

高耐摩耗性、高強度ダイヤモンド焼結体 DA1000の開発

沖田 泰彦*・久木野 暁・深谷 朋弘

Development of Wear-Resistant, Tough Diamond Grade SUMIDIA® DA1000 — by Yasuhiko Okita, Satoru Kukino and Tomohiko Fukaya — The newly developed SUMIDIA DA1000 grade, which is applicable for machining of non-ferrous alloy parts that are hard to cut, has been developed as a solution to environmental problems in various industries such as automobile and machine manufacturing. DA1000 is made by densely sintering the fine grains of diamond and provides the highest level of wear resistance and toughness as well as excellent surface roughness. The SUMIDIA DA1000 grade realizes higher productivity and excellent surface roughness in machining of various hard-to-cut non-ferrous alloy parts. This paper describes the features of DA1000 and its cutting performance.

1. 緒言

ダイヤモンド粉末を焼結させたダイヤモンド焼結体工具は、自動車産業、電子部品産業等でその優れた耐摩耗性により非鉄金属や非金属等の加工において工具の長寿命化、高速化、高能率化、高精度化には欠かせない工具材料として利用されている。当社はダイヤモンド焼結体工具スミダイヤ®シリーズを開発し、生産性の向上やコストダウンに貢献してきた。

近年、これらの産業では生産性向上に加えて、環境対策による部品の難削化や、また仕上げ面粗さ等の部品の要求精度が厳しくなる傾向もあり、これらの加工に適したダイヤモンド焼結体切削工具の必要性がさらに高まっている⁽¹⁾。

これらの要求に応える為に、当社は高耐摩耗性、高強度ダイヤモンド焼結体スミダイヤ®DA1000を開発した。このスミダイヤ®DA1000の特長および切削性能について以下に述べる。

2. スミダイヤ®DA1000の特長

表1にDA1000と従来材種のPCDの特性を示し、図1にDA2200の耐摩耗性を1とした場合の各材種の耐摩耗性の相対比と抗折力との関係を示す。ダイヤモンド焼結体は、ダイヤモンド粒子とCo結合材からなり、DA90はダイヤモンド平均粒径が50 μ mと大きいことから、ダイヤモンドを高密度で焼結でき、耐摩耗性に優れるが、焼結体強度が低くなる。DA200はダイヤモンド平均粒径が0.5 μ mと小さく、強度が高いが、ダイヤモンドの含有率が低くなり、耐摩耗性は低下する傾向にある。当社は微粒ダイヤモンドの密度を高め、耐欠損性と耐摩耗性を両立させたスミダイヤ®DA2200を発売してきた⁽²⁾が、さらに耐欠損性と耐摩耗性を高めたスミダイヤ®DA1000の開発を行った。

表1 DA1000の特性

	DA1000	DA2200	DA200	DA150	DA90
ダイヤモンド平均粒径 (μ m)	~0.5	0.5	0.5	5	50
硬度 Hv (GPa)	110~120	90~100	80~100	100~120	100~120
抗折力 (GPa)	2.60	2.45	2.15	1.95	1.10

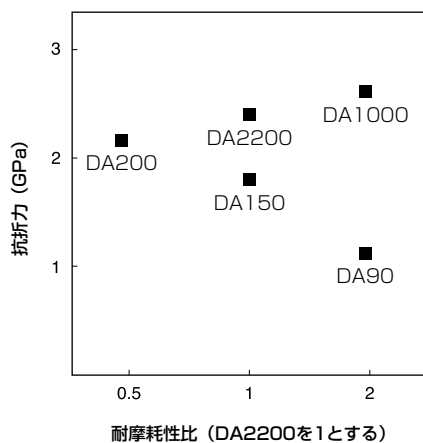


図1 ダイヤモンド材種の位置づけ

DA1000のダイヤモンド粒子の状態を明確にする為、酸処理を行い、結合材を除去した組織写真を図2に示す。このようにDA1000は結合材が溶け出してできた空孔が少なく、ダイヤモンド粒子の密度が高い。DA1000はDA2200の約2倍、粗粒ダイヤモンドのDA90に匹敵する耐摩耗性を有し、かつ抗折力に優れている。

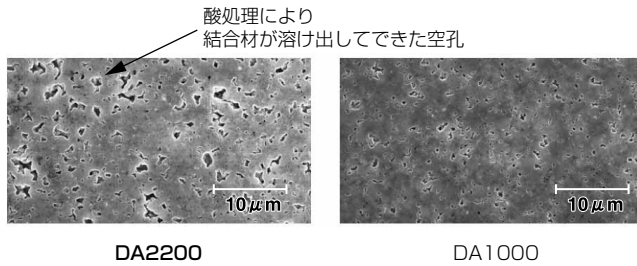
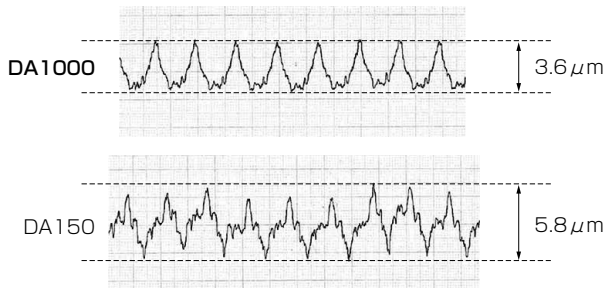


図2 ダイヤモンド焼結体を酸処理した組織

DA1000はダイヤモンド平均粒径が $0.5\mu\text{m}$ 以下であり、仕上げ面の加工精度の厳しい部品において、優れた面粗度を得ることができる。DA1000とDA150を用いてハイシリコンアルミニウム合金（Si含有量17%）を $V_c = 1,000\text{m/min}$ で切削した加工面の面粗さを図3に、前切れ刃のエッジ部の摩耗状態を図4に示す。このようにDA150の表面粗さの最大高さは $5.8\mu\text{m}$ であり、送りマークの形態が不規則で乱れているが、これに対してDA1000では最大高さ $3.6\mu\text{m}$ と理論面粗さの $3.5\mu\text{m}$ に近い値となり、平滑で規則的な形態を有する面粗さを達成している。この理由は焼結体を構成しているダイヤモンド粒径が反映され、DA150



被削材：17%Si-Al合金、工具：TPGW160308
加工条件： $V_c = 1,000\text{m/min}$, $f = 0.15\text{mm/rev}$, $a_p = 0.2\text{mm}$, WET

図3 加工面の比較

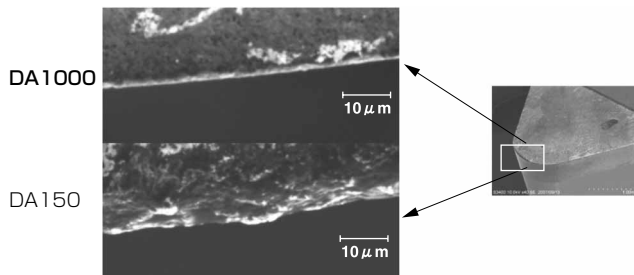


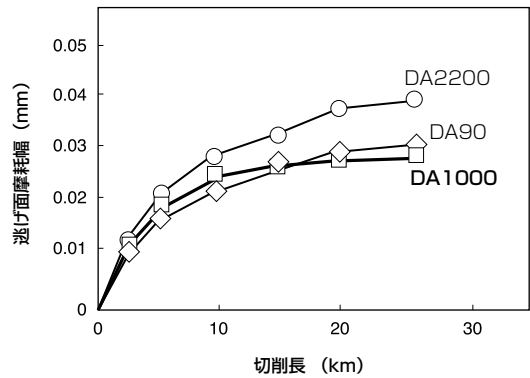
図4 ダイヤモンド焼結体の前切れ刃部の摩耗状態

の刃先には、約 $3\mu\text{m}$ の凹凸が存在するが、DA1000の刃先は滑らかな形状となる為である。

さらに、延性の高い被削材の加工では切れ味が重要であり、摩耗により刃先に丸みが生じ、切れ味が低下した場合、加工面にむしれが発生する為、刃先の鋭利さ（刃立性）も重要である。DA1000は微粒のダイヤモンドが高密度に焼結されている為、刃立性に優れ、切削中にもその刃立性が維持され、高品位の加工面が要求される用途に適している。

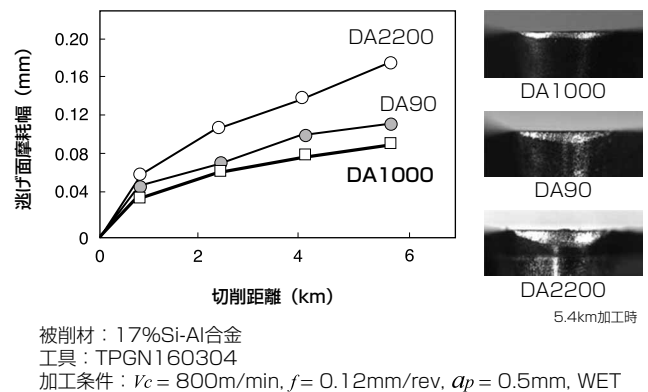
3. 切削性能

DA1000の切削性能を評価する為、Si含有量12%のアルミニウム合金（ADC12）を切削速度 $V_c = 2,000\text{m/min}$ で、またSi含有量17%のアルミニウム合金を $V_c = 800\text{m/min}$ で切削した結果をそれぞれ図5、図6に示す。ADC12の加工ではDA1000の逃げ面摩耗量はDA2200に比べ、約30%小さく、5.4km切削時におけるDA1000の逃げ面摩耗量は $15\mu\text{m}$ と小さい。これに対して、硬質粒子を多く含有する17%Si-Al合



被削材：ADC12（12%Si-Al合金）
工具：TPGN160304
加工条件： $V_c = 2,000\text{m/min}$, $f = 0.15\text{mm/rev}$, $a_p = 3.0\text{mm}$, WET

図5 アルミニウム合金（ADC12）における旋削性能



被削材：17%Si-Al合金
工具：TPGN160304
加工条件： $V_c = 800\text{m/min}$, $f = 0.12\text{mm/rev}$, $a_p = 0.5\text{mm}$, WET

図6 ハイシリコンアルミニウム合金における旋削性能

金の加工では、ADC12よりも $V_c = 800\text{m/min}$ と低速で加工したが、5.4km 切削時における逃げ面摩耗量は $80\mu\text{m}$ と大きい。この理由は、硬質粒子Siによるアブレイシブな摩耗や、ダイヤモンド焼結体は700度以上でダイヤモンドがグラファイト化することが報告されており、Si粒子を切削しているときの部分的な刃先温度の上昇によりダイヤモンド焼結体工具の摩耗が促進される為である。このような難削材においても、DA1000は、DA2200の逃げ面摩耗に比べて、約50%も小さくなり、優れた耐摩耗性を示す。

図7に寿命判定基準を逃げ面摩耗量0.1mmとした時の、17% Si-Al合金加工のV-T線図を示す。これに示すように $V_c = 800\text{m/min}$ では、DA1000は7.5minであり、DA2200の2.5minに比べ、3倍長寿命であり、 $V_c = 200\text{m/min}$ では、DA1000は54minであり、DA2200の27minに比べ、2倍長寿命であった。このようにDA1000は、低速域から高速域に渡り、従来材種DA90、DA2200に比べて長寿命を発揮する。

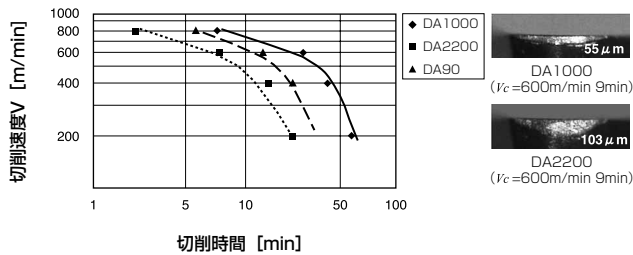


図7 DA1000のV-T線図

被削材：17%Si-Al合金、工具：TPGN160304
加工条件： $V_c = 200\text{--}800\text{m/min}$ 、 $f = 0.12\text{mm/rev}$ 、 $a_p = 0.5\text{mm}$ 、WET
判定基準： $l_b = 0.1\text{mm}$

DA1000のフライス加工での性能を評価する為に写真1に示す cutter (RF4100) にチップ (NF-SNEW1204ADFR) を6枚組み込みADC12を加工した。結果を図8に示す。2,800 cm^3 加工時の逃げ面摩耗量は、DA1000が $27\mu\text{m}$ 、DA2200が $40\mu\text{m}$ であり、4,000 cm^3 加工時には、

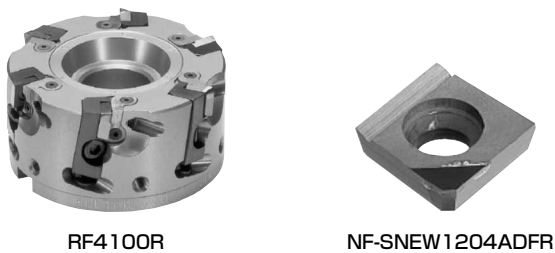
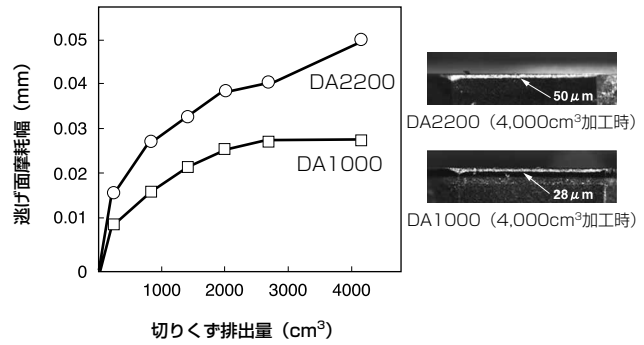


写真1 フライス評価の工具



被削材：ADC12 (12%Si-Al合金)
カッタ：RF4100R (6枚刃)
工具：NF-SNEW1204ADFR
加工条件： $V_c = 2,000\text{m/min}$ 、 $f = 0.15\text{mm/rev}$ 、 $a_p = 3.0\text{mm}$ 、WET

図8 アルミニウム合金 (ADC12) におけるフライス加工

DA2200は急激なチッピングの発生により、逃げ面摩耗量が $50\mu\text{m}$ と増大しているが、DA1000の刃先にはチッピングがみられない。このことからDA1000は、フライス加工においても優れた耐摩耗性、耐欠損性を示すことがわかる。

4. 推奨条件および適用領域

スミダイヤ®DA1000の適用領域を表2に示す。このようにDA1000は、アルミニウム合金加工では被削性が悪いハイシリコンアルミニウム合金まで適用できるだけでなく、砲金や銅の焼結合金等においても優れた工具性能を発揮する。推奨加工条件は表3に示すようにSi含有量13%以下のアルミニウム合金では、切削速度3,000 m/min 以下を推奨しているが、Si含有量13%を超える被削材の加工では、切削速度800 m/min 以下を推奨する。また、銅合金や強化プラスチックでは1,000 m/min 以下の切削速度を推奨する。

表2 DA1000の適用

被削性	被削材	ターニング		ミリング	部品例
		粗加工	仕上加工		
良 ↑ ↓ 難	焼結アルミ	DA1000 DA2200 DA150			ピストンライナー
	アルミダイカスト (ADC12)				トランスミッションケース、 オイルパン
	ローシリコン (AC2B-T6, AC4C-T6)				シリンダーブロック、 アルミホイール、HDD
	ハイシリコン (A390-T6)				シリンダーヘッド
良 ↑ ↓ 難	非鉄焼結合金	DA2200 DA1000 DA90 DA150			ブッシュ
	砲金				コネクティングロッド
	カーボン				電極
	超硬合金				ロール
	鉄共削り				シリンダーブロック、 ベアリングキャップ

表3 DA1000の推奨加工条件





被削材	切削速度 V_c (m/min)	送り f (mm/rev)	切込み ap (mm)
アルミニウム合金 (Si含有量 \leq 13%)	~ 3,000	~ 0.2	~ 3
アルミニウム合金 (Si含有量 $>$ 13%)	~ 800	~ 0.2	~ 3
銅合金	~ 1,000	~ 0.2	~ 3
強化プラスチック	~ 1,000	~ 0.4	~ 2
木質、無機質ボード (切断等)	~ 4,000	~ 0.4	-
カーボン	100 ~ 600	1	~ 2

5. 使用事例

DA1000の使用事例を表4に示す。

面粗度規格3.2Sの銅合金のブッシュ内径旋削加工では、加工条件 $V_c = 300\text{m/min}$ 、 $f = 0.07\text{mm/rev}$ 、 $ap = 0.08\text{mm}$ 、WETにて加工を行っている。DA2200はマイクロチップングの集積による欠損の発生の為、面粗度が悪化し、工具寿命に至っている。一方、DA1000は逃げ面摩耗量が小さく正常摩耗であり、面粗度の悪化を抑制できた。DA1000は安定して2,500個加工以上を達成することができ、定数を3倍以上に引き上げることに成功した。次に、ADC12のオイルポンプカバーの加工では、 $V_c = 1,400\text{m/min}$ 、 $f = 0.3\text{mm/rev}$ 、 $ap = 0.2\text{mm}$ 、WETで加工を行っている。従来使用していたDA2200は刃先の摩耗により刃先の鋭利さが

表4 DA1000の使用事例

加工内容	加工諸元	結果
 ブッシュ内径加工 切削距離 73m/個	被削材:銅合金 $V_c = 300\text{m/min}$ 、 $f = 0.07\text{mm/rev}$ $ap = 0.08\text{mm}$ 、WET NF-TPGN160308 面粗度規格:3.2S	加工数(個) 0 1000 2000 3000 4000 DA1000: 2,500個加工達成 DA2200: 欠損の為、寿命不安定、平均800個
 オイルポンプカバー加工 切削距離 62m/個	被削材:ADC12 $V_c = 1400\text{m/min}$ 、 $f = 0.3\text{mm/rev}$ $ap = 0.2\text{mm}$ 、WET NF-CNGX120408 寿命判定基準:ハV	加工数(個) 0 1000 2000 3000 4000 5000 DA1000: 3,000個加工達成 DA2200: 定数1,000個
 シリンダーブロック上面 フライス加工	被削材:ADC12 $V_c = 2800\text{m/min}$ 、 $f = 0.14\text{mm/rev}$ $ap = 2\text{mm}$ 、WET NF-SNEW1204ADFR 寿命判定基準:ハV	加工数(台) 0 1000 2000 3000 4000 5000 DA1000: 5,000台 DA2200: 3,000台
 シリンダーヘッド上面 フライス加工	被削材:AC2C $V_c = 1500\text{m/min}$ 、 $f = 0.2\text{mm/rev}$ $ap = 3\text{mm}$ 、WET NF-SNEW1204ADFR 寿命判定基準:ハV	加工数(台) 0 500 1000 1500 2000 2500 DA1000: 2,500台 DA2200: 1,500台

低下し、バリの発生が問題となる為、1,000個加工にて工具交換を行っていた。これに対して、DA1000は耐摩耗性に優れることから、3,000個を超える加工を実現し、工具交換の設定数を3倍にすることができた。

シリンダーブロック及び、シリンダーヘッドの上面フライス加工において、各々DA2200を用いていたが、バリにより工具寿命に至っていた。DA1000は優れた刃立ち性と耐摩耗性によりバリの発生を抑制し、シリンダーブロック加工では5,000台加工を、シリンダーヘッド加工では2,500台加工を達成した。これによりそれぞれ工具費を60%にすることに成功し、かつ工具交換回数の削減による生産性の向上にも貢献することができた。

6. 結 言

高耐摩耗性、高強度ダイヤモンド焼結体スミダイヤ®DA1000は難削材加工や仕上げ面粗さ等の部品の要求精度が高い加工に適応することができ、工具の長寿命化を実現した。さらにCFRP等の難削材が増加する傾向にあり、ダイヤモンド焼結体工具スミダイヤ®DA1000の優れた性能により、コスト削減および生産性の向上に貢献できるものとする。

参 考 文 献

- (1) 深谷朋弘、8非鉄金属、ダイヤモンド技術総論、p480 (2007)
- (2) 金田泰幸他、高強度ダイヤモンド焼結体工具スミダイヤDA2200の開発、SEIテクニカルレビュー、第151号、p.119 (1997)

執 筆 者

沖田 泰彦* : 住友電工ハードメタル(株) ダイヤ開発部
 久木野 暁 : 住友電工ハードメタル(株) ダイヤ開発部 主査
 深谷 朋弘 : 住友電工ハードメタル(株) ダイヤ開発部 主席

*主執筆者