



焼入鋼高能率加工用コーテッドスミボロン BNC2100シリーズ

Coated SUMIBORON BNC2100 Series for High-efficiency Machining of Hardened Steel

堤内 勇貴*
Yuki Tsutsumiuchi

朝川 佳紀
Yoshiki Asakawa

佐近 亮輔
Ryosuke Sakon

諸口 浩也
Hironari Moroguchi

松田 裕介
Yusuke Matsuda

久木野 暁
Satoru Kukino

スミボロンCBN工具は、cBN粒子にセラミックス若しくは金属結合材を混合して焼き固めたCBN焼結体を用いた切削工具である。中でもコーテッドスミボロンは、自動車部品などの素材である焼入鋼を加工する工具材料として適用範囲を拡大してきた。近年の製造現場では、部品加工の多様化に伴う変種変量生産体制や環境対応の重要性から設備の消費電力低減によるCO₂排出量削減、価格競争に対応するために生産ラインの省人化を構築する傾向にあり、切削工具には高能率化と長寿命化の強い要求がある。様々な部品形状におけるこれらの要求に応えるため、当社はBNC2100シリーズと題した「BNC2105」「BNC2115」「BNC2125」「BNC2135」の4材種を新たに製品化した。

SUMIBORON is a cutting tool that utilizes cubic boron nitride (CBN) sintered bodies composed of CBN particles bonded with ceramic or metal materials. Specifically, coated SUMIBORON has expanded application range as hardened steel cutting tools for automotive parts. Recently, manufacturing sites are conscious of variable-mix, variable-volume production with the diversification of parts and the importance of the environment. They have shown two trends: reducing CO₂ emission by lowering equipment power consumption and establishing automation product lines to address price competition. Cutting tools need higher efficiency and longer tool life. We developed four new grades in the BNC 2100 series - BNC2105, BNC2115, BNC2125, and BNC2135 - to respond to customer requests.

キーワード：CBN、PVDコーティング、焼入鋼、高能率

1. 緒言

CBN^{*1}（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を特殊セラミックス結合材で結合させたCBN焼結体を世界で初めて開発し、1977年に焼入鋼を加工する切削工具としてCBN工具スミボロンを製品化した。さらに2000年にはCBN工具にPVD^{*2}コーティング技術を用いて耐熱性の高いセラミックコートを被覆し、耐摩耗性を大幅に改善したコーテッドスミボロンを製品化した。CBN工具による焼入鋼の切削加工では、研削加工と比較して加工の自由度や能率、加工精度で優位性があり、またセラミックス工具と比較して加工変質層（白層）が生成されにくい事例が報告されており、従来研削加工されていた自動車のジョイント部品や軸受部品などの摺動面、転動面の切削化が進んできた。コーテッドスミボロンはスミボロンに対し、さらなる高精度化、高能率化を実現することができ切削加工を大きく後押しし、生産性向上とコスト低減に貢献してきた。

近年のものづくり産業界では、カーボンニュートラル実現のためGX（Green transformation）が注目されている。焼入鋼部品を多く使用する自動車ではICE（internal combustion engine）車から電動化が加速し、電力では化

石燃料依存から風力発電など再生可能エネルギーへの移行が急速に進んでいる。この市場の変化により、焼入鋼加工に対する要求が変わりつつある。自動車では、次々と製造レイアウトが見直されており、従来のICE車の部品生産ラインは集約され、新たに電動車の部品を生産するラインを立ち上げている。ICE車は減少傾向にあるものの依然として需要があるため変種変量かつ高い生産能力が求められ、部品の加工時間短縮の要求が高い。一方、電動車ではコスト競争が激化し、ICE車よりも搭載数が少ない部品をいかに安価に製造するかを求められ、設備投資や工具費を削減する目的で工程集約や省人化が検討されている。風力発電では機体を構成する部品のサイズが大きいため、部品1個の加工時間を短縮することによる生産性向上の要望が多い。また、部品の摺動面の加工変質層や圧縮応力は風力発電機の運用の信頼性に関わるため、工具の使用壽命まで切れ刃を安定させることが要求される。

またカーボンニュートラル実現の観点から、いずれの生産現場においても部品生産時のCO₂排出量削減は共通課題であり、生産設備の消費電力削減が要求されている。これらの要求に応えるべく、従来のコーテッドスミボロンシリーズを大幅に上回る高能率化と安定長寿命を実現するコーテッドスミボロンBNC2100シリーズとして「BNC2105」

「BNC2115」「BNC2125」「BNC2135」の4材種を開発した。以下にそれらの特長および切削性能について報告する。

2. 焼入鋼加工の課題

コーテッドCBN工具は図1に示すように、硬度・破壊靱性に優れるCBN焼結体の表面に耐熱性・耐酸化性に優れるセラミックコーティングを施すことで、切削温度が高い焼入鋼加工においても長寿命を実現できる。一方でセラミックコーティングはCBN焼結体に対して硬度・破壊靱性が低く、機械的な負荷を受けると機械的な摩耗や剥離を生じる場合がある。焼入鋼部品はその製造過程で成形、熱処理を施され、必要な形状や耐久性を付与されるが、製造ロット間や製造ロット内の表面状態（硬度、組織、応力状態等）のバラつきが生じる場合があり、さらに加工に用いられる旋盤やホルダー、チャック等ツーリング全体の剛性も焼入鋼加工において十分でない場合がある。焼入鋼の高効率加工では刃先への負荷が高くなるため、前記の影響が増幅され、突発的な欠損が発生し、工具寿命のバラつきが大きくなる。その結果、不定期に工具を交換する必要があり、有人加工を余儀なくされたり欠損が発生しない短い工具寿命で定数交換するため、生産性が悪く、部品の加工コストを削減できないことが問題であった。

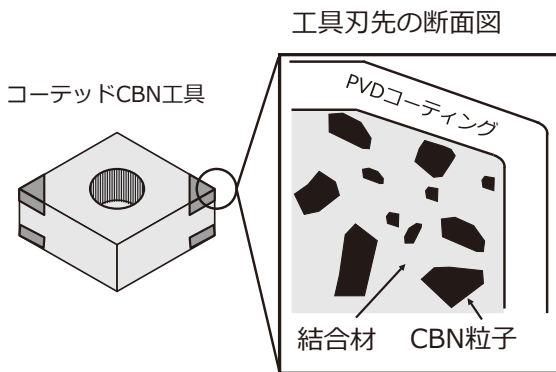


図1 コーテッドCBN工具の構造

図2に焼入鋼加工の加工部位の断続割合と加工速度別の主な工具損傷形態と当社推奨材種を示す。BNC2105は連続加工の中で低送りかつ高速条件で発生する工具の逃げ面の摩耗に対し効果を発揮する。BNC2115は連続から弱断続加工での低送り条件や高速条件において発生する前境界部の摩耗とクレーター摩耗抑制に有効である。BNC2125は連続から弱断続加工での高送り条件と高速条件での横境界部の摩耗とクレーター摩耗進展により発生する欠損を抑制できる。BNC2135は強断続加工において突発的に発生する前境界部の欠損抑制に効果的である。

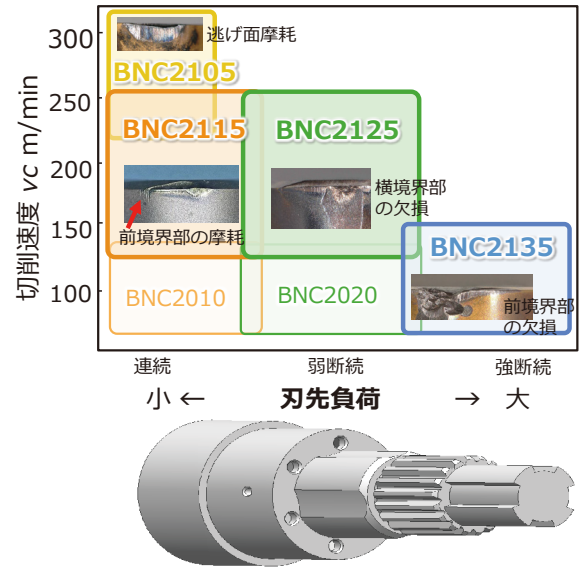


図2 焼入鋼加工における加工部位の断続割合と損傷形態

3. BNC2100シリーズの特長と切削性能

BNC2100シリーズ4種は、いずれも焼入鋼加工におけるそれぞれの使用用途に応じて最適化した新開発のCBN焼結体とPVDコーティングである。表1にBNC2100シリーズおよび従来材種の仕様を示す。

表1 BNC2100シリーズの仕様

| 材種 | CBN焼結体 | | | PVDコーティング | |
|---------|------------|-----------------|------|-------------|---------|
| | CBN含有率 (%) | 主なcBN粒子の粒径 (μm) | 結合材 | 膜種 | 膜厚 (μm) |
| BNC2105 | 45-50 | 3 | TiCN | TiAlBN超多層 | 3 |
| BNC2115 | 60-65 | 3 | TiN | TiAlSiN超多層 | 3 |
| BNC2010 | 50-55 | 2 | TiCN | TiCN多層 | 2 |
| BNC2125 | 65-70 | 4 | TiN | TiAlBN超多層 | 3 |
| BNC2020 | 70-75 | 5 | TiN | TiAlN多層 | 2 |
| BNC2135 | 60-65 | 1 | TiN | TiAlN/AlCrN | 1 |
| BNC300 | 60-65 | 1 | TiN | TiAlN | 1 |

3-1 BNC2105

BNC2105の適用領域の加工では、高い寸法精度の維持が求められており、低送りの仕上げ条件が多く、能率を高めるために加工条件が高速化される。その結果、長い切削距離を加工する間、刃先は高い切削温度に晒され続けることで工具の逃げ面の摩耗が大きく進展し、加工物との接触面積が増加することで切削抵抗が高くなり、加工数が増加すると仕上寸法が徐々に悪化する。図3にBNC2105の刃先断面を示す。CBN焼結体には耐熱性に優れるTiCN結合材と高い熱伝導率を持つ粗粒のcBN粒子を組み合わせ、

コーティングは耐熱性に優れるTiAlBN超多層構造を新たに開発。ナノメートルオーダーに結晶粒を微細化させることで、逃げ面摩耗の抑制に加え、加工初期のチッピングを低減することで寸法の安定性向上に成功した。図4に浸炭材SCM415H (HRC58-61) の連続切削評価を行った結果を示す。BNC2105は切削速度 $V_c = 250\text{m/min}$ と従来材種よりも1.6倍以上高速条件であっても従来材種と同程度の逃げ面摩耗を維持することができ、高速加工に最適である。

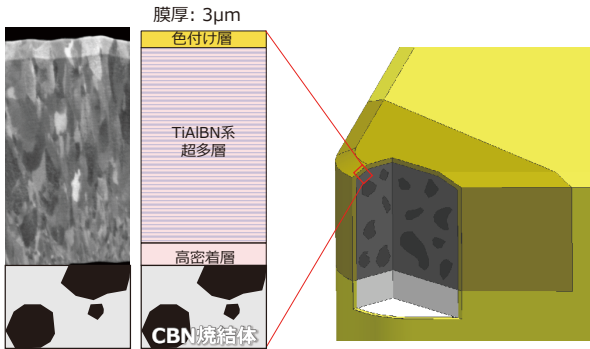


図3 BNC2105の刃先断面

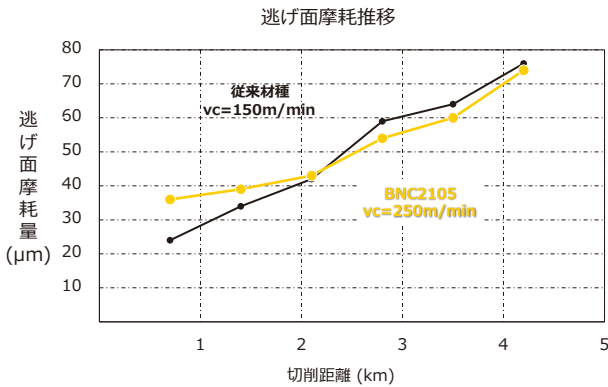


図4 BNC2105の浸炭材連続切削評価

3-2 BNC2115

高精度加工が求められる領域の中で、高い面品位（面粗さ $Rz \approx 3.2\mu\text{m}$ 以下）が要求される加工部品に対してはBNC2115を推奨する。旋削加工において面粗さは図5に示すように境界摩耗が加工面に転写されることで悪化するから、境界摩耗の抑制が長寿命化のポイントとなる。境界摩耗は高硬度部を加工する際に発生する機械的な擦過摩耗による進展と、熱的な反応摩耗によるクレーター摩耗が境界部と繋がり進展する2種類の損傷モードがあり、両方の損傷を抑制する必要がある。図6にBNC2115の工具断面図を示す。CBN焼結体には機械的な擦過摩耗抑制を目的とした高強度TiN結合材を採用し、コーティングにはクレー

ター摩耗を抑制する耐熱性の高いTiCNと機械的摩耗に有効な高強度TiAlSiN超多層を交互に配置することで境界摩耗の進展を遅延させ、良好な面粗さを長時間維持することに成功した。

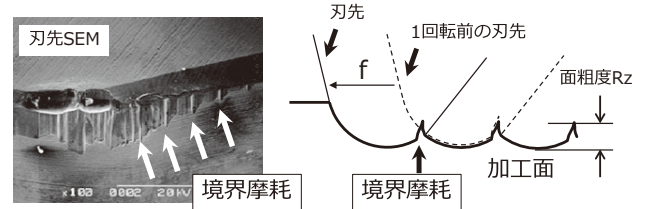


図5 旋削加工における境界摩耗と面粗さの関係

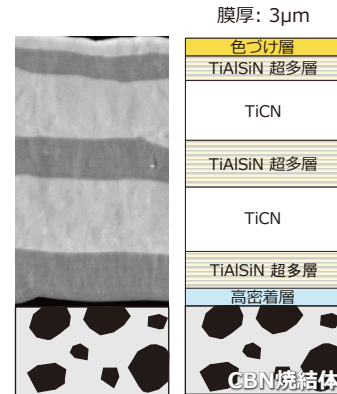
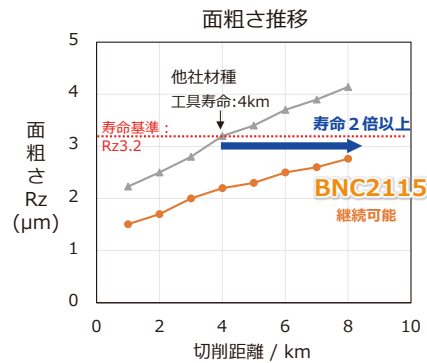


図6 BNC2115の刃先断面



被削材 : SCM415 (HRC 58~61)
 使用工具 : 4NC-CNGA120408
 切削条件 : $v_c = 200\text{m/min}$, $f = 0.10\text{mm/rev}$, $a_p = 0.15\text{mm}$, Wet

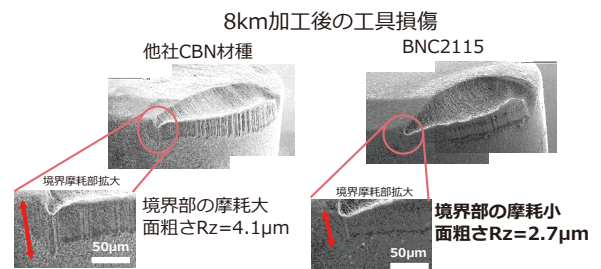


図7 BNC2115の浸炭材連続切削評価

図7に浸炭材SCM415H (HRC58-61) の連続切削評価を行った結果を示す。BNC2115は他社CBN材種に対し、境界摩耗が抑制されRz = 3.2μmの面粗度規格において2倍以上寿命延長できることを確認した。

3-3 BNC2125

BNC2125は汎用加工用材種として、加工部品に連続部や断続部が混在するような加工環境においても従来材種よりも高能率な加工条件で安定長寿命を実現できる。図8にBNC2125の工具断面図を示す。汎用加工用材種には、高負荷加工において突発的に発生する欠損に対して有効な工具性能が求められ、CBN焼結体には高強度TiN結合材と微粗粒混在CBN粒子を適用し、コーティングには耐熱性、耐チッピング性に優れた微細組織を持つTiAlBN超多層を採用した。

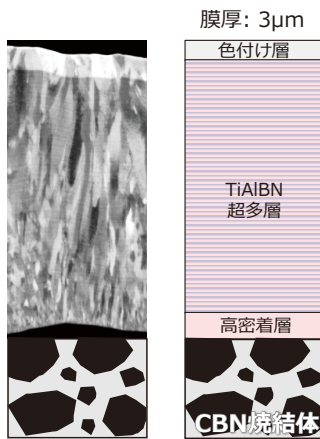


図8 BNC2125の刃先断面

図9に焼入鋼材料の中でも熱的、機械的摩耗が特に進展しやすい軸受鋼SUJ2 (HRC58-61) の連続切削評価と、高負荷切削評価を行った結果を示す。BNC2125は従来材種に対して逃げ面摩耗を抑制しつつ、高負荷加工においても工具の欠損寿命を安定化させることに成功した。

3-4 BNC2135

断続部が多い部品に対して有効なCBN材種BNC2135を2025年1月に発売開始した。断続部が多い加工では、高硬度な加工物へ刃先が何度も衝突することによりCBN焼結体とコーティングそれぞれに亀裂が発生、欠損に至ることが特徴である。図10にBNC2135の工具断面図を示す。CBN焼結体には微細TiN結合材とCBN粒子の分散性向上を図ることで高強度化と亀裂発生の起点を減らすことに成功し、コーティングには耐摩耗性と耐欠損性のバランスに優れたTiAlNとAlCrNを組み合わせ、新成膜手法の適用により平滑かつ緻密な結晶組織を獲得した。これによりBNC2135は亀裂発生に伴う欠損に対し有効な材種となった。

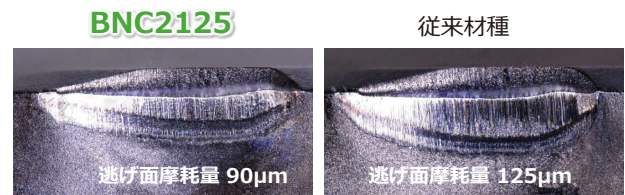
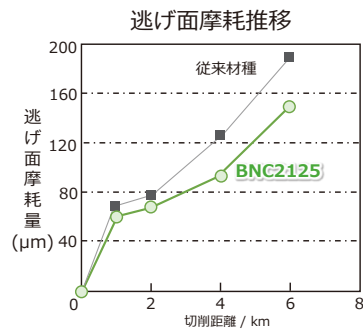
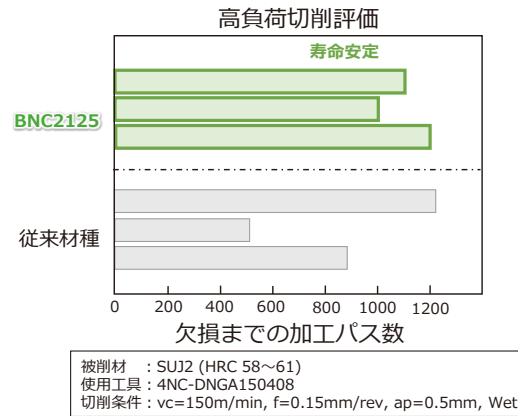


図9 BNC2125の軸受鋼SUJ2の切削評価

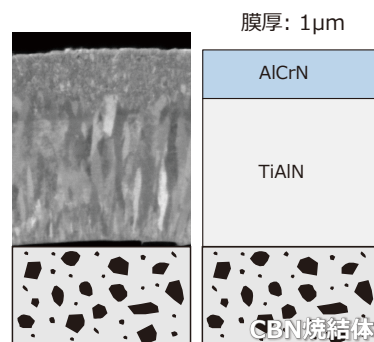


図10 BNC2135の刃先断面

図11に断続度の高い加工を再現した浸炭材SCM415H (HRC58-61) での断続切削評価を行った結果を示す。

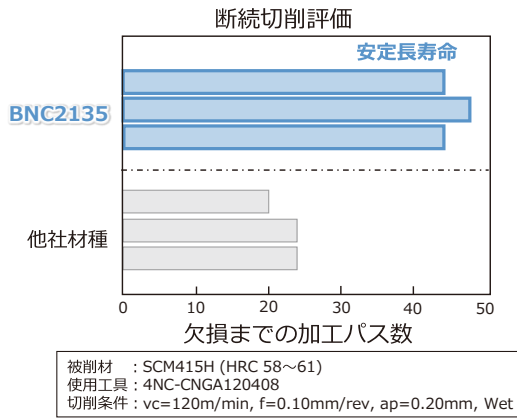


図11 BNC2135の浸炭材断続切削評価

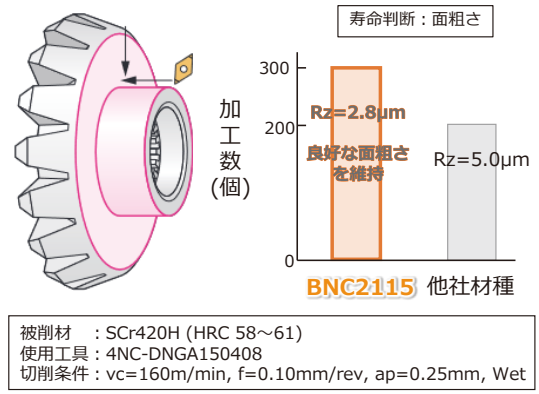


図13 BNC2115の加工事例

BNC2135は他社CBN材種に対し、1.5倍長寿命を安定して達成している。

4. BNC2100シリーズの加工事例

4-1 ユーザーでの加工事例

BNC2100シリーズを用いた加工事例を示す。

図12は薄肉リングギヤ部品におけるBNC2105の事例である。他社品は200個で逃げ面の摩耗とチッピングの進展により寸法規格を超えたのに対し、BNC2105は2倍の400個寿命を達成した。

図13は面粗さ規格が厳しいサイドギヤ部品におけるBNC2115の事例である。他社品は250個で面粗さ規格超えに至った一方でBNC2115は300個加工後も良好な面粗

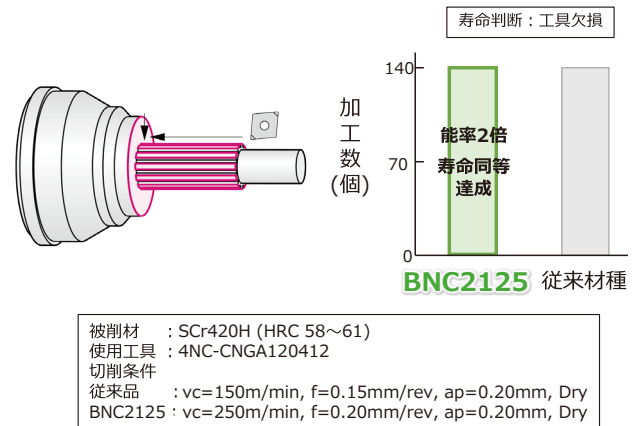


図14 BNC2125の加工事例

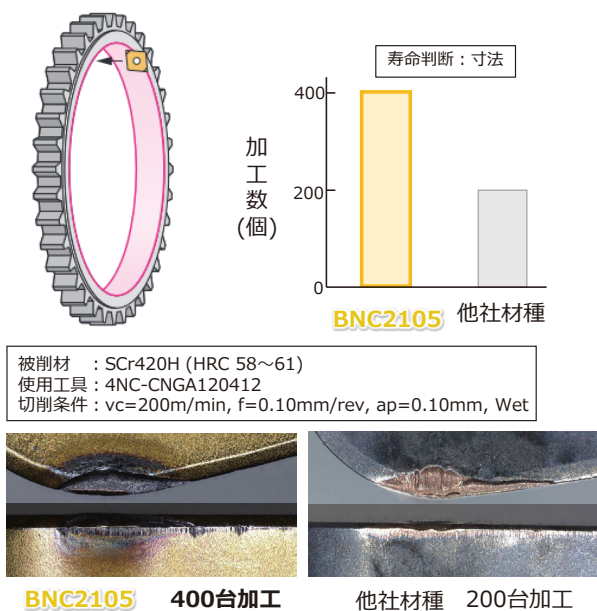


図12 BNC2105の加工事例

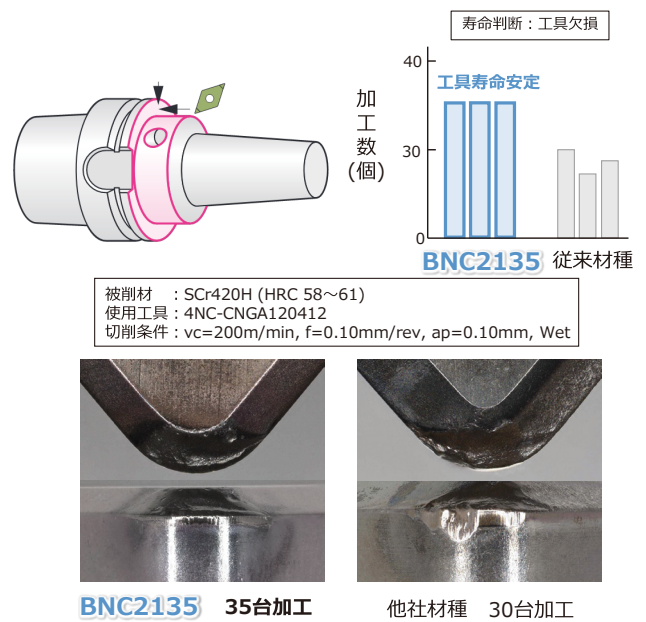


図15 BNC2135の加工事例

さを維持し、更なる寿命延長が可能であることを示した。

図14は端面が連続部、外径が断続部を持つCVJ部品におけるBNC2125の事例である。BNC2125は周速と送り上げて加工能率を2倍にした切削条件においても従来材種と同数加工を達成することができた。

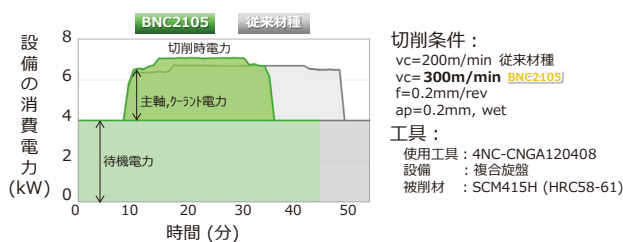
図15は端面と外径それぞれに断続溝を持つチャック部品におけるBNC2135の事例である。他社品は30個定数に対して突発欠損により寿命が不安定であったが、BNC2135は35個加工後も刃先に欠損はなく工具寿命が安定した。

4-2 高能率加工によるGXの実現

当社で検証したBNC2100シリーズを用いた高能率加工による設備の消費電力低減によるCO₂排出量削減の一例を紹介する。設備の消費電力は待機電力と主軸、クーラント電力、切削時電力に大きく分類することができる。焼入鋼旋削加工における切削時電力は他電力と比較し低いため、高能率条件に変更し切削時間を短縮することで設備の消費電力を低減することができる。

図16はBNC2105を用いた浸炭材SCM415H (HRC58-61) における高速化による事例である。

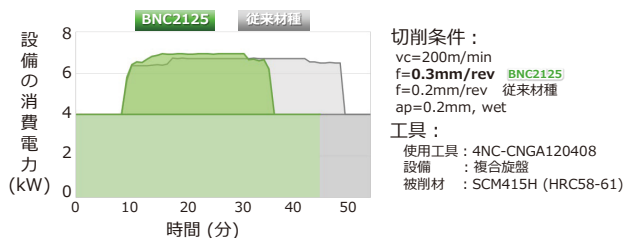
図17はBNC2125を用いた浸炭材SCM415H (HRC58-61) における高送り化による事例である。



1.5倍の高速加工により、加工時間2/3短縮 電力量約30%削減、CO₂排出量約2.1kg削減

当社保有設備にて電力測定を実施。
200台加工時の排出量を示す。電力→CO₂換算方法は
経済産業省が公表する全国平均係数0.000433
(t-CO₂/kWh)を参照

図16 BNC2105の高速化の加工事例



1.5倍の高送り加工により、加工時間2/3短縮 電力量約40%削減、CO₂排出量約2.8kg削減

図17 BNC2125の高送り化の加工事例

8. 結 言

BNC2100シリーズ4種は様々な加工部品に対して有効なCBN焼結体とコーティングを適用したことによって工具寿命延長や加工能率向上が可能となった。また、加工能率の向上により生産設備の稼働電力を減らし、CO₂排出量を削減することにも寄与できる。今後、BNC2100シリーズの拡販により、一層の生産性向上や製造コスト削減、カーボンニュートラル実現に貢献できるものと期待される。

用語集

※1 CBN

cubic boron nitride：ダイヤモンドと同じ結晶構造を有する人工物質で、ダイヤモンドに次ぐ硬度・熱伝導率を示し、鉄系金属との反応性が低い。

※2 PVD

physical vapor deposition：物理反応を利用した薄膜を形成する蒸着法の一つ。

※3 Rz

十点平均粗さ。面粗さ規格の一種で、単位はμm。

・スミボロン及びSUMIBORONは住友電気工業(株)の登録商標です。

参考文献

- 岡村 他、「焼入鋼高能率加工用コーテッドスミボロン® 新『BNC200』の開発」、SEIテクニカルレビュー第174号、pp.13- (2009)
- 松田 他、「安定長寿命を実現した焼入鋼加工用コーテッドスミボロン® BNC2010/BNC2020」、SEIテクニカルレビュー第186号、pp.79- (2015)
- Matsumoto et al., Surface Integrity Generated by Precision Hard Turning, CIRP Annals vol.48 (1999)

執 筆 者

堤内 勇貴* : 住友電工ハードメタル㈱ 主査



朝川 佳紀 : 住友電工ハードメタル㈱



佐近 亮輔 : 住友電工ハードメタル㈱ 主査



諸口 浩也 : ハードメタル事業部 主席



松田 裕介 : 住友電工ハードメタル㈱ グループ長



久木野 暁 : 住友電工ハードメタル㈱ 常務取締役



*主執筆者