

焼結合金・鋳鉄仕上げ加工用スミボロン BN7115

New Grade “SUMIBORON BN7115” for Finishing Sintered Ferrous Alloys

石井 顕人*
Akito Ishii

道内 真人
Masato Michiuchi

岡村 克己
Katsumi Okamura

濱 久也
Hisaya Hama

植田 暁彦
Akihiko Ueda

久木野 暁
Satoru Kukino

スミボロンCBN工具は、ダイヤモンドに次ぐ硬度及び熱伝導率に加えて鉄に対する低親和性を兼ね備えるcBN粒子を主成分とし、鉄系難削材材料の仕上げ加工でコスト低減や加工能率向上に貢献してきた。一方、近年の自動車産業においてHEV、EV化の促進とともに、鉄系焼結合金加工では高い寸法精度とさらなる難削化への対応が、鋳鉄超高速加工では工具の安定長寿命化が要請されている。これらの切削加工における工具損傷解析に基づき、当社は新たな高cBN含有率材種「スミボロンBN7115」を開発した。BN7115は高純度cBN原料およびCo-Al-Cr-WC新結合材を適用することで、cBN粒子間結合力を飛躍的に向上させ、耐摩耗性と耐欠損性を高次元で両立した。これにより、焼結合金加工における加工品位低下や鋳鉄加工における熱衝撃欠損を抑制し、工具の長寿命化に貢献できるものと期待される。

The cubic boron nitride (CBN) cutting tool “SUMIBORON” is mainly composed of cBN particles that have low activity with iron, and has high hardness and high thermal conductivity next to diamond, contributing to productivity improvement and cost reduction in the finishing of difficult-to-cut ferrous materials. In the past decade, the automotive industry has strongly driven the shift to hybrid electric vehicles and electric vehicles, which requires higher precision and higher efficiency in machining of sintered ferrous alloys and cutting tools with stable performance and longer tool life for cast irons. The authors have successfully developed a new grade “SUMIBORON BN7115” for finishing these materials. BN7115 employs a high-purity cBN and new binder consisting of Co-Al-Cr-WC to improve the bond strength between cBN particles, thereby achieving good resistance to wear and breakage. BN7115 is expected to solve problems such as a degradation of the cut surface of sintered ferrous alloys caused by the dropout of cBN particles and chipping of edges caused by thermal shock during cutting cast iron.

キーワード：高cBN含有率、cBN粒子間結合力、焼結合金、鋳鉄、仕上げ加工

1. 緒 言

立方晶窒化ホウ素（cBN）はダイヤモンドに次ぐ硬度と熱伝導率を示し、鉄系金属との親和性が低いというダイヤモンドにない特徴を有する。このcBNを主成分とする当社のCBN焼結体工具「スミボロン」（以下、CBN工具）は、焼入鋼をはじめ、鉄系焼結合金^{*1}（以下、焼結合金）、鋳鉄などの仕上げ加工に用いられ、加工能率や加工精度の向上、設備費の低減に加え、乾式加工が可能であることから研削スラッジなどの産業廃棄物削減や省エネルギー化にも貢献してきた^{(1),(2)}。中でも高cBN含有率材種は、90体積%超のcBN粒子を金属結合材で焼結した材料であり、cBN粒子同士が直接結合した組織を有し、高硬度かつ高熱伝導率を示すことから機械的摩耗が寿命要因となる焼結合金の加工や、鋳鉄の高速加工に特に好適に用いられる。

焼結合金は粉末冶金法^{*2}で製造され、材料設計の自由度が高い特徴を活かし、機械特性の改善や複雑形状化、高精度化などの機能向上が図られてきた。特に、近年ハイブリット自動車の普及に伴って、電動VVT（Variable Valve Timing）等の高効率な駆動システムの採用が増加してお

り、従来以上の高い硬度と寸法精度が要求されている。例えば、焼入れ時の寸法歪を抑制するため、これらの焼結合金には焼入れ性を改善するニッケルやモリブデンを添加しているが、これが工具の短寿命化を引き起こしている。一方、鋳鉄加工においては、超硬工具^{*3}対比で10倍以上の高速加工に用いられ、繰返し熱衝撃が発生する環境では依然として熱亀裂の発生が問題となっている。例えば、エンジンブロックやオイルポンプの合わせ面のフライス加工^{*4}では、前工程の冷却液が残存した状態（残WET）により熱衝撃が大きくなり突発的な欠損が頻繁に発生する。今回、これらの課題を解決すべく、耐摩耗性と耐欠損性を高次元で両立させた、焼結合金・鋳鉄仕上げ加工用「スミボロンBN7115」を開発した。以下に本材質の開発経緯、特長及び切削性能について報告する。

2. 焼結合金加工における課題

一般的な焼結合金をCBN工具で加工した際の寿命要因は、加工面のバリ、白濁、仕上面精度の劣化である。刃先

の損傷メカニズムを調査するために、摩耗面の表面及び断面を観察した結果を図1に示す。逃げ面には凹凸の激しい筋状摩耗が発達していることが分かる。摩耗形態を詳細に観察すべく、CBN工具刃先逃げ面の表面及び断面の高倍率観察を行った。摩耗表面ではcBN粒子間の金属結合材が消失し、cBN粒子が浮き出ている様子が観察される。また刃先断面では、結合材の消失により形成したと考えられる空隙が表面から3μm程度内部に観察された。本結果から、焼結合金の切削加工におけるCBN工具の摩耗発達メカニズムは図2の如く考えられる。まず焼結合金中に含まれる高融

点金属及び炭化物などにより、低硬度の結合材が削り取られ、その擦過痕に焼結合金が凝着する。加工熱により凝着物と金属結合材が拡散・反応し、内部の金属結合材が溶出し、刃先表面はcBN粒子の骨格のみで構成されることになる。やがて刃先表面に浮き出たcBN粒子の受ける切削抵抗がcBN粒子同士の結合力（以下、粒子間結合力）を上回ると、粒子の脱落が生じ、摩耗が進展することとなる。摩耗の進展によりCBN工具の刃先稜線の形状が崩れ、加工部品にバリ、白濁、仕上げ面精度の劣化が生じることで、CBN工具は寿命と判断される。以上の考察より、焼結合金の加工においては、cBN粒子間の結合力を強化し粒子脱落を抑制すること、及び熱伝導率を向上させ刃先温度を低下させることが求められる。

3. 鋳鉄加工における課題

鋳鉄の超高速加工においては、刃先の温度は1000℃以上に達するため熱衝撃による突発欠損が課題となることが報告されている。特にフライス加工などの断続を伴う加工では、工具表面が急冷された際に、工具内部では温度低下が追いつかないため表面に引張応力が発生する。よって工具が切削と空転を繰り返すことで熱亀裂が生じる。この現象は、残WET環境における加工にて特に顕在化する。ここで、硬質材料の熱衝撃破壊抵抗係数 R' ⁽⁴⁾は、下記の式で表されることが知られている。

$$R' = \frac{k\sigma_T(1-\nu)}{E\alpha}$$

ただし、 k :熱伝導率 (W/m・K)、 σ_T :破壊強度 (GPa)、 ν :ポアソン比、 E :ヤング率 (GPa)、 α :線膨張係数 (1/K) である。

上式からわかる通り、鋳鉄フライス加工において、熱衝撃による突発欠損を抑制するためには、高熱伝導率と高強度を両立させることが求められる。

4. BN7115の特長

4-1 仕様と材料特性

BN7115は高cBN含有率材種であり、特に主成分であるcBN粒子間の結合力を高める工夫が成されている。表1にBN7115と従来CBNの仕様と特性を示す。従来CBNのcBN粉末原料は、合成時の触媒であるMg化合物が不純物として残し黒色を呈する。一方、Li化合物を触媒として合成された琥珀色を呈する高純度cBN粒子を用いたBN7115は、cBN粒子同士の結合を阻害する残存不純物が極めて少ないため抗折強度^{*5}、破壊靱性^{*6}が高く、難削鋳鉄の切削においても優れた安定性を示す⁽³⁾。結合材については、cBN粒子同士の結合を強化するCr元素を均一に分散させたCo-Al-Cr-WC合金を新たに開発した。これら高純度cBN粒子と

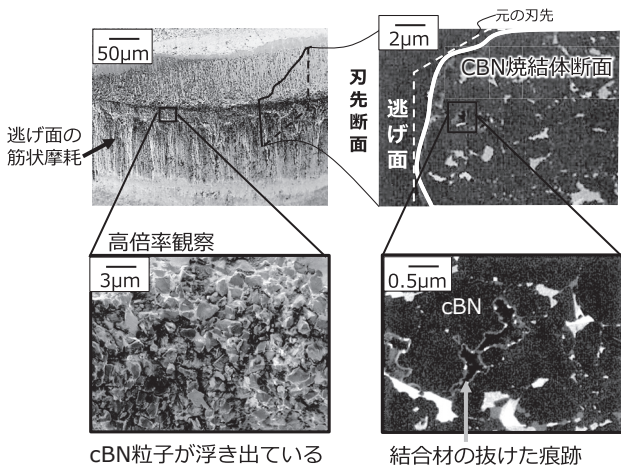


図1 焼結合金加工における刃先の損傷形態

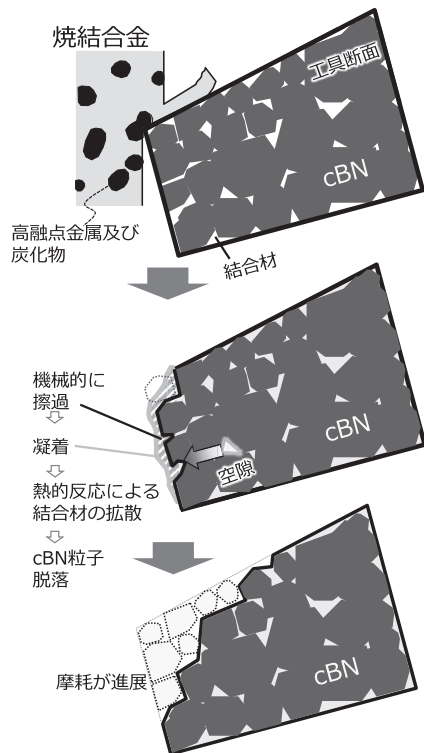


図2 焼結合金加工の工具損傷の概略図

新結合材を当社が誇る超高压高温プロセスで焼結することで、cBN粒子間結合力を飛躍的に向上させ、優れた抗折強度、破壊靱性及び熱伝導率を兼ね備える理想的なCBN焼結体の開発に成功した。

表1 BN7115の仕様と材料特性

材種		従来CBN	BN7115
仕様	cBN	純度	低
		含有率(体積%)	90 - 95
		粒度(μm)	1
結合材		Co-Al-WC合金	Co-Al-Cr-WC合金
特性	Hv硬度(GPa)		41 - 44
	抗折強度(GPa)		2.0 - 2.1
	破壊靱性(MPa・mm ^{1/2})		7 - 9
	熱伝導率(W/m・K)		110
			41 - 44
			2.2 - 2.3
			10 - 11
			115

4-2 cBN粒子間結合力

ここで、結合材の影響を排除してcBN粒子間の結合力を直接評価するため、結合材を酸処理によって除去したスケルトン構造のCBN焼結体を作製し各特性を評価した。図3は酸処理前後の組織写真である。酸処理前には結合材が白く観察されているが、酸処理により結合材が溶出することで黒く観察される空隙となり、cBN粒子のみの構造体となっている。この焼結体は図4に示す通り、従来CBNと比

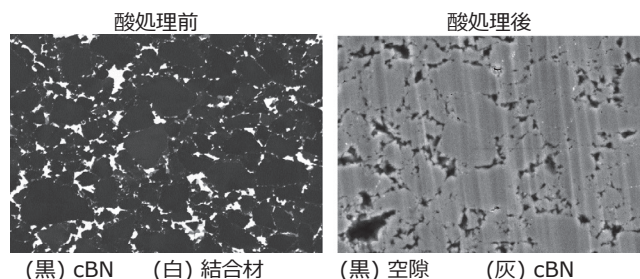


図3 酸処理前後のCBN焼結体組織

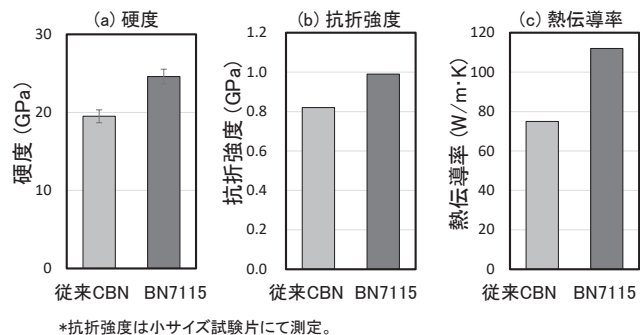


図4 酸処理後の物性

較し、硬度、抗折強度及び熱伝導率がいずれも向上している。両材質のcBN含有率は同等であることから、cBN粒子同士の結合力が向上したことによって機械的特性及び熱伝導率が向上したと言える。さらに、これらのスケルトン構造体を用いて焼結合金を加工した結果を図5に示す。従来CBNでは刃先の粒子脱落が顕著であるに対して、BN7115の脱落は極めて軽微であることから、cBN粒子間の結合力向上が焼結合金加工における高性能化に繋がることを示している。

被削材: 焼結合金 (SMF404相当)
 工具型番: 2NU-CNGA120408
 刃先仕様: 標準型
 切削条件: V_c=200m/min
 f=0.10mm/rev
 a_p=0.20mm
 DRY、連続加工

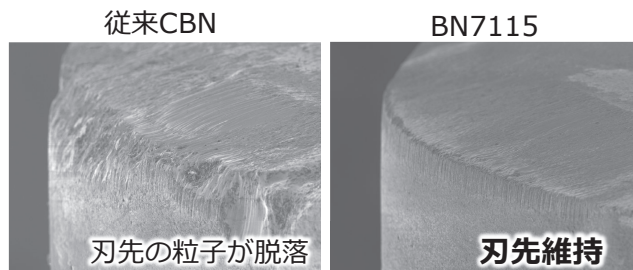


図5 結合材を除去したCBN工具にて焼結合金を加工した後の刃先

5. BN7115の切削性能

5-1 焼結合金加工

焼結合金加工におけるBN7115の工具性能を評価した結果を図6(a)に示す。切削距離に対する逃げ面平均摩耗量の推移から、BN7115は従来CBNに対して平均摩耗量が40%低減している。摩耗量が100μmに達した時点をも寿命とした場合、BN7115は1.5倍の工具寿命を有することを確認した。さらに刃先稜線の詳細観察から、BN7115はcBN粒子の脱落が著しく抑制され、刃先稜線が加工後も非常に鋭利で、かつ逃げ面摩耗部が平滑であることが確認された(図6(b))。この効果により図6(c)に示す通り加工後の面性状も飛躍的に改善している。次にBN7115の耐欠損性を検証するため、高強度焼結合金(FLA-07C2M相当)の端面断続加工を実施した結果、図7に示す通り、従来CBNに対してBN7115は4倍以上の耐欠損性を示した。

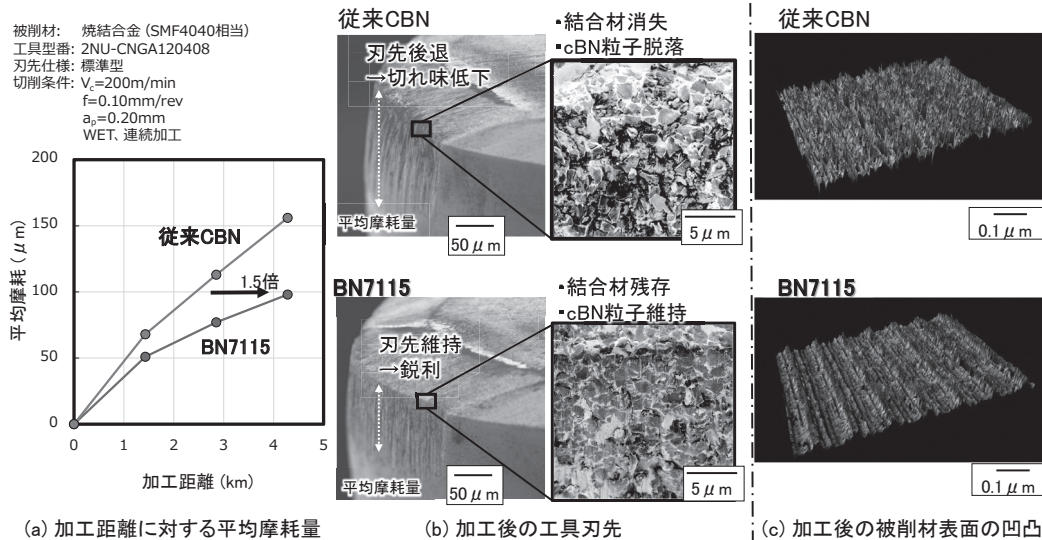


図6 焼結合金加工におけるBN7115の工具性能

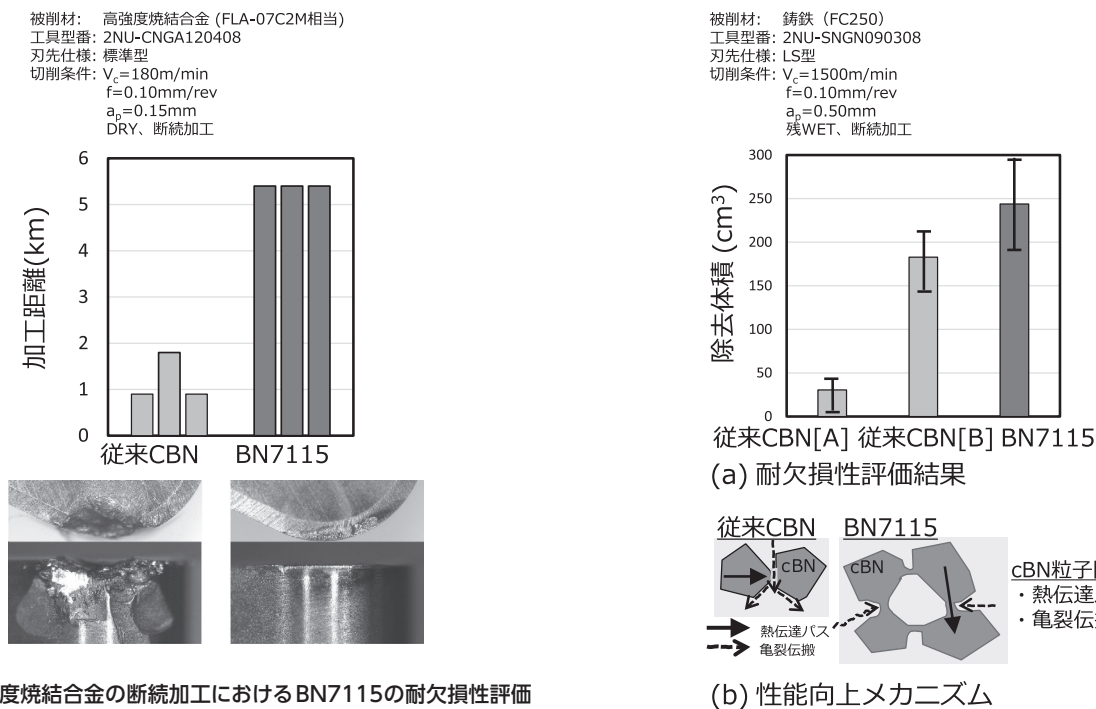


図7 高強度焼結合金の断続加工におけるBN7115の耐欠損性評価

図8 鋳鉄加工におけるBN7115の耐欠損性と性能向上メカニズム

5-2 鋳鉄加工

残WET環境を模擬した鋳鉄フライス加工評価をBN7115と従来CBNに対して実施した。被削材はパーライト組織を有するFC250を用いて、欠損寿命を評価した。その結果、従来CBN [A] [B] は熱亀裂に起因する欠損が発生したのに対して、BN7115は熱亀裂の発生を大幅に低減したことで欠損寿命の延長に成功した (図8 (a))。BN7115の性能向上メカニズムは図8 (b) に示す通り、粒子間結合力の強化によって熱伝達パスが強化されたことと、粒子間における亀裂伝播を抑制したことで、BN7115の耐熱衝撃性が大幅に向上したためであると考えられる。

6. BN7115の適用領域と使用実例

BN7115の適用領域を図9に示す。本材質は前述の通り焼結合金加工において加工面品位に優れ、工具の切れ味を長時間維持することが可能であることから仕上げ加工への適用を推奨している。例えば、自動車部品のVVT部品、オイルポンプローターの端面仕上げ加工や、VSR (Valve Seat Ring) のプランジ加工に威力を発揮する。加えて、従来CBNより抗折強度及び靱性が向上したことで電動VVT部品等の

高強度焼結合金加工においても安定性向上と長寿命化を実現する。次に、鋳鉄加工（フライス）では前述の通り熱伝導率と抗折強度を高次元で両立する本材種は高速加工においても高性能を発揮する。尚、焼結合金及び鋳鉄（フライス）の刃先負荷が高い加工においては、BN7000が推奨される。

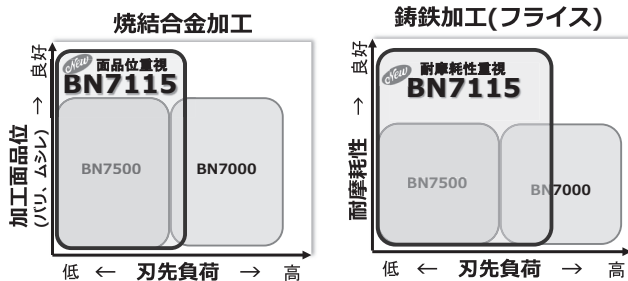


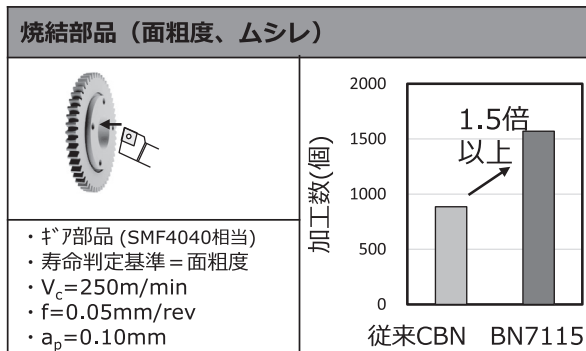
図9 BN7115の適用領域

図10にBN7115の使用実例を示す。BN7115は機械的、熱的特性に優れ、一般的な焼結合金加工において刃先形状が長く維持されるため、面粗度寿命が1.5倍以上に向上した

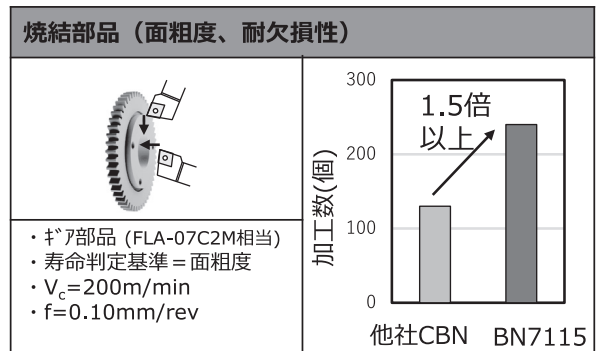
(a)。さらに高強度焼結合金のギア部品の端面断続加工において、面粗度寿命が従来工具比2倍以上 (b)、耐欠損性は他社CBN工具に対し優位性を示した (c)。さらに鋳鉄加工（残WET）では、定数加工時点で加工に使用した工具全てでBN7115には熱亀裂は発生せず、耐熱衝撃性が大幅に向上しており、定数比1.3倍の性能向上を確認した (d)。以上のように、一般焼結合金、高強度焼結合金の加工、さらに鋳鉄の高速加工のいずれにおいても、BN7115の適用により高能率化と長寿命化を実証できた。

7. 結 言

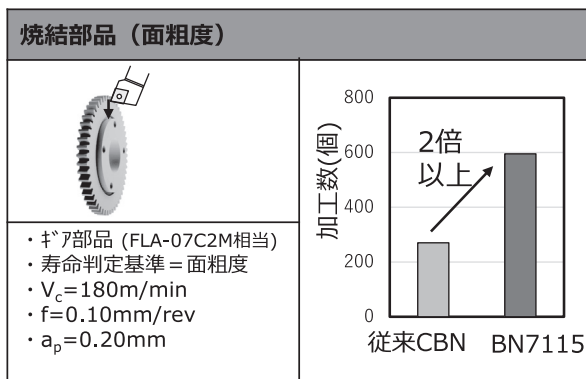
焼結合金・鋳鉄仕上げ加工用「スミボロンBN7115」の適用により、焼結合金加工における課題とされてきたバリ、白濁の抑制、鋳鉄の高速加工では、熱亀裂による突発的な欠損の抑制により、工具寿命の安定化及び、長寿命化を実現した。BN7115はスミボロンシリーズの中で最高の抗折強度、熱伝導率を有する工具材料であり、今後、焼結合金や鋳鉄に留まらず焼入鋼の強断続加工、ハードミリング等、加工負荷が高いアプリケーションにおいても高性能を発揮することが予想され、さらなる加工用途の拡大が期待される。



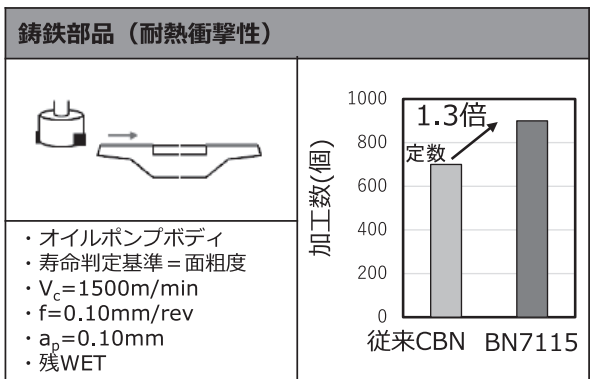
(a) 焼結部品加工事例



(c) 高強度焼結部品加工事例



(b) 高強度焼結部品加工事例



(d) 鋳鉄部品高速加工事例(転削)

図10 使用実例

用語集

※1 鉄系焼結合金

複数の金属を微細な粉末の状態ですべて圧縮成形し、焼結して製造する鉄系の合金。

※2 粉末冶金法

粉末を成型して焼結し、製品を作る方法。鋳造では作製しにくい均質な組織、組成及び複雑形状の製造が可能。

※3 超硬工具

一般的には硬質粉末である炭化タングステンと結合材であるコバルトを混合、焼結して製造される切削工具。

※4 フライス加工

工作物を可動テーブルに固定し、回転工具を用いて平面や溝を成形する切削加工。

※5 抗折強度

曲げ試験において試験片が破壊に至る応力。

※6 破壊靱性

亀裂状の欠陥を有する材料において、外力が作用した際の亀裂進展に対する抵抗。

・スミボロン及びSUMIBORONは住友電気工業㈱の登録商標です。

参考文献

- (1) 原 他、「スミボロンBN200の性能」、住友電気第113号、161 (1978)
- (2) 後藤 他、「超高压焼結体工具の開発の歴史」、SEIテクニカルレビュー第188号、71 (2016)
- (3) 松川 他、立方晶型窒化硼素焼結体、特許公報 第4177845号
- (4) 中山、「機械的性質とセラミックス -14- (セラミックス基礎工学講座)、セラミックス、12、150 (1977)

執筆者

石井 顕人* : アドバンスドマテリアル研究所 主査
(工学博士)



道内 真人 : アドバンスドマテリアル研究所
グループ長



岡村 克己 : アドバンスドマテリアル研究所 部長



濱 久也 : 住友電気ハードメタル㈱



植田 暁彦 : 住友電気ハードメタル㈱ グループ長



久木野 暁 : 住友電気ハードメタル㈱ 取締役
部長



*主執筆者