

高硬度鋼金型と銅電極加工用エンドミルの開発

矢野和也*・島田浩之・村上大介

Development of Endmills for Machining Hardened Steel Molds and Copper Electrodes — by Kazuya Yano, Hiroyuki Shimada and Daisuke Murakami — In recent years, mold manufacturers have been prompted to provide low-cost, high-precision products and shorten the delivery time in response to the miniaturization of products and price competition in the global market. Due to this trend, mold manufacturers desire to shift their manufacturing method of hardened steel from electric discharge processing with copper electrodes to direct cutting. Sumitomo Electric Hardmetal Corporation has newly released the cubic boron nitride (CBN) BNBR endmills to expand its product lineup for direct cutting. The company has also developed CBN BNBC endmills and diamond-like carbon coated (DLC COAT) SNB2 endmills for copper electrode processing. This paper describes their improved features and performance.

Keywords: CBN, DLC, mold, direct cutting, copper electrode

1. 緒 言

近年、金型業界においては、製品の小型化による高精度・高精密化、海外企業との価格競争による低価格化、モデルサイクルの短縮による短納期化が進み、金型の高精度・低コスト・短納期化が要求されるようになった。この市場の変化に伴い、金型の主要部品（高硬度鋼）の加工方法を、「銅電極を用いた放電加工」から「切削加工（直彫り）」へ移行したいと言う、ユーザーからの要望が徐々に高まっている。その要望に答えるべく直彫り用工具の拡充とメインの加工方法である銅電極加工用工具を開発した。

まず、「直彫り加工」で使用するエンドミルにおいては従来の超硬合金から高速加工時の耐摩耗性に優れるCBN^{*1}が広がりつつある。CBNエンドミルは1万回転程度の低速加工では、高硬度、高い熱伝導率という材料特性が十分に発揮できないが、2万回転以上の高速加工では、超硬エンドミルに対して工具寿命、仕上げ面品位などで圧倒的な優位性を発揮することが可能である。一方で、CBNは超硬より靱性が劣るため、刃先が欠け易く、使いこなすことが難しいとされてきた。スミボロン®モールドフィニッシュマスターは、用途に応じた材種と最適刃先設計により、これらの問題を解決した耐欠損性に優れるCBNエンドミルとして写真1に示すラジアスタイプBNBR型を拡充した。

次に、銅電極加工用工具として、各工具メーカーより超硬+CrNコーティングを主とした微細工具は発売されているが、その他の被削材への適用も考慮されたマルチ工具的な物が多く見受けられる。写真2に、銅電極専用微細工具として開発した「オーロラコート® (DLC^{*2}) ロングネックボールエンドミルSNB2型」と「スミボロン®モールド



写真1 スミボロン®モールドフィニッシュマスター BNBR型



写真2 銅電極加工用エンドミル SNB2型、BNBC型

フィニッシュマスターBNBC型」を示す。そこで、本稿では、これら工具の特徴と加工事例について報告する。

2. 直彫り用工具

「スミボン®モールドフィニッシュマスターBNBR型」

2-1 特徴

BNBR型の特徴を以下に示す。

- 1) 耐摩耗性と耐欠損性を両立したCBN材種で、高硬度材の高速加工も可能になり、加工時間を大幅に短縮できる。
 - 2) 切れ味と耐欠損性の最適化された刃先設計で長寿命を実現できる。
 - 3) さらに刃を採用することで、美しい仕上げ面が得られ、磨き工程を大幅に短縮できる。
 - 4) 超硬コーティングの約10倍の工具寿命が得られ、エンドミル1本で金型の仕上げ加工ができる。
 - 5) R精度 $\pm 5\mu\text{m}$ で、高精度加工ができる。
- 以上のことから、高硬度鋼金型の精密加工に最適である。

2-2 加工性能

(1) さらに刃の効果

図1に、底刃にさらに刃を採用したBNBR型の刃型とさらに刃の有無による加工面品位への影響を示す。加工条件は、被削材STAVAX (52HRC) 主軸回転数 $20,000\text{min}^{-1}$ 、送り速度 $800\text{mm}/\text{min}$ 、Z方向切り込み 0.03mm 、径方向の切り込み 0.7mm 、オイルミスト、使用工具 $\phi 2$ コーナー $r0.5$ である。さらに刃の有りと無しの工具で平面加工を行い、加工面の面粗さについて比較評価を行った。

その結果、さらに刃有りの工具は、無しの工具に対し、Ra、Rz共に $1.6\sim 1.7$ 倍の面粗さとなり、さらに刃を有することで高品位の加工面を得ることがわかる。

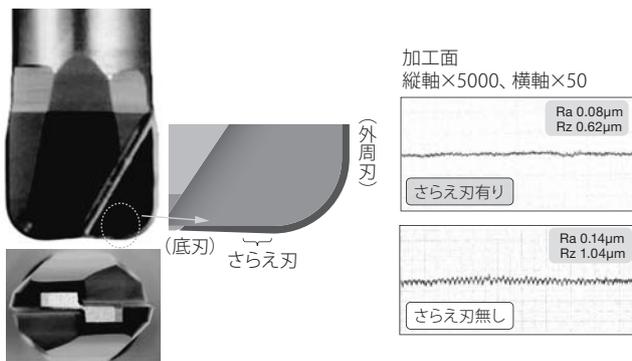


図1 さらに刃の有無による加工面品位

(2) 超硬エンドミルとの比較

図2は、CBNと超硬コーティングエンドミルにてSTAVAX (52HRC) を平面加工し、刃先の損傷状態を比較評価したものである。加工条件は、CBNが主軸回転数 $20,000\text{min}^{-1}$ 、送り速度 $800\text{mm}/\text{min}$ 。超硬が主軸回転数 $4,800\text{min}^{-1}$ 、送り速度 $120\text{mm}/\text{min}$ 。Z方向切り込みと径方

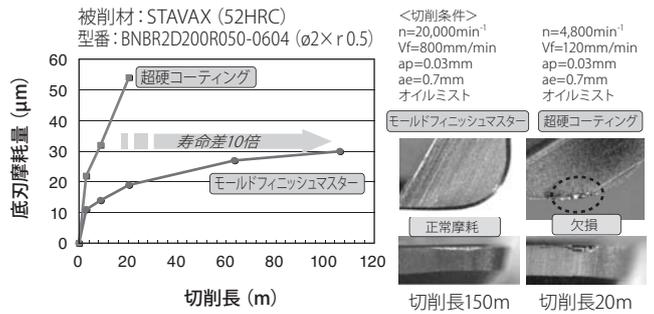


図2 CBNと超硬エンドミルの比較 (1)

向の切り込みはCBN、超硬共に 0.03mm 、 0.7mm と同一とした。

工具寿命を刃先欠損前の底刃摩耗量 0.03mm とすると、高速、高送りにも関わらず、CBNの寿命は超硬エンドミルに対し、約10倍である。

図3は、被削材にHAP40 (66HRC) の高硬度材を使用し、CBNと超硬コーティングでの比較評価を平面加工で行った結果である。同様に底刃摩耗量から寿命判定するとCBNは超硬エンドミルに対し、約10倍の長寿命である。

このようにCBNで長寿命化を実現できることから、工具交換の頻度が減り、工具交換時に加工面に生じる段差を無くすることが可能となる。また刃先の摩耗量が少ないので寸法精度も良好であり、後工程の磨き時間が短縮され、超硬エンドミルと比較し、単価の高いCBNエンドミルを使用しても、リードタイム短縮、加工コスト低減が実現できる。

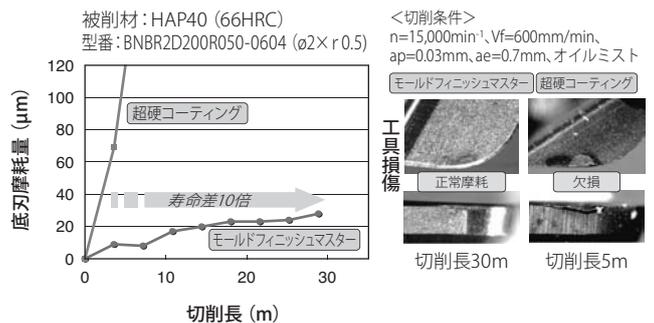
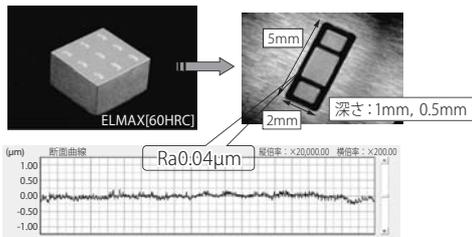


図3 CBNと超硬エンドミルの比較 (2)

2-3 加工実例 図4に、モールドフィニッシュマスターによる金型加工の事例を示す。

加工形状は、LEDレンズ金型を想定したものである。この事例では、主軸回転数 $40,000\text{min}^{-1}$ の高速条件において耐欠損性を生かし、ラジスタタイプのBNBR型で高硬度材



加工内容	工具	回転数 min ⁻¹	送り速度 mm/min	XY (mm)	Z (mm)	残り代 (mm)	加工時間
等高線粗加工	φ0.5 R0.1 ラジラスエンドミル BNBR2D050R010-0154	40000	400	0.1	0.01	0.05	15分
等高線粗加工	R0.2 ボールエンドミル BNBP2R020-0124	40000	400	0.05	0.02	0.01	20分
等高線仕上げ	R0.2 ボールエンドミル BNBP2R020-0124	40000	400	0	0.02	0	12分
走査線仕上げ	R0.2 ボールエンドミル BNBP2R020-0124	40000	400	0.03	0	0	8分

図4 加工事例

を無垢から直彫りで粗加工を行ない、仕上げはボールタイプのBNBP型で行った。

彫り込み部の立ち壁のピッチ精度は、0.002mm以内で摩耗によるエンドミルの刃先後退量が少ないことが分かる。また加工面の面粗さはRa0.04µmと良好である。

3. 銅電極加工用工具「オーロラコート® (DLC) ロングネックボールエンドミルSNB2型」と「スミボロン®モールドフィニッシュマスターBNBC型」

3-1 特徴

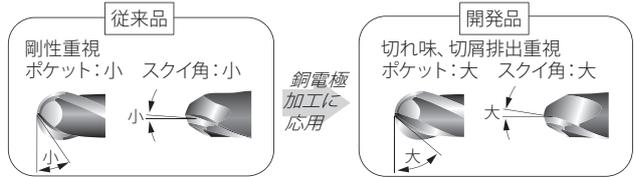
(1) オーロラコート® (DLC) SNB2型

オーロラコート®は、現在、銅電極加工用エンドミルのコーティング膜として一般的に使用されているCrNコーティングに比べ、高硬度で耐摩耗性に富み、コーティング面が非常に平滑な摺動性に優れたコーティング膜であるが、耐熱温度が低いことが弱点である。図5に、これら問題点を克服すべく、銅電極専用工具として開発した刃型形状の特長を示す。切れ味に優れたシャープなすくい角を採用することにより、切削時の発熱を抑え、且つ、大きなチップポケットを持つ刃先形状と摩擦係数の低いDLCコーティングを組合せた結果、切り屑排出性に優れた安定した加工が可能となった。

(2) スミボロン®BNBC型

CBNは、超硬やハイスに比べ硬度・熱伝導率は高いが、靱性の面で超硬やハイスに劣るという特性（強み弱み）がある。今回、ユーザーからの要望である銅電極加工用工具の長寿命化を実現すべく、CBN高含有材種を採用した。図5に、刃型形状の特長を示すが、刃先強度向上と切れ味の良好なシャープな刃先形状を実現することができた。これより、耐久損性・耐摩耗性と切れ味が向上し、安定した加工

オーロラコート®ロングネックボールエンドミルSNB2型



スミボロン®モールドフィニッシュマスターBNBC型



図5 刃型形状の特徴

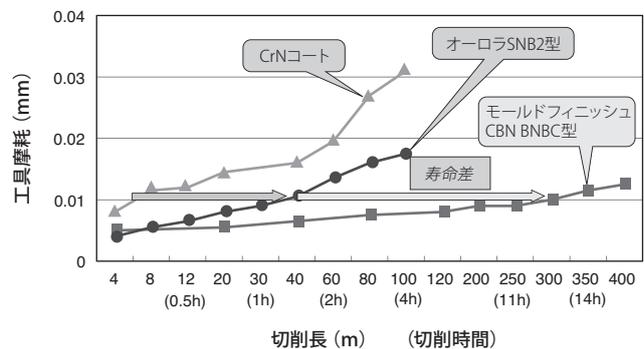
面品位を長時間持続させることが可能となった。

3-2 SNB2型とBNBC型による加工性能 SNB2型とBNBC型を用いて、被削材であるタフピッチ銅へ種々の加工性能評価を行った。図6は側面加工時の工具摩耗を、図7は切削抵抗と面粗度を示している。

工具摩耗に関して、逃げ面摩耗量0.01mmを一つの基準とすると、SNB2型は切削長40mで、CrNコート比5倍の工具寿命と結果良好で、継続使用可能である。BNBC型は切削長300mで、CrNコート比38倍の工具寿命となり、非常に良好な結果を示し継続使用可能である。

切削抵抗に関しては、SNB2型でCrNコート比11%低減されており、最も抵抗が小さく、たわみを抑え、高精度加工に適した工具仕様となっている。BNBC型は超硬工具に比べ刃先形状の要因（すくい角）により切削抵抗が高い結果となった。

次に、面粗度に関しては、SNB2型でCrNコート比



<切削条件>

工具寸法: R0.3mm 2枚刃

切削速度: Vc=57m/min (n=30,000min⁻¹)

送り速度: Vf=700mm/min

切り込み: ap=0.035mm, ae=0.030mm

加工ワーク: タフピッチ銅

切削油剤: MIST (油性)

図6 工具摩耗

(WET) 50%改善されており、良好な結果となった。BNBC型はCrNコート比37%改善されている。また、両工具共にWETとDRYでの性能差が少なく、DRY加工でもCrNコート品に比べ有利であるが、総合評価としてWETでの加工に適している。

これら良好な結果は、前項で述べたDLCコーティング、CBN母材、刃型形状の特性によるものである。図8は、切削条件(回転数と1刃当たりの送り)を変更させた際の加工面品位を示している。20,000min⁻¹では回転不足により、両工具とも面を潰した様なキタマキとなっており、また、微少なバリも発生している。しかし、30,000min⁻¹以上では、良好なキタマキを示しており、バリの発生なく良好である。面粗度を考慮すれば、30,000min⁻¹、1刃送りfz=0.01mm/刃(Vf=600mm/min)が、本評価条件の中では、最良であり、高速回転での使用に適している。

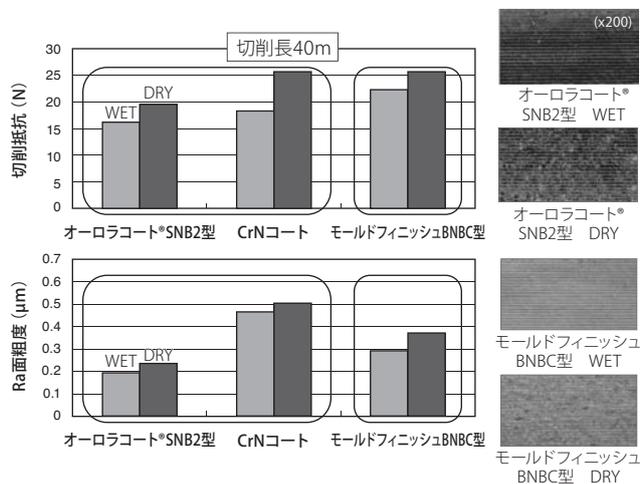
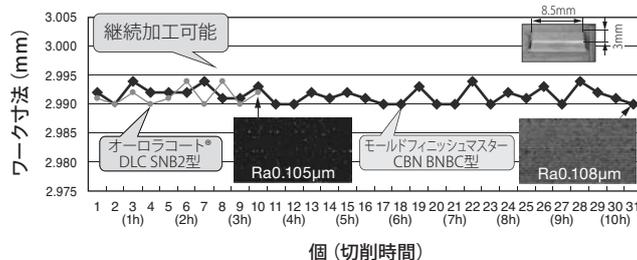


図7 切削抵抗と面粗度

	R0.3	fz=0.005 (mm/刃)	fz=0.010 (mm/刃)	fz=0.015 (mm/刃)
n=20,000 ap=0.035 ae=0.030 MIST	CBN モールドフィニッシュ マスターBNBC型			
	オーロラコート® ロングネックボール SNB2型			
n=30,000 ap=0.035 ae=0.030 MIST	CBN モールドフィニッシュ マスターBNBC型			
	オーロラコート® ロングネックボール SNB2型			
n=40,000 ap=0.035 ae=0.030 MIST	CBN モールドフィニッシュ マスターBNBC型			
	オーロラコート® ロングネックボール SNB2型			

図8 切削条件別ワーク面品位

3-3 加工実例 図9は、電極形状(3×8.5×1.2mm)を多数個切削した際のワーク寸法変位を示している。SNB2型では10形状(切削長110m)加工した際の寸法バラツキが4μm、BNBC型では31形状(切削長341m)加工した際の寸法バラツキが4μmとなっており、寸法精度の安定した加工が長時間持続可能である。



<切削条件>
 工具寸法: R0.2mm 2枚刃
 加工ワーク: タフピッチ銅
 切削速度: Vc=38m/min
 (n=30,000min⁻¹)
 送り速度: Vf=400mm/min
 (fz=0.007mm/刃)
 切り込み: ap=0.01mm,
 ae=0.01mm
 切削油剤: MIST (油性)

	寸法 バラツキ	工具摩耗
モールドフィニッシュマスターCBN BNBC型 (31個、L=341m)	4μm	5μm
オーロラコート®(DLC) SNB2型 (10個、L=110m)	4μm	10μm

図9 ワーク寸法変位

4. 結 言

加工性能評価により以下の結論を得た。

- 「スミボロン®モールドフィニッシュマスターBNBC型」は、超硬エンドミル比、工具寿命10倍。また、高品位な加工面が得られることで磨き時間の短縮が可能である。
- 「オーロラコート®ロングネックボールエンドミルSNB2型」は、銅電極加工において、CrNコートエンドミル比、工具寿命5倍、切削抵抗・面粗度共に良好であり、寸法精度の安定した加工が可能である。
- 「スミボロン®モールドフィニッシュマスターBNBC型」は、銅電極加工において、CrNコートエンドミル比、工具寿命38倍、面粗度も良好であり、長時間の連続加工が可能である。

以上の結果より、上記3工具は、従来工具に比べ、高精度、高能率、長寿命を実現できる工具であり、生産性向上に貢献できるものと考えられる。

用語集

※1 CBN

Cubic Boron Nitride：立方晶窒化ホウ素 ダイヤモンドに次ぐ硬さを持つ物質で、ダイヤモンドに比べて熱に強く鉄との反応性が低いという性質を持つ。

※2 DLC

Diamond Like Carbon (ダイヤモンドライクカーボン)：炭素の同素体から成る非結晶 (アモルファス) の硬質膜。

参考文献

- (1) 矢野、「金型材の高速・高精度加工にスミボロン®モールドフィニッシュマスターBNBR型」、ツールエンジニア第51巻、第13号
 - (2) 矢野、「機械技術」9月号 (2010年)
 - (3) 島田、「型技術」7月号、日刊工業新聞 (2011年)
-

執筆者

矢野 和也*：住友電工ハードメタル㈱
デザイン開発部
CBN、PCD 工具の形状開発に従事



島田 浩之：住友電工ハードメタル㈱ デザイン開発部

村上 大介：住友電工ハードメタル㈱ デザイン開発部
グループ長 博士 (工学)

*主執筆者