

NACHI-BUSINESS

Machining news

Vol. **5** A2
November/2004

マシニング事業

工具

■ 寄稿・論文・報文・解説

高硬度難削材・焼結合金・鋳鉄加工用

「c-BN焼結体工具の動向」

Trend of Sintered c-BN Cutting Tools---
for Machining of Hardened Steel,
Sintered Alloy and Cast Iron

〈キーワード〉 c-BN・焼結体・焼入れ鋼・スミボロン・
高速・高能率・高精度・焼結合金・鋳鉄加工

住友電工ハードメタル(株) 開発部/ダイヤモンド開発グループ

若林 俊嘉

By Takayoshi Wakabayashi,
Development Dept./Diamond Development Group, Sumitomo Electric Hard Metal Co., Ltd

要 旨

^{※1} c-BNは、ダイヤモンドに次いで硬度と熱伝導率が高い物質で、ダイヤモンドに比べ鉄系金属との反応性が低いため、主に難削鉄系材料を加工する工具材料として用いられている。

なかでも、55HRC以上の硬度を持つ焼入れ鋼は、従来、研削でしか加工できなかったが、1977年に住友電工が開発したc-BN焼結体工具「スミボロン」により、始めて切削加工が可能となった。

最近、焼入れ鋼の切削加工は、より高速、高能率、高精度に加工することが求められており、市場の要求に即した種々の工具材料が開発されている。

また、鋳鉄や焼結合金など、従来は超硬やサーメット、セラミックス工具で切削加工していたところにも、高能率で加工できるメリットにより、c-BN焼結体工具の適用割合が増加してきている。

Abstract

c-BN is a substance of high hardness and high thermal conductivity next to diamond. As it has lesser reaction to the ferrous metals than diamond, it is mainly used for the tools to machine ferrous metals that are very difficult to machine. In the past, the hardened steel with hardness of 55HRC or above can only be ground. However, the turning of such steel became possible for the first time with sintered c-BN inserts, SUMIBORON developed by Sumitomo Electric in 1977.

Recently, high speed, high efficiency and high precision have been expected in the turning of hardened steel. As a result, various materials for cutting tools have been developed in response to the market demand.

In addition, the use of sintered c-BN tools for the machining of cast iron and sintered alloy has been increasing because of the highly efficient machining capability although they were machined with carbide, cermet or ceramic tools in the past.

1. c-BN焼結体工具の特徴

c-BN (Cubic Boron Nitride) は、ホウ素(B)と窒素(N)をダイヤモンドに似た結晶構造(Cubic)に結合させたもので、1957年にGE社(米)の超高压による新物質合成研究により発見され、天然には存在しない物質である¹⁾。

c-BN焼結体は、このc-BNを約1500℃、5GPaの超高压高温条件で焼き固めたもので、大きく2つに分類される。(表1) Aタイプはc-BN同士が直接結合されたものであり、主に鋳鉄や焼結合金加工用途に適用される。Bタイプはc-BN同士が耐摩耗性、耐熱性に優れるセラミックスを介して結合されているもので、とくに焼入れ鋼切削において優れた耐欠損性および耐摩耗性を発揮する。

以下、第2項で焼入れ鋼切削用c-BN焼結体について、第3項で焼結合金、鋳鉄加工用c-BN焼結体について詳しく説明する。



2. 焼入れ鋼切削用c-BN焼結体

切削速度の高速化や工具寿命向上、高精度化などのニーズに加え、焼入れ鋼などの難削材の切削加工が一般化し、c-BN焼結体工具の需要が増えつつある。

住友電工ハードメタルでは、これらの要望に応えるため、コーテッドスミボロンBNCシリーズを製品化した。BNC80、BNC150、BNC200、BNC300の適用領域を図1に示す。

BNCシリーズは、母材となるc-BN焼結体よりも軟らかいセラミックスをコーティングしている。一般に「硬度が高いほど耐摩耗性が良い」と考えられているが、加工条件が過酷な焼入れ鋼切削加工では、「耐摩耗性」を向上させるためには、硬度だけではなく、強度、韌性、耐熱性、耐酸化性なども必要になる。これらの

必要特性をc-BN焼結体母材とコーティング膜とで分担させることにより、これまでにない切削性能を引き出すことに成功した。以下にBNCシリーズ各々の特長を示す。

用途		加工速度 (m/min)		
		100	200	300
仕上げ加工	汎用 (連続～弱断続)	BNC200		BNC150
	中～強断続	BNC300		
	高精度 (Rz=1.6~3.2)	BNC80		
	高能率 (浸炭層除去)	BNC200		

図1. 焼入れ鋼加工におけるBNCシリーズ適用領域

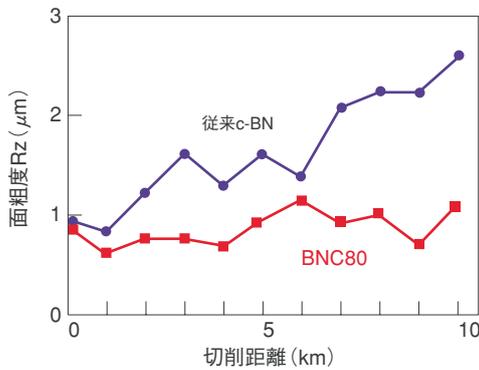
表1. c-BN焼結体の組織とその用途

組織の特徴	組織	組織模式図	c-BN含有量	硬度 (GPa)	用途
Aタイプ c-BN粒子 同士が結合		 c-BN粒子 金属結合材	高い	44	{ 鋳鉄 焼結合金 難削材 焼入れ鋼
Bタイプ c-BN粒子が 結合材を介 して結合		 c-BN粒子 セラミック結合材	低い	21	

(高精度加工用材質BNC80)

BNC80は、耐摩耗性に優れるc-BN焼結体母材に、均一で超平滑なTiN系の微細膜をコーティングし、刃先の凹凸を少なくすることで、均一に摩耗を進展させることが可能になった。その結果、従来のスミポロンに比べ、境界摩耗の発生が抑制され、刃先に段差が発生し難く、加工面粗さ3.2S以下の実用切削加工を可能にした。

BNC80の切削評価結果を図2に示す。送り変動加工法^{※2}と組み合わせることにより、加工距離10kmまで1.6s以下の面粗度を維持することが可能であることが分かった。BNC80はギアやシャフトの合わせ面、ベアリング摺動面など、1.6s以下の面粗度が必要な加工を、研削加工から切削加工へ置き換えることを可能にした。



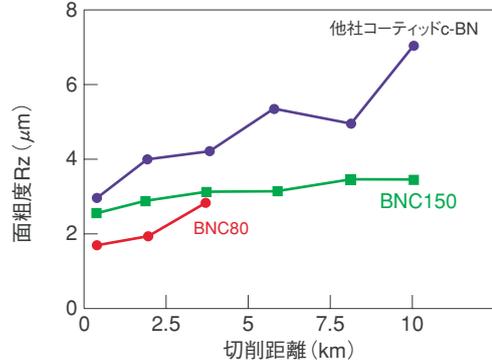
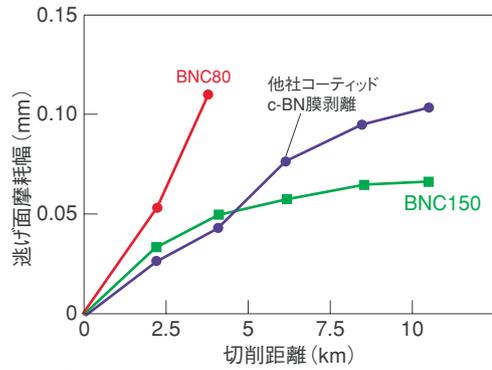
- ・被削材 :SCM435 58-62HRC
- ・工具型番 :4NC-CNGA120408
- ・切削速度V:170m/min.
- ・送りf :0.05・0.06・0.07mm/rev.
ワーク4ヶごとに送り変動
- ・切り込みd :0.1mm
- ・切削液 :WET
- ・切削長 :60m/1pcs

図2. BNC80の切削性能

(高速加工用材質BNC150)

BNC150は、耐クレーター性と耐欠損性を併せもつc-BN焼結体母材に、耐熱性に優れたTiCN系のセラミックス膜をコーティングすることで、高速加工での耐クレーター性と耐欠損性を大幅に向上させた。その結果、連続から弱断続加工までの幅広い範囲でV=200m/minを超える高速切削加工が可能となった。

BNC150の切削評価結果を図3に示す。V=250m/minの高速条件では、BNC80は面粗度は最も良好だが、摩耗の進行が速く、BNC150の方が安定した摩耗により良好な面粗度を維持していることが分かる。BNC150は、大量生産を必要とする自動車部品のギア内径や、ジョイント軸などの高速切削加工に威力を発揮している。



- ・被削材 :SCM415 58-62HRC
- ・工具型番 :4NC-CNGA120408
- ・切削条件:V=250m/min d=0.15mm
f=0.1mm/rev DRY

図3. BNC150の切削特性

(高能率加工用材質BNC200)

BNC200は、高温でも強靱なc-BN焼結体母材に、高耐摩耗性のTiAlN系セラミックス膜をコーティングすることで、耐摩耗性に優れ、切り込み送りの大きな高負荷条件でも安定して使用できる材質である。BNC200は、^{※5}防炭処理をせずに浸炭焼入れし、必要な部分のみ浸炭層を切削除去する「^{※6}浸炭層除去加工」において、従来のc-BN焼結体工具に比べ、切込みを大きくとることでパス数半減(能率2倍)と工具寿命2倍を達成した。

浸炭層除去加工では、硬度の低い部分までスミボロンで切削するため、切りくず処理が必要になる場合が多い。(図4) BNC200と新開発のブレーカ付きスミボロン「スミボロンブレイクマスターSV型」の組み合わせにより、浸炭層除去加工における切りくず処理の問題を解決し、長寿命化と作業性改善を実現した。(表2)

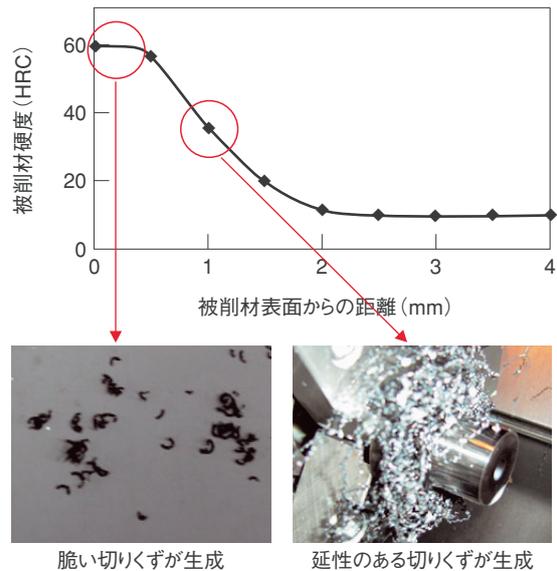


図4. 浸炭層除去加工における被削材硬度と切りくずの変化

表2. 焼入れ鋼加工事例

	・被削材 :SCr420 浸炭焼入れ鋼 ・工具型番:4NC-CNGG120408N-SV 工具材質BNC200 ・切削条件:V=150m/min f=0.15mm/rev d=0.5mm×2回 WET		
	BNC200		他社工具 (ブレーカ付き)
	ブレイクマスターSV型	ブレーカ無し	
工具寿命	200個	200個	100個
切りくずトラブル回数	0回	76回	32回

BNC200+SV型ブレーカによる、浸炭層除去加工評価結果

(断続加工用材質BNC300)

BNC300は、耐欠損性に優れるc-BN焼結体母材に、断続の衝撃に耐えるべく、密着力を極限まで上げた高耐摩耗性のTiAlN系セラミックスをコーティングすることにより、耐欠損性と耐摩耗性を両立させた材質である。BNC300の切削評価結果を図5に示す。

断続割合が約50%の加工で、欠損することなく耐摩耗性を維持し、実用的な切削加工が可能であることが分かった。BNC300は、強断続と連続加工が混在するキーミゾ付きのギア内径や、油穴を有するシャフト部品等の加工に威力を発揮し、これまで工具欠損により困難であった部品の切削加工化を実現した。

焼入れ鋼加工用コーテッドスミボロンBNCシリーズによる最近の加工事例を表3に紹介する。

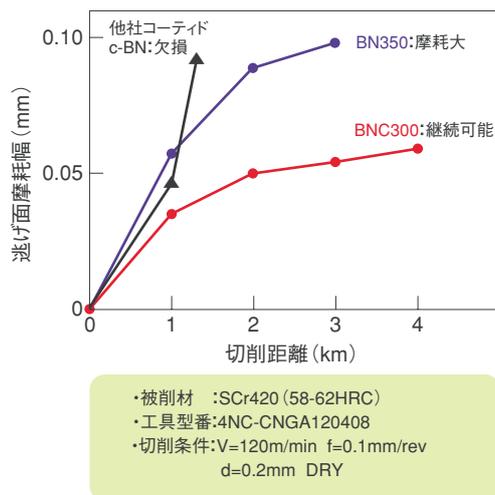
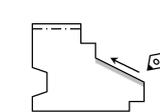
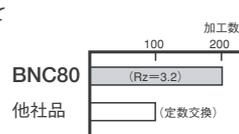
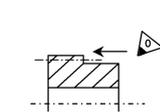
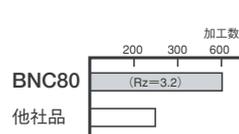
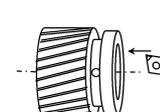
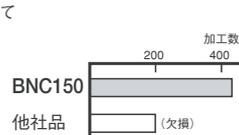
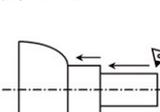
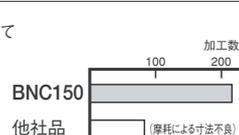
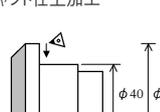
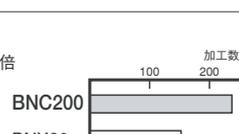
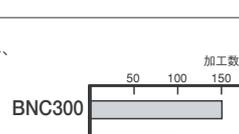
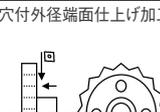
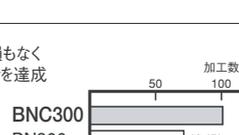


図5. 断続割合50%でのBNC300切削評価結果

表3. BNCシリーズによる焼入れ鋼加工事例

ツーリング	被削材		使用工具	切削条件	使用結果
	①部品名 ②材質		工具型番	V=速度 (m/min) f=送り (mm/rev) d=切込み (mm)	
合わせ面仕上げ加工 	①ギア ②SCM440 浸炭焼入れ 60HRC		4NC-CNGA120408 (BNC80)	V=180 f=0.08 d=0.1 DRY	・BNC80は他社CBNIに対して 面粗度寿命2倍 (規定値Rz=3.2) 
外径仕上げ加工 	①ギア ②S45C 高周波焼入れ 60HRC		6NC-TNGA160404 (BNC80)	V=200 f=0.06 d=0.1 DRY	・BN700は他社品に対して 面粗度寿命2倍 (規定値Rz=3.2) 
内径仕上げ加工  油穴による断続切削	①ギア部品 ②SCM430 浸炭焼入れ 61-65HRC		2NC-CCGW09T308 (BN150)	V=180 f=0.12 d=0.20 WET	・BNC150は他社CBNIに対して 欠損寿命で2倍以上 
外径仕上げ加工 	①シャフト部品 ②SCr420H 高周波焼入れ 61-63HRC		6NC-TNGA160408 (BNC150)	V=150 f=0.1 d=0.1 DRY	・BNC150は他社CBNIに対して 摩耗による寸法精度で 寿命2.5倍 
シャフト仕上げ加工  φ40 φ85 20	①シャフト ②SNM415 高周波焼入れ 58-62HRC		6NC-TNGA160408 (BNC200)	V=100 f=0.1 d=0.2 WET	・BNC200にて長寿命達成 セラミックを切り替え セラミック 寿命 ~50ヶ BNC200 端面 900ヶ 外径 400ヶ 達成
浸炭層除去加工  φ37.4	①ギア内径 ②SCr420 浸炭焼入れ 60HRC		6NC-TNGA160408N-SV (BNC200)	V=110 f=0.13 d=0.3+0.5 WET	・BNC200はBNX20に対して 浸炭層除去加工で寿命1.5倍 
端面断続仕上げ加工  寸法公差±10μm	①クラッチ部品 ②SCM415H 57-65HRC		4NC-CNGA120408 (BNC300)	V=150 f=0.1 d=0.15 DRY	・BNC300は耐摩耗性に優れ、 BN300に対して 寸法精度寿命1.5倍 
油穴付外径端面仕上げ加工 	①ギア ②SCM420H 浸炭焼入れ 61-63HRC		4NC-DNGA150412 (BNC300)	V=100 f=0.1 d=0.3 DRY	・BNC300は正常摩耗で欠損もなく 従来品比1.5倍以上の寿命を達成 (正常摩耗) 

3. 焼結部品、鋳鉄切削用c-BN焼結体

最近の自動車部品は、鉄系焼結合金の使用が増加の傾向にある。また、焼結部品はより複雑な形状への要求や、製品の高精度化への要求により、部品の加工箇所は増加し、材料の高強度化のために加工性が悪化している。また生産数量も月産数万個以上になる場合が多く、より高能率な加工が要求されている。そのため、焼結合金加工に対し、高速高能率加工が可能で、しかも優れた加工精度と工具寿命が得られるc-BN焼結体工具を適用する割合が増加している。

一方、鋳鉄については、自動車エンジンのアルミニウム化に伴い、鋳鉄自体の使用量は減少しているが、ブレーキディスクやシリンダーに用いられる鋳鉄スリーブ、トラック用鋳鉄エンジン等の加工で、高速高能率化や乾式切削化の要望からc-BN工具の使用量は増加の傾向にある。

以下に、焼結合金と鋳鉄加工に優れた特性を発揮する「スミボロンBN700」の切削性能について紹介する。

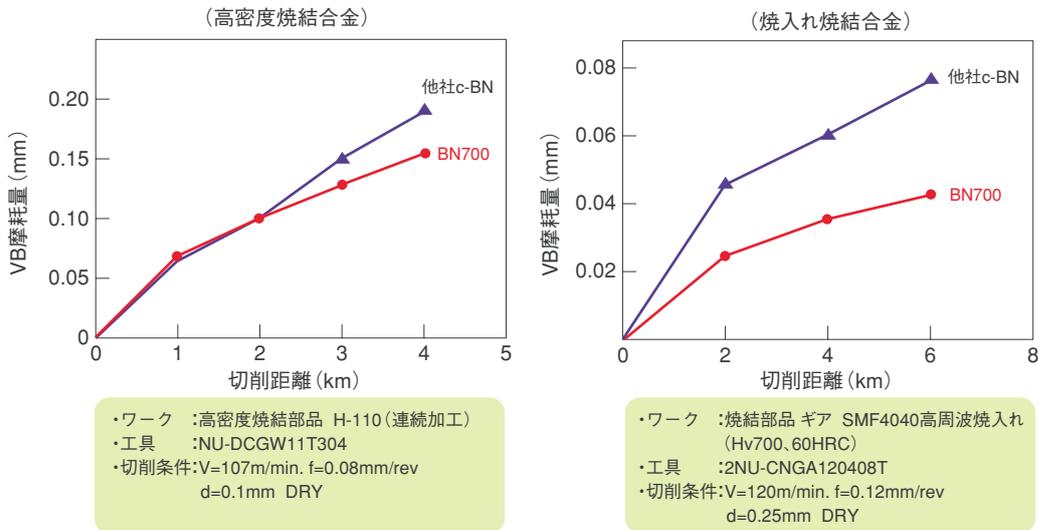


図6. BN700の焼結部品に対する切削特性

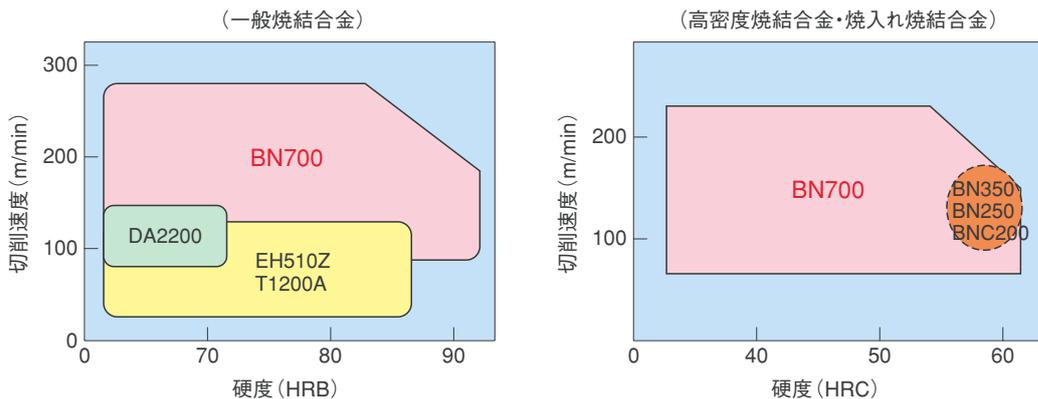


図7. 焼結部品加工に対する推奨工具材質

(スミボロンによる焼結部品切削)

BN700は、c-BN同士が結合したAタイプのc-BN焼結体の中で、とくにc-BNの含有率を高くし、c-BN粒子間の結合力を高めている。そのため、鋭利で安定した刃先が形成でき、一般焼結合金で問題となるバリの抑制が可能となった。

また、高密度焼結合金や焼きの入った焼結合金に対しても、耐欠損性と耐摩耗性の両立により、優れた特性を発揮する。

焼結合金に対するBN700の切削評価結果を図6に示す。同じAタイプの他社c-BN焼結体に対し、耐摩耗性と耐欠損性に優れるため、ワークのバリ発生も少なく、長寿命化を達成した。BN700の焼結部品加工に対する適用領域を図7に示す。あらゆる焼結部品の高速加工にBN700は適用可能である。ただし、60HRC前後の高硬度な焼入れ焼結合金の連続切削では、刃先の摩耗のみで工具寿命となる場合があることから、BN700よりもさらに耐摩耗性に優れる焼入れ鋼用の工具材質が推奨される。

焼結部品加工でのBN700の使用実例を、表4に示す。^{※7}サーメット工具に対し加工速度が2倍、工具寿命が5倍の結果が得られた。

鉄系焼結合金の材質に対するBN700の適用刃先処理を図8に示す。多種多様な焼結合金部品の加工に対応するため、3種類の刃先処理の工具を標準在庫化し、加工条件、ワーク形状に合わせた刃先処理形状を推奨している。

一般焼結合金 (SMF規格品)	
	標準タイプ Fタイプ(シャープエッジタイプ)
高密度焼結合金	
	標準タイプ Tタイプ(刃先強化タイプ)
焼入れ焼結合金	Tタイプ(刃先強化タイプ)

図8. 焼結合金加工での第一推奨刃先処理

表4. BN700による焼結合金加工事例

ツーリング	被削材	使用工具	切削条件	使用結果
	①部品名 ②材質	工具型番	V=速度 (m/min) f=送り (mm/rev) d=切込み (mm)	
 スプロケット端面加工	①スプロケット ②高密度焼結合金	NU-TPGW110302	V=200 f=0.1 d=0.2 WET	・BN700にてサーメット加工に比べ加工速度2倍、工具寿命5倍を達成
 ギア内径加工	①ギア内径 ②焼結合金 SMF4040相当	NU-ZNEX040102F	V=150 f=0.1 d=0.06 WET	・BN700にて2000個寿命達成 研削から切削へ切り替え
 プレート端面仕上げ加工	①自動車部品 ②高密度焼結合金 + 浸炭焼入れ HRc58-60	3NU-TNGA160404T	V=110 f=0.1 d=0.5 DRY	・BN700は他社CBNに対して寸法精度寿命で1.5倍以上

(スミボロンによる鋳鉄切削)

c-BN含有率の高いBN700は、高熱伝導率と強度の相乗効果から、優れた耐熱亀裂特性を示す。鋳鉄加工でのBN700の切削評価結果を図9に示す。旋削加工、フライス加工共に、同じAタイプ他社c-BN焼結体に対し、2~3割の寿命延長が可能であることが判る。BN700の鋳鉄加工の適用領域を図10に示す。BN700はスミボロンの中で最も熱伝導率が良いため、刃先温度が非常に高温になるV=2000m/minまでの高速域の仕上げ切削において、優れた性能を示す。ただし、粗加工には切れ刃長

が長く、使用可能な刃先コーナー数が多いので、コスト面で有利なソリッドc-BN焼結体工具のBNS800を推奨する。

鋳鉄加工でのBN700使用実例を、表5に示す。自動車用エンジンブロックのシリンダー内径仕上げ加工で、摩耗の発達に起因する欠損寿命評価に対して、他社比1.5倍の寿命を達成した。また、エンジンブロックのフライス切削では、従来比1.5倍の寿命を示した。

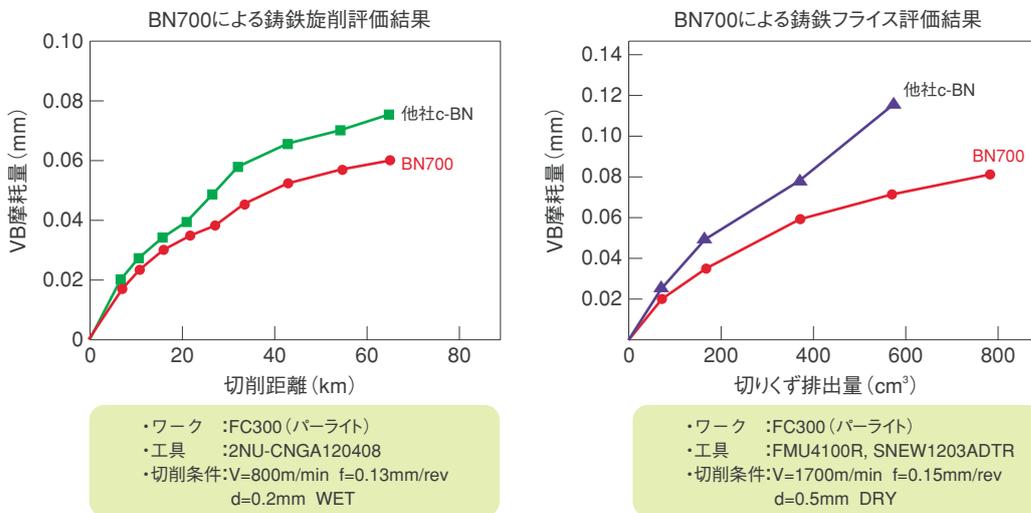


図9. 鋳鉄加工におけるBN700切削評価結果

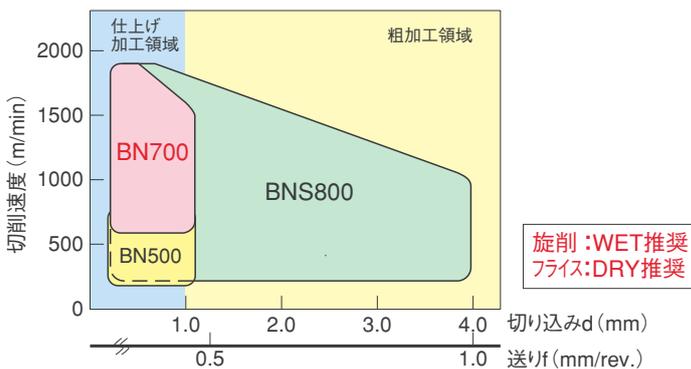
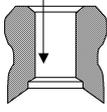
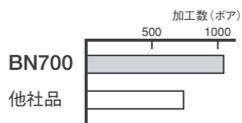
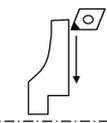
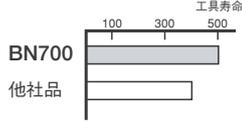
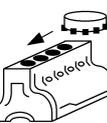
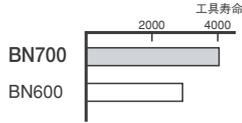


図10. ねずみ鋳鉄加工に対する推奨工具材質

表5. BN700による鋳鉄加工事例

ツーリング	被削材	使用工具	切削条件	使用結果
	①部品名 ②材質	工具型番	V=速度 (m/min) f=送り (mm/rev) d=切込み (mm)	
 シリンダーボア仕上げ加工	①シリンダーボア ②FC250	SNGN090308	V=500 f=0.2 d=0.2 WET	・BNC700は他社c-BNに対して 欠損寿命で1.5倍を達成 
 ケース端面加工	①ポンプ部品 ②FC200	2NU-CNGA120408	V=350-700 f=0.05 d=0.3 WET	・BNC700は他社c-BNに対して 面粗度寿命で1.2倍を達成 
 ブロック上面フライス加工	①エンジンブロック ②FC250	FMU4200R SNEW1203ADTR	V=1200 f=0.2 d=0.4 DRY	・BNC700は他社c-BNに対して 面粗度寿命で1.5倍を達成 

4. 結言

従来のスミボロンに加え、今回紹介したコーテッドスミボロンBNCシリーズにより、焼入鋼をより高速、高能率、高精度に加工することが可能になった。スミボロンの適用領域を広げることで、研削加工を切削加工に置き換えられる分野を拡大し、焼入鋼の機械加工におけるトータルコストの削減に寄与できれば幸いである。

また、焼結合金・鋳鉄切削用c-BN焼結体工具「スミボロンBN700」により、市場拡大が期待される焼結合金加工の高精度・長寿命化や、鋳鉄の高速・高能率加工のニーズに応えることができるようになった。

今後も、焼結合金、鋳鉄をはじめ、その他の難削材加工に、スミボロンの適用範囲を拡大し、生産性向上によるコスト削減を推進していきたい。

用語解説

※1 c-BN

立方晶窒化ホウ素の略で、ダイヤモンドの次に硬度、熱伝導のよい物質。c-BNを超高圧高温で焼き固めたものがc-BN焼結体で、スミボロンは住友電工ハードメタル製c-BN焼結体工具の商品名。

※2 境界摩耗

切削工具の摩耗形態の一種で、切削に関与している部分と関与していない部分の境目に現われる摩耗。

※3 送り変動加工法

数個加工毎に加工送りを変化させる加工方法で、境界摩耗の発生位置が変化することにより、境界摩耗が深く発達せず、面粗度を長期間安定させる加工方法。

※4 耐クレーター性

クレーター摩耗は切削工具の摩耗形態の一種で、工具すくい面の切りくずの流る部分がクレーター状に掘れて生成する摩耗形態。耐クレーター性とは、このクレーター摩耗に対して強い特性のこと。

※5 防炭処理

浸炭焼入れした部分は溶接強度が落ちるため、予めメッキなどにより浸炭しないようにする処理。

※6 浸炭層除去加工

防炭処理をせずに浸炭焼入れした材料を、直接切削除去する加工方法。

※7 サーメット

セラミック粉末と金属粉末を混合し、焼き固めた工具材料。

参考文献

- 1) F.P.Bundy et.al:Nature, 176, P.51(1955)
- 2) PAT.No. JP2985886

本 社	本社・富山事業所	富山市不二越本町1-1-1	〒930-8511	Tel.076-423-5111	Fax.076-493-5211
	東京本社	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F	〒105-0021	Tel.03-5568-5111	Fax.03-5568-5206
http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/					
生産拠点	富山事業所	富山市不二越本町1-1-1	〒930-8511	工具	Tel.076-423-5100 Fax.076-493-5221
				マシナリー	Tel.076-423-5140 Fax.076-493-5242
				ロボット	Tel.076-423-5135 Fax.076-493-5251
				ベアリング	Tel.076-423-5120 Fax.076-493-5231
東富山事業所	富山市米田町3-1-1	〒931-8511	マテリアル 油圧機器	Tel.076-438-4411 Fax.076-438-6313	Tel.076-438-8970 Fax.076-438-8978
滑川事業所	富山県滑川市大掛176	〒936-0802	プレジジョン カーハイドロリクス クリーンサーモ コーティング 精密成形	Tel.076-471-2101 Fax.076-471-2630	Tel.076-471-2320 Fax.076-471-2324
				Tel.076-471-2981 Fax.076-471-2987	Tel.076-471-2985 Fax.076-471-2989
				Tel.076-471-2991 Fax.076-471-2992	
水橋事業所	富山市水橋伊勢屋193	〒939-3524	ベアリング	Tel.076-478-2098	Fax.076-479-1081
営業拠点	東日本支社	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F	〒105-0021	Tel.03-5568-5280	Fax.03-5568-5290
	北関東支店	群馬県太田市下浜田町1087-7	〒373-0821	Tel.0276-46-7511	Fax.0276-46-4599
	北海道営業所	札幌市東区本町1条10-4-10	〒065-0041	Tel.011-782-0006	Fax.011-782-0033
	東北営業所	福島県郡山市桑野2-33-1 ワン・ブリッジビル2F	〒963-8025	Tel.024-991-4511	Fax.024-935-1450
	中日本支社	名古屋市名東区高社2-120-3 ナチ名古屋ビル	〒465-0095	Tel.052-769-6811	Fax.052-769-6830
	東海支店	浜松市海老塚1-20-17	〒432-8033	Tel.053-454-4160	Fax.053-454-4845
	北陸支店	富山市石金2-3-60 ナチ北陸ビル	〒930-0966	Tel.076-425-8013	Fax.076-493-5215
	西日本支社	東大阪市本庄西2-73-14 ナチ大阪ビル	〒578-8522	Tel.06-6748-2510	Fax.06-6748-1955
	中国四国支店	岡山市西古松2-2-30	〒700-0927	Tel.086-244-0002	Fax.086-243-4346
	広島営業部	広島市安佐南区西原8-25-10	〒731-0113	Tel.082-832-5111	Fax.082-832-5114
九州支店	福岡市博多区山王1-10-30	〒812-0015	Tel.092-441-2505	Fax.092-471-6600	
海 外	国際営業部	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F	〒105-0021	Tel.03-5568-5240	Fax.03-5568-5236
生産拠点 Overseas Manufacturing Companies	AMERICA	Indiana, Michigan / U.S.A. BRAZIL			
	EUROPE	SPAIN CZECH			
	ASIA and OCEANIA	KOREA TAIWAN CHINA THAILAND SINGAPORE			
営業拠点 Overseas Sales Companies	AMERICA	U.S.A. CANADA MEXICO BRAZIL			
	EUROPE	GERMANY SPAIN U.K. ITALY			
	ASIA and OCEANIA	KOREA TAIWAN CHINA THAILAND SINGAPORE MALAYSIA INDONESIA PHILIPPINES VIETNAM AUSTRALIA			