

鋳鉄・焼結合金加工用スミボロン BN7100シリーズ

New Series SUMIBORON BN7100 for Cast Iron and Sintered Alloy

吉岡 雄太*

Yuta Yoshioka

石田 雄

Yu Ishida

松田 裕介

Yusuke Matsuda

久木野 暁

Satoru Kukino

川村 侑生

Yu Kawamura

石井 顕人

Akito Ishii

スミボロンCBN工具は、ダイヤモンドに次ぐ硬度と熱伝導率に加え、鉄系金属との反応性が低いcBN粒子を金属やセラミックの結合材で結合させた焼結体を用いた工具であり、高硬度で削りにくい焼入鋼加工や高精度加工が求められる鋳鉄・焼結合金加工の加工能率向上やコスト低減に貢献してきた。近年、自動車や建設機械等の重要な構成部品である鋳鉄・焼結合金部品の加工では部品の高精度化に伴う高い寸法精度と表面性状に加え、製造ラインの省人化に伴う安定長寿命と高能率化の需要が高まっている。今回これらの要求に応えるため、「BN7115」と「BN7125」を開発した。「BN7115」は耐チップング性を改善した仕上げ加工用新材種であり、高い加工面品位が求められる場合においても安定加工を実現する。「BN7125」は耐欠損性を改善した汎用加工用新材種であり、工具負荷が大きい環境下でも安定長寿命を実現する。本稿ではBN7115とBN7125の特長と性能について述べる。

The cubic boron nitride (CBN) cutting tool “SUMIBORON” is made of sintered cBN particles, which have high hardness and thermal conductivity next to diamond and low reactivity with ferrous metals, bonded with a metal and/or ceramic binder. It has contributed to the improvement of machining efficiency and cost reduction in processing hard-to-cut hardened steel, and in machining of cast iron and sintered alloy where high-precision machining is required. In recent years, the machining of cast iron and sintered alloy parts—key components in automotive and construction machinery—has seen increasing demand for stability, long tool life, and high efficiency. In addition to high dimensional accuracy and surface quality, there is also a growing need for manpower savings in production lines and the manufacturing of high-precision parts. In response to the demand, we have developed CBN cutting tools SUMIBORON BN7115 and BN7125. BN7115 is designed for finishing, offering improved chipping resistance for stable, high-quality surface machining, while BN7125 is designed for general-purpose use, with enhanced breakage resistance for stable, long tool life even under heavy cutting loads. This report describes the features and performance of BN7115 and BN7125.

キーワード：CBN焼結体、高精度、安定長寿命、鋳鉄、焼結合金

1. 緒 言

cBN（立方晶窒化硼素）は、ダイヤモンドに次ぐ高い硬度と熱伝導率を示し、鉄系金属との反応性が低いという特徴を有する。当社はこのcBNを特殊セラミック結合材で焼結させたCBN焼結体を用いたCBN焼結体工具（以下、CBN工具）「スミボロン」の開発を進め、従来研削加工が主体であった焼入鋼加工の切削化を促進した。さらに、鋳鉄や焼結合金等の鉄系材料でもcBN含有率が90体積%を超える高含有系CBN工具の適用により、中仕上げや仕上げ加工を中心に生産性の向上、及びコスト削減に貢献してきた。

鋳鉄加工で用いられる工具材種は超硬合金、セラミック、サーメットが主流であるが、エンジンプロックやオイルポンプの合わせ面加工などでは高精度かつ高速高能率加工が求められるため、高強度で高速切削が可能なCBN工具が使用される場合が多い。切削速度1000m/min前後の高速フライス加工の場合、刃先へ繰返し加わる熱衝撃による熱亀裂が起きやすく、特に前工程の冷却液が被削材表面に残存したような工程内では熱衝撃が大きくなり、熱亀裂による

突発欠損が問題となっている。

金属粉末を焼き固めて製造する焼結合金は、ニアネットシェイブ技術^{*1}により複雑で自由度の高い形状で成形することができ、さらに金属粉末組成や粒径、焼結密度などを制御し材料特性を自由に設計できるメリットから、自動車のトランスミッション部品や電動VVT（Variable Valve Timing）等の高能率な駆動システムへ多く採用されている。近年焼入れ時の寸法歪を抑制するため、これらの焼結合金に焼入れ性を改善するニッケルやモリブデンが添加されることが多く、難削化に伴う工具の短寿命化が問題となっている。

今回、当社はこれらの課題に対して高精度かつ安定長寿命のニーズに応えるべく、鋳鉄・焼結合金加工用途として仕上げ加工用「スミボロンBN7115」、及び汎用加工用「スミボロンBN7125」を開発した。本稿ではこれらBN7115、BN7125の特性、及び切削性能について紹介する。

2. 鋳鉄加工の課題

鋳鉄の高速高能率切削加工時、例えばFC300（パーライト^{*}素地組織）をvc = 900m/min以上の高速条件下で加工した場合、刃先の温度は1000℃以上に達する⁽¹⁾。フライス加工など断続を伴う加工では、**図1**に示すように空転時に工具表面が急冷された際に、工具内部で温度低下が追従せず、表面と内部に温度差が生じるため、刃先に熱膨張と収縮による引張応力が発生する。このような応力が繰返し集積することで**図2**に示すような刃先の亀裂（熱亀裂）が発生し、最終的には刃先が欠損し工具寿命へ至る。CBN焼結体の熱伝導率が高い程、刃先の熱が放出され刃先温度は抑制されるため、工具の性能向上には高热伝導率、及び高い高温硬度を有するcBNの含有率向上が求められる。また、熱応力は熱膨張係数が異なるcBNと結合材の界面に集積するため、結合材はcBNと熱膨張係数が近く、またCBN焼結体中に均一に分散させることが重要と考えられる。

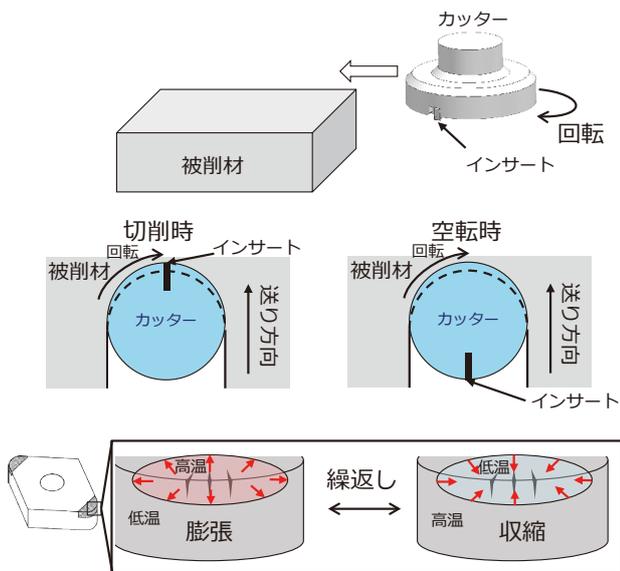


図1 フライス加工時の熱亀裂発生メカニズム

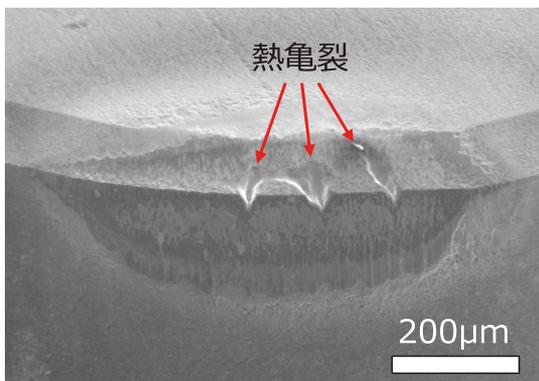


図2 鋳鉄高速フライス加工後の工具刃先写真

3. 焼結合金加工の課題

図3に焼結合金をCBN工具で加工した際の代表的な損傷を示す。逃げ面に凹凸のある筋状の摩耗が主損傷であり、**図4**にその摩耗メカニズムを示す。まず焼結合金中に含まれる高融点金属や炭化物等により低硬度の結合材が摩滅し、その擦過痕に被削材成分が凝着する。加工熱により凝着物と結合材が拡散、反応し結合材のみ溶出することでcBN粒子が浮き出たような状態となり、最終的にはcBN粒子が脱落することで摩耗が進展すると考えられる。つまり焼結合金加工で刃先の摩耗を抑制させるには、cBN粒子同士の間隔を向上させcBN粒子脱落を抑制することが求められる。

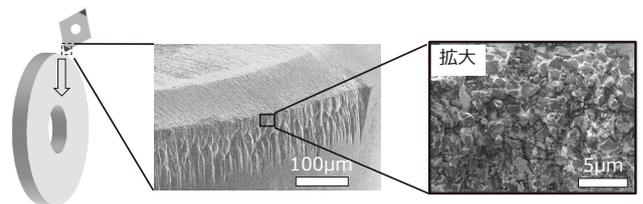


図3 焼結合金加工後の刃先の損傷形態

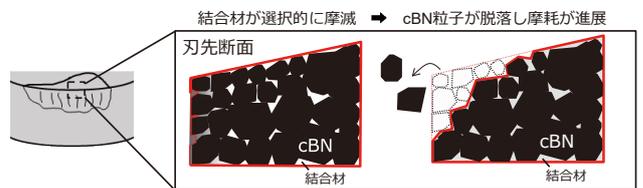


図4 焼結合金加工の摩耗メカニズム

4. BN7115とBN7125の特長

4-1 BN7115とBN7125の材料特性

表1にBN7115とBN7125の仕様と物理特性を従来材種BN7500、BN7000と共に示す。CBN焼結体の粒径、結合材組成は適宜調整することで用途に応じた耐欠損性、耐摩耗性を実現している。BN7115とBN7125は当社独自に開発した新結合材と超高压高温焼結技術によりcBNの含有

表1 BN7115とBN7125の仕様と物理特性

| 材種 | cBN | | 物性値 | | | |
|---------------|------------|----------|--------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| | 含有率 (vol%) | 粒径 (µm) | 硬度 (GPa) | 抗折力 (Gpa) | 破壊靱性値 (Mpa·m ^{1/2}) | 熱伝導率 (W/m·K) |
| BN7500 | 90 | 1 | 41-44 | 2.0-2.1 | 7-9 | 100-110 |
| BN7115 | 91 | 1 | 41-44 | 2.2-2.3 | 10-11 | 110-120 |
| BN7000 | 92 | 2 | 41-44 | 1.8-1.9 | 9-11 | 110-120 |
| BN7125 | 94 | 2 | 41-44 | 1.9-2.0 | 12-13 | 120-130 |

率、及びcBN粒子同士の結合力を飛躍的に向上させることに成功し、従来材種に対し抗折強度、破壊靱性、及び熱伝導率を向上させた。図5に従来材種とBN7125のCBN焼結体とそれらを酸処理によって結合材のみを除去し、cBN粒子のみで構成された状態の組織写真を示す。酸処理前の白色部分が結合材部分、黒色部分がcBN粒子であり、酸処理後は黒色部分が酸処理により結合材が溶出した空隙部分で、灰色部分がcBN粒子である。従来材種に対しBN7125は空隙が少なく、cBN粒子同士の結合面積が増加しており、cBNの含有率が向上していることがわかる。また、Crを含有した新結合材はcBNと熱膨張係数が近くなり、図6に示すように熱応力低減により耐熱亀裂性の大幅な向上を実現している。

BN7115はcBNの平均粒径が1μmの微粒cBNを使用した高強度かつ刃立性に優れた加工面品位重視の設計としており、BN7125はcBN平均粒径が2μmのcBNを使用し、高靱性かつ高熱伝導率を有した耐欠損性重視の設計としている。

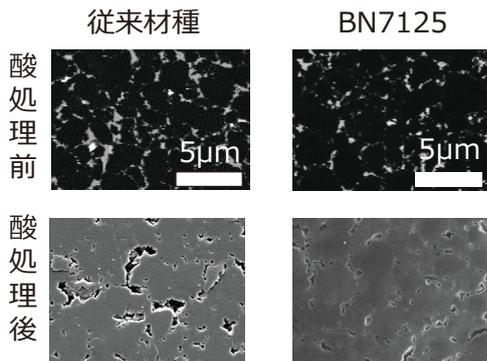


図5 酸処理前後のCBN焼結体組織

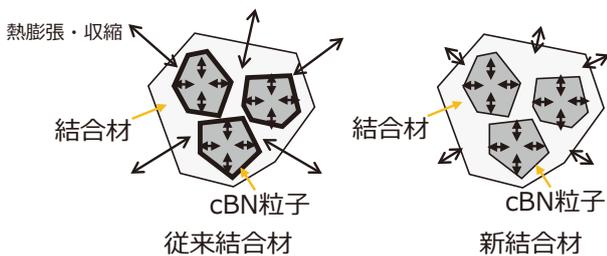


図6 新結合材による熱応力の低減

4-2 BN7115とBN7125の形状

BN7100シリーズは前述したCBN焼結体と最適化された刃先処理の組み合わせにより更にその性能を発揮する。図7にBN7115とBN7125の刃先断面形状と刃先処理を示す。BN7115では汎用性の高い「標準型」、切れ味重視タイプの「LF型」、面粗度重視タイプの「LE型」、及び「LS

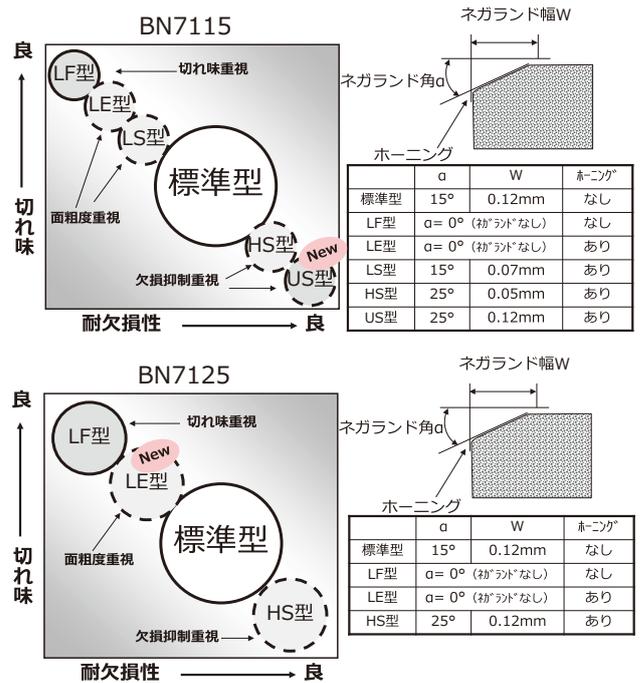


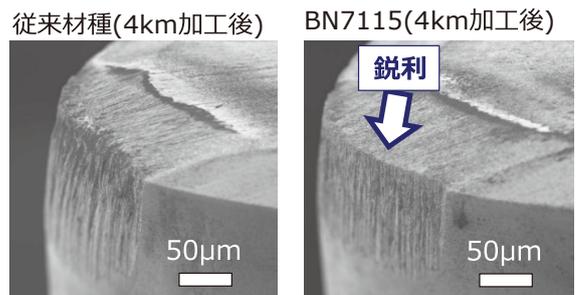
図7 BN7115とBN7125の刃先処理仕様

型」、欠損抑制重視タイプの「HS型」、及び「US型」の計6種類、BN7125では汎用性の高い「標準型」に加えて切れ味重視タイプの「LF型」、面粗度重視タイプの「LE型」、欠損抑制重視タイプの「HS型」の計4種類と従来材種から形状を拡充しており、被削性と部品形状が多岐にわたる鋳鉄、焼結合金加工に対応できるようなラインアップとしている。

5. BN7115とBN7125の切削性能

5-1 焼結合金高精度仕上げ加工評価 (BN7115)

図8に焼結合金端面加工時の従来材種とBN7115の刃先写真を示す。BN7115は従来材種に対しcBN粒子同士の結合力向上によりcBN粒子の脱落が抑制されており、刃先稜線が維持されていることがわかる。また、図9に焼結合金加



被削材: SMF4040
切削条件: vc200m/min, f0.1mm/rev, ap0.2mm, WET

図8 焼結合金加工後の従来材種とBN7115の刃先写真

工時の逃げ面摩耗量推移 (VBmax)、及び加工面粗度 (Ra) の従来材種との比較を示す。逃げ面摩耗量規格を100 μ mと設定した場合、寿命1.5倍、面粗度規格をRa0.7 μ mの場合、寿命1.4倍を達成した。

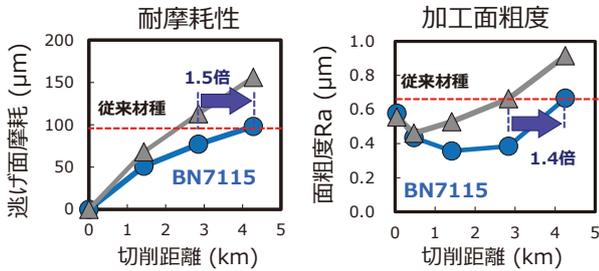


図9 BN7115の焼結合金加工性能

5-2 鋳鉄高速フライス加工評価 (BN7125)

図10に従来材種とBN7125のCBN焼結体をXeレーザフラッシュ法^{*3}にて測定した熱伝導率(室温)とビッカース高温硬度測定結果を示す。BN7125は高熱伝導率、及び優れた高温硬度を有するcBNの含有率向上とcBN粒子同士の結合力が強化されていることで従来材種に対し熱伝導率が10%、また、鋳鉄加工時に想定される刃先温度1000 $^{\circ}$ C時の高温硬度が6%向上している。

図11にFC250 (パーライト素地) の平板を切削速度1500m/min、刃当たり送り量0.13mm/t、切込み0.4mm

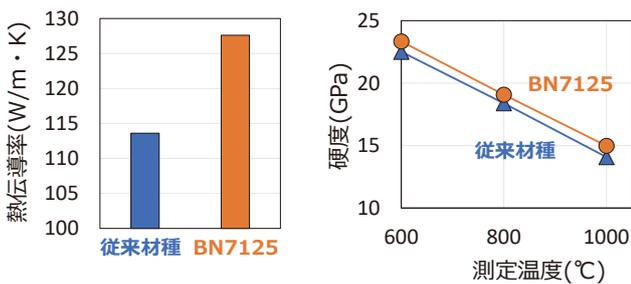


図10 従来材種とBN7125の熱伝導率と高温硬度

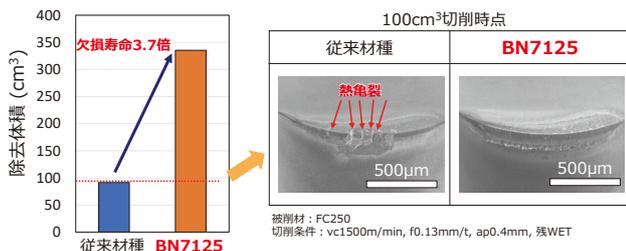


図11 BN7125の鋳鉄高速フライス加工性能

で被削材に切削液が残存させた状態(残WET)でのフライス加工評価結果を示す。BN7125は従来材種に対して除去体積同等時点で熱亀裂が抑制されており、熱伝導率、及び高温硬度向上により欠損寿命3.7倍の切削性能向上を確認した。

6. BN7115とBN7125の適用領域

図12に鋳鉄加工の材種適用領域マップを示す。高速仕上げ加工では優れた耐摩耗性と耐熱亀裂性を持つBN7125、切込み1mm以上の粗加工では切れ刃長の長いソリッドCBN材種のBNS8125が推奨となる。図13に焼結合金加工の材種適用領域マップを示す。加工面品位が求められる自動車用VVT部品、及びオイルポンプローター部品やVSR (Valve Seat Ring) のトラバース加工には刃立性に優れた仕上げ用途のBN7115が第一推奨となる。一方、VSRのプランジ加工や切込が0.3mmを超えるような刃先への負荷が

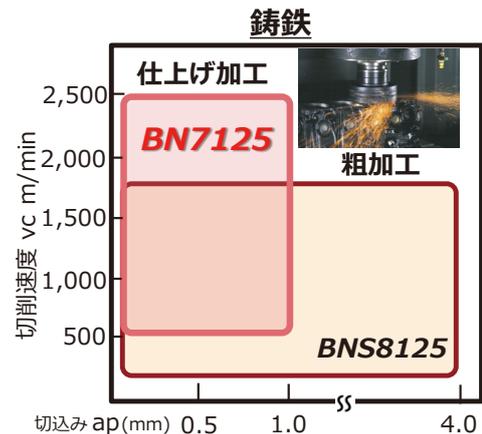


図12 CBN材種による鋳鉄加工の適用領域

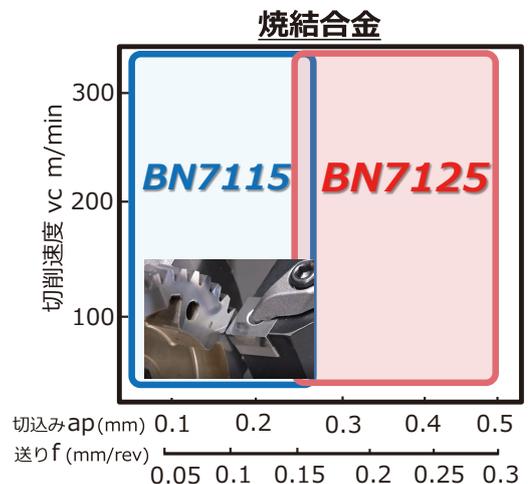


図13 CBN材種による焼結合金加工の適用領域

大きい粗加工領域では耐欠損性に優れたBN7125が推奨となる。また、HRC60前後の高硬度な焼入れ焼結合金の連続加工では、焼入鋼切削時に見られる熱的な摩耗が支配的となる場合があるため、焼入鋼用の工具材種が推奨される。

7. BN7115とBN7125の使用実例

図14～19にBN7115とBN7125の使用実例を示す。

図14は焼結合金外径、端面連続加工の事例である。

BN7115は従来材種に対し、面粗度、バリ高さ基準で寿命1.6倍を達成した。

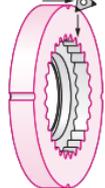
図15は焼結合金内径連続加工の事例である。BN7115は他社CBN材種に対し、面粗度寿命1.5倍を達成した。

図16は焼結合金端面断続加工の事例である。BN7115は他社CBN材種に対し安定した面粗度により、寿命2倍を実現した。

図17は鋳鉄旋削端面加工の事例である。BN7125は他社CBNに対し、安定した耐欠損性を発揮し、寿命1.7倍を達成した。

図18は焼結合金端面、内径連続加工の事例である。

鉄系焼結合金外径端面加工



被削材 : FLA-07C2M
 使用工具 : 3NU-TNGA160404HS
 加工条件 : $vc=180\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$,
 $ap=0.2\text{mm}$, WET
 寿命基準 : 面粗度、バリ高さ

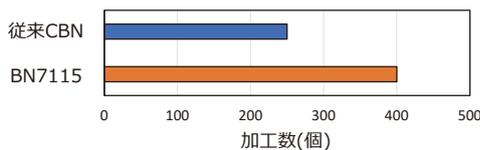
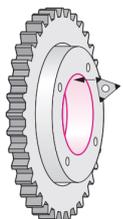


図14 BN7115の使用事例①

鉄系焼結合金内径加工



被削材 : FLA-07C2M
 使用工具 : 3NU-TNGA160404US
 加工条件 : $vc=200\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$
 $ap=0.1\text{mm}$, WET
 寿命基準 : 面粗度

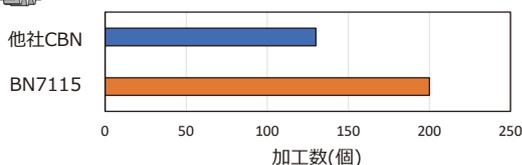


図15 BN7115の使用事例②

鉄系焼結合金端面加工



被削材 : F-08C2
 使用工具 : 2NU-CNGA120404US
 加工条件 : $vc=170\text{m/min}$, $f=0.08\text{mm/rev}$
 $ap=0.1\text{mm}$, WET
 寿命基準 : 面粗度

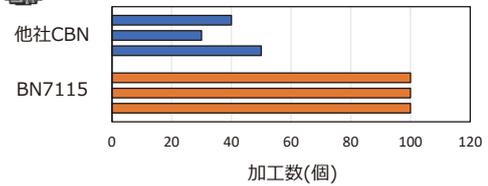
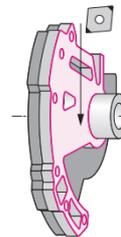
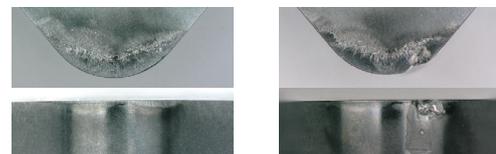
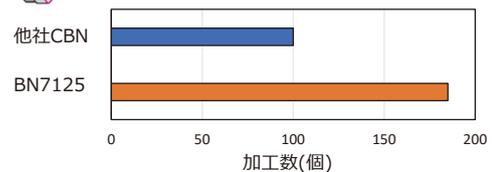


図16 BN7115の使用事例③

鋳鉄旋削仕上加工



被削材 : FC250
 使用工具 : 2NU-CNGA120408
 加工条件 : $vc=700\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/rev}$,
 $ap=0.5\text{mm}$, DRY
 寿命基準 : 加工品位

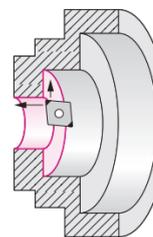


BN7125

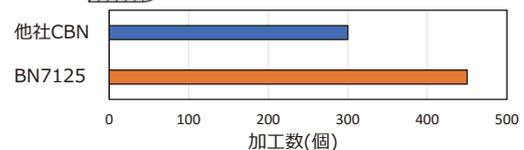
他社CBN

図17 BN7125の使用事例①

鉄系焼結合金内径端面加工



被削材 : F-08C2
 使用工具 : 2NU-CNGA120408
 加工条件 : $vc=170\text{m/min}$, $fz=0.2\text{mm/t}$,
 $ap=0.3\text{mm}$, WET
 寿命基準 : 面粗度



BN7125

他社CBN

図18 BN7125の使用事例②

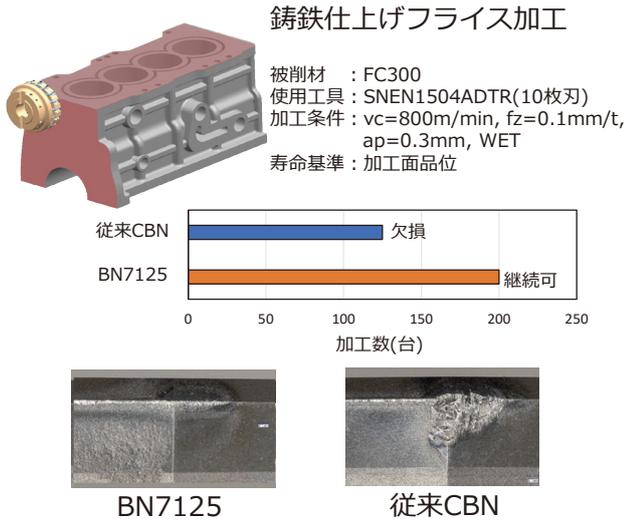


図19 BN7125の使用実例③

BN7125は他社CBNに対し優れた耐欠損性を発揮し、面粗度寿命1.5倍を達成した。

図19は鑄鉄高速転削加工の事例である。BN7125は従来CBN材種に対し優れた耐熱亀裂性を発揮し、安定加工面品を実現、寿命1.6倍以上を達成した。

8. 結 言

BN7115とBN7125により鑄鉄・焼結合金加工の加工面品位、及び加工能率の向上、そして工具寿命の延長が可能となった。BN7100シリーズはその優れた物理特性により鑄鉄・焼結合金のみならず難削材等の材料強度が必要とされるアプリケーションにも適用できる。今後もBN7100シリーズが拡大することで生産性の向上や製造コスト削減に貢献できるものと期待される。

用語集

※1 ニアネットシェイプ技術

機械加工や電気加工などの工程削減を狙い、最終製品に近い形状を得る成形法。

※2 パーライト

鋼の組織の一種で、炭素が0.77wt% 溶け込んだ鉄を高温領域から温度727℃以下へと徐冷した時に生ずる共析組織。

※3 Xeレーザーフラッシュ法

断熱真空中に置かれた平板状試料の表面をXeレーザーで均一にパルス加熱し、表面から裏面への熱拡散現象を観測することにより、熱拡散率を求める手法。

・スミポロン及びSUMIBORONは住友電気工業(株)の登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 新谷一博、加藤秀治、杉田博昭、鈴木直彦、「ねずみ鑄鉄の高速加工条件下におけるcBN工具の長寿命化機構」
- (2) 大田、「焼結合金・鑄鉄加工用スミポロン® BN700の開発」、SEIテクニカルレビュー第165号、81 (2004)
- (3) 松田、「鑄鉄・焼結合金加工用スミポロン® BN7000の開発」、SEIテクニカルレビュー第181号、8 (2012)
- (4) 石井、「焼結合金・鑄鉄仕上げ加工用スミポロンBN7115」、住友電工テクニカルレビュー第198号、9 (2021)

執 筆 者

吉岡 雄太* : 住友電工ハードメタル(株)



石田 雄 : 住友電工ハードメタル(株) 主席



松田 裕介 : 住友電工ハードメタル(株) グループ長



久木野 暁 : 住友電工ハードメタル(株) 常務取締役



川村 侑生 : アドバンストマテリアル研究所



石井 顕人 : アドバンストマテリアル研究所 グループ長



*主執筆者