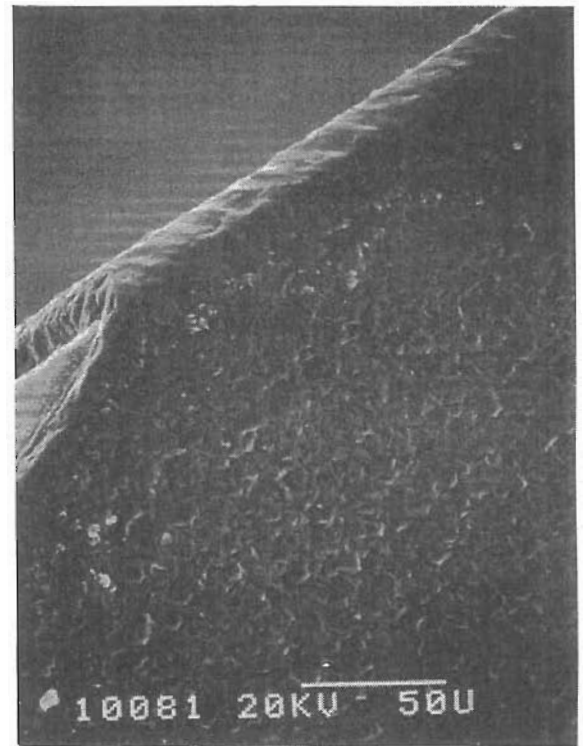


写真1 Al合金穴あけ時の損傷状態

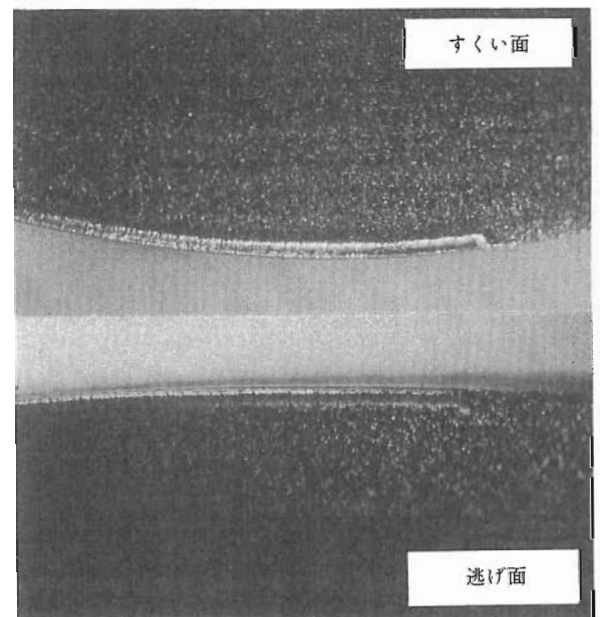


写真2 グラファイト加工時の損傷状態

4.3 加工精度

ダイヤモンドコーティング工具は耐摩耗性に優れていることから、加工精度は図3に示すように非常に安定している。

一方、仕上げ面粗さはダイヤモンド膜表面の粗さが仕上げ面にそのまま転写されることから、切削初期においては図4に示したように超硬工具より劣る。しかし、超硬工具の場合には加工時間の経過とともに仕上げ面粗さが劣化

するが、ダイヤモンドコーティング工具は長時間初期値を維持する。

特に、アルミニウム合金の加工において、超硬工具では溶着の発生により仕上げ面粗さが大きく変動する場合があるのに対して、ダイヤモンドコーティング工具は耐溶着性が優れているため、非常に安定している。

ダイヤモンドコーティング工具による加工物の仕上げ面粗さ向上対策として、切れ刃部分の研磨も一部で実施しており、その事例を図5に示す。

図5は、マージン部を研磨したダイヤモンドコーティングリーマの加工事例である。仕上げ面粗さについては、超硬

リーマではアルミニウムの溶着や構成刃先によって、入口から中央部にかけて非常に粗い加工面になるのに対して、ダイヤモンドコーティングリーマではマージン部の研磨によって、 $1\mu\text{mRy}$ 以下の平滑な加工面が得られるようになる。また、加工精度（真円度、真直度、円筒度）についても超硬リーマよりも優れており、高精度加工用としてのダイヤモンドコーティング工具を提供できるようになった。

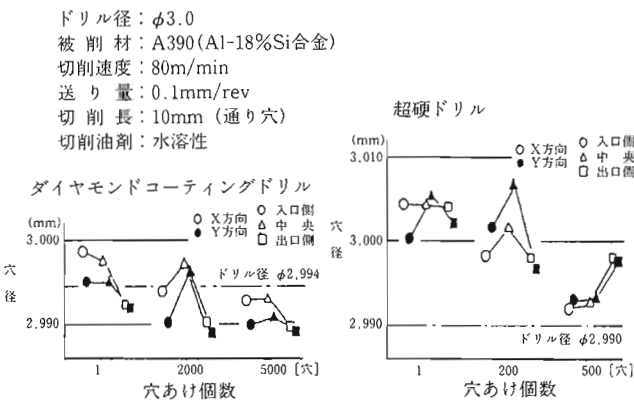


図3 穴あけ個数と穴径の関係

切削条件
 使用工具 $\phi 8\text{mm}$ 4枚刃 切削速度 200m/min
 被削材 Al-18%Si合金 送り速度 1000mm/min
 切削油剤 水溶性 切込み深さ $a_a=18\text{mm}$ $a_r=0.2\text{mm}$

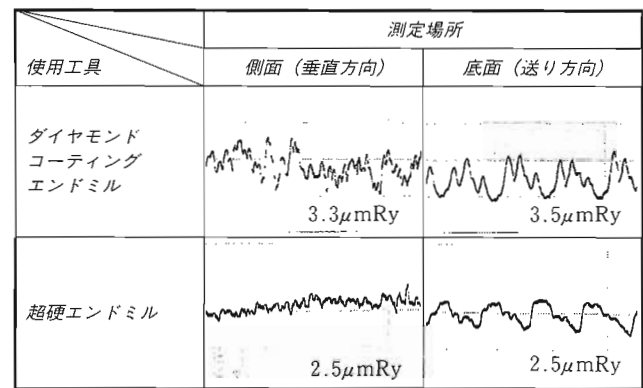
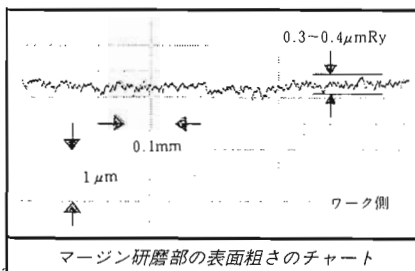
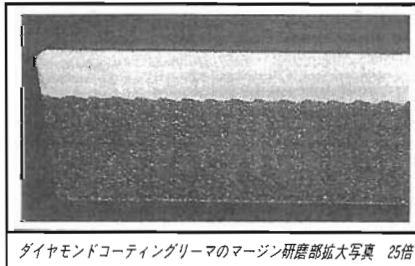


図4 Al合金加工時の仕上げ面粗さ

使用条件
 使用工具 $\phi 10 \times 55 \times 125 \times \phi 9$
 ダイヤモンドコーティングリーマ
 超硬リーマ
 被削材 ADC12 Al-12%Si合金
 切削速度 35m/min
 送り量 0.2mm/rev
 穴深さ 20mm
 リーマ代 0.7mm
 切削油剤 水溶性エマルジョン
 使用機械 立型マシニングセンタ 7.5kW



項目	ダイヤモンドコーティングリーマ	超硬リーマ
仕上げ面粗さ	入口側 $0.6\mu\text{mRy}$ 中央 $0.5\mu\text{mRy}$ 出口側 $0.4\mu\text{mRy}$ 	入口側 $5.0\mu\text{mRy}$ 中央 $12.5\mu\text{mRy}$ 出口側 $2.8\mu\text{mRy}$
拡大代		
真円度	$2.4\mu\text{m}$	$3.2\mu\text{m}$
真直度	$1.4\mu\text{m}$	$2.2\mu\text{m}$
円筒度	$5.4\mu\text{m}$	$6.2\mu\text{m}$

図5 ダイヤモンドコーティングリーマの加工事例

5. 加工事例

工具寿命が長いこと、途中経過も含まれているが、ダイヤモンドコーティング工具の商品別の加工事例を表3から表5に示す。

ダイヤモンドコーティングドリルはアルミニウム合金（主として自動車部品）の加工事例が多く、ダイヤモンド

コーティングエンドミルはグラファイト（主として金型用電極）の加工事例が多い。

これは使用する工具および加工する材料の種類が業種によって異なることにもよるが、ダイヤモンドコーティング工具の採否には、加工数量（加工時間）の多少（長短）が関係しているものと考えられる。

表3 ダイヤモンドコーティングドリルの加工事例

寸法	被削材	加工内容	加工数		寿命	評価	切削条件		
			超硬ドリル	ダイヤドリル			切削速度	送り量	穴深さ
φ1.1	Al + SiC	自動車部品 (ピストン)	5穴	500穴	100倍	ばり 穴径	10 m/min 水溶性切削油剤	0.02 mm/rev ステップ送り 5mmから	10mm通り穴
φ2.5	AC 8A - T 6	自動車部品 (ピストン)	10000穴	200000穴	20倍	ばり	118 m/min 水溶性切削油剤	0.05 mm/rev	10mm通り穴
φ2.5	ADC 12	自動車部品 (ピストン)	20000穴	1120000穴	56倍	穴径	156 m/min 水溶性切削油剤	0.08 mm/rev	8mm通り穴
φ1.8	GFRP	航空機部品	10穴	100穴	10倍	ばり	28 m/min	0.1 mm/rev	
φ9	GFRP	電子部品	3000穴	30000穴	10倍	ばり	156 m/min 乾式切削	0.08 mm/rev	
φ4.86	CFRP + Al	航空機部品	25穴	500穴	20倍	ばり	46 m/min 乾式切削	0.04 mm/rev	9.8mm通り穴
φ9	カーボン	熱交換機	114m加工後のコーナー摩耗量		80倍 以上	摩耗	156 m/min 乾式切削	0.08 mm/rev	70mm通り穴
			0.8 mm	0.01 mm					
φ1.5	WC系セラミックス 仮焼結体	センタ穴加工	100穴	14000穴	140倍	穴径	156 m/min 乾式切削	0.08 mm/rev	3mm止り穴

表4 ダイヤモンドコーティングボールエンドミルの加工事例

寸法	被削材	加工方法	切削長 (加工時間)		寿命	評価	切削条件			
			超硬ボールエンドミル	ダイヤボールミル			S	Ad	F	Pf
R 3	グラファイト (ISO 63)	形状加工 (ダウンカット)	100 m	1000 m	10倍	摩耗	5000 min ⁻¹	0.3 mm	700 mm/min	0.3 mm
R 3	グラファイト (ISO 63)	形状加工 (ダウンカット)	200 m	10000 m	50倍	摩耗	7000 min ⁻¹	mm	1200-1500 mm/min	0.4 mm
R 5	グラファイト (ISO 63)	形状加工	100 m	2500 m 継続中	25倍 以上	摩耗	6400 min ⁻¹	0.5 mm	1280 mm/min	0.2 mm
R 6	グラファイト (ED -3)	形状加工	150 m	1500 m 継続中	10倍 以上	摩耗	6000 min ⁻¹	3.5 mm	1800 mm/min	0.5 mm
R 4	グラファイト (MGX 42)	形状加工 (アップ+ダウンカット)	8 時間	80時間継続中	10倍 以上	摩耗	6000 min ⁻¹	0.5~1.5 mm	1500 mm/min	0.5 mm
R 5	グラファイト	形状加工	200 m	2100 m 継続中 (24時間稼働が可能)	10倍 以上	摩耗	S	3200 min ⁻¹	F	1200 mm/min
							Ad	0.4 mm	Pf	0.3 mm
							Ad	0.2 mm	Pf	0.2 mm

表5 ダイヤモンドコーティングエンドミルの加工事例

寸法	被削材	加工方法	切削長 (加工時間)		寿命	評価	切削条件			
			超硬エンドミル	ダイヤミル			S	Ad	F	Pf
6S2	グラファイト (ISO 88)	側面切削 (アップ+ダウンカット)	10 m	400 m	40倍	摩耗	8000 min ⁻¹	13.5 mm	480 mm/min	0.3 mm
10S4	グラファイト (ED-3)	溝加工 (ダウンカット)	切削長400mでの溝幅の変化 ダイヤミル 0.02mm 超硬比1/9 超硬エンドミル 0.18		9倍 以上	摩耗	12700 min ⁻¹	6 mm	5100 mm/min	0.1 mm

6. 加工条件および使用上の留意点

加工事例からも明らかなように、ダイヤモンドコーティング工具の加工条件は基本的に超硬工具の加工条件に準じるが、切削速度はダイヤモンド膜の優れた特性により、超硬工具より高く設定することができる。

このようなダイヤモンドコーティング工具の優れた特性を最大限に発揮するためには、工具形状、加工条件を適切に選択することは勿論のこと、機械剛性およびワーククランプ剛性をできるだけ高め、しかも工具の振れ精度が高い状態で使用する必要がある。

の、その優れた特性により確実に使用量および用途は増えている。

鋼切削において、TiAlNあるいはTiCN等のコーティング工具が主流となっているように、非鉄金属、非金属の切削においては、ダイヤモンドコーティング工具が主流になるものと思われる。以上のデータがご使用の際の参考になれば幸いである。

文献

- (1) S.MATSUMOTO, Y.SATO M.KAMA and M.SETAKA ; Jpn.J. Appl.Phys.,21,L519(1982)
- (2) 松原秀彰; NEW DIAMOND, 16, 9(1990)
- (3) 吉川昌範; NEW DIAMOND, 36, 3(1995)

7. おわりに

ダイヤモンドコーティング工具に残された課題はあるも

表1 ダイヤモンドドリルの寸法表

直径	全長	溝長	直径	全長	溝長
1.0~1.2	40	10	5.5~6.0	70	35
1.3~1.5	40	12	6.1~7.0	75	40
1.6~1.9	40	15	7.1~8.0	80	45
2.0	40	20	8.1~9.0	85	45
2.1~3.0	45	20	9.1~10.0	90	50
3.1~4.0	55	25	10.1~11.0	95	55
4.1~5.4	65	30	11.1~13.0	100	60

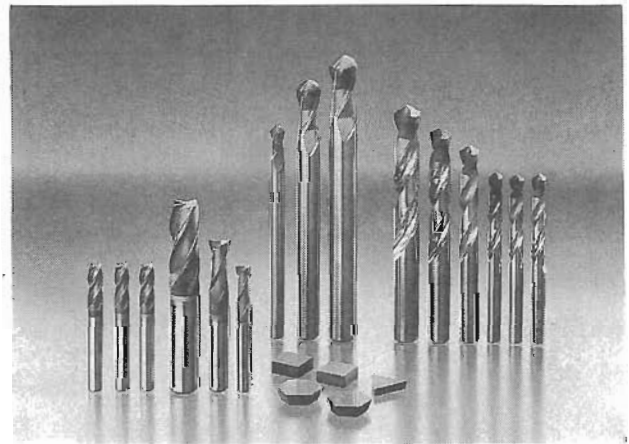


表2 ダイヤボールミルおよびダイヤモンドミルの寸法表

ボール半径	外径	全長	刃長	コーティング範囲	シャンク径	刃数	外径	全長	刃長	コーティング範囲	シャンク径	刃数	外径	全長	刃長	コーティング範囲	シャンク径	刃数
R1	2	100	4	2	6	2	0.5	40	1	1	3	2	3.5	100	10	10	6	2
R1.5	3	100	6	3	6	2	0.6	40	2	2	3	2	4.0	100	20	11	6	2
R2	4	100	8	3	6	2	0.7	40	2	2	3	2	5.0	125	25	13	6	2
R2.5	5	125	10	4	6	2	0.8	40	2.5	2.5	3	2	6.0	140	30	13	6	2
R3	6	140	12	4	6	2	0.9	40	2.5	2.5	3	2	7.0	140	35	16	6	2
R3.5	7	140	14	5	6	2	1.0	75	3	3	4	2	8.0	150	40	19	8	2
R4	8	150	16	5	8	2	1.5	75	4	4	4	2	9.0	150	45	19	8	2
R4.5	9	150	18	6	8	2	2.0	100	6	6	4	2	10	150	50	22	10	2
R5	10	150	20	6	10	2	2.5	100	8	8	4	2	11	150	50	22	10	2
R5.5	11	150	22	7	10	2	3.0	100	8	8	6	2	12	150	55	22	12	2
R6	12	150	24	7	12	2												