



鑄鉄旋削加工用工具 AC420KとBNC500の開発

岡田吉生*・Anongsack Paseuth・松田裕介
岡村克己・深谷朋弘

Development of “ACE-COAT® AC420K” Coated Carbide and “SUMIBORON® BNC500” Coated PcBN for Cast Iron Turning — by Yoshio Okada, Anongsack Paseuth, Yusuke Matsuda, Katsumi Okamura and Tomohiro Fukaya —
Cast iron is widely used in various products for daily applications and industrial machine components. In the automotive industry, growing global awareness on environmental issues has required the improvement of fuel efficiency. Accordingly, the ratio of the automotive parts made of ductile cast iron is increasing for weight saving. However, while superior in tensile strength, ductile cast iron parts are inferior in machinability to those of gray cast iron. This is leading to increasing demand for improved productivity, cost reduction and higher precision in ductile cast iron machining including roughing and finishing. To satisfy the market demand, the authors have developed “ACE-COAT® AC420K” for ductile cast iron roughing and “SUMIBORON® BNC500” for finishing. The features and cutting performance of these products are described in this paper.

Keywords: cast iron turning, CVD, PcBN, ductile cast iron

1. 緒言

切削加工に用いられる刃先交換型チップ（以下、チップと略する）は、超硬合金、サーメット、セラミックス、CBN^{*1}焼結体、ダイヤモンド焼結体とこれら基材の表面に硬質セラミックスコーティング膜を被覆したコーティド超硬、コーティドサーメット、コーティドセラミックス、コーティドCBNが使われている。図1は切削工具材料の種類と位置づけを示したものである。特にコーティド超硬は耐摩耗性と耐欠損性のバランスに優れることから、汎用的な加工用途に広く使われ日本でのチップの生産個数の約70%を占める材種となっている。

また、サーメット、コーティドサーメット、CBN焼結体、コーティドCBNは仕上げ加工用途に使われ、特に高い硬度と優れた耐熱性を示すCBN焼結体に硬質セラミックスコーティング膜を被覆したコーティドCBNは、従来のCBN焼結体を越える長寿命と仕上げ加工精度が得られる優れた材種となっている。これら刃先交換型チップはすべての被削材を加工できるわけではなく、被削材別に工具材種を使い分けている。

被削材のうち鑄鉄は、日用品から機械部品など様々な工業製品に用いられている。近年、地球環境への配慮から各部品の薄肉・軽量化を目的として、従来のねずみ鑄鉄（普通鑄鉄）に代わり、より強度が高く被削性の悪い球状黒鉛鑄鉄（ダクタイル鑄鉄）など、鑄鉄被削材の難削化が進んでいる。また、複雑な形状における断続加工、鑄込み肌のまま加工する粗加工、仕上げ加工の高速化・高精度化など、工具の使用環境が厳しくなっており、工具の長寿命化および高信頼性への要求がますます強くなってきている。

このような市場のニーズに応えるために、ダクタイル鑄鉄加工の粗加工用コーティド超硬「エースコート®AC420K」と、仕上げ加工用コーティドCBN「コーティドスミボロン®BNC500」を開発したので、その開発経緯および工具性能について述べる。



図1 切削工具材料の種類と位置づけ

2. 市場の動向と鑄鉄の被削性

鑄物は成形性および加工性のよさから、18世紀なかばに起きたイギリス産業革命以降、多彩な工業製品に用いられている。特に機械部品の中で、自動車用のシリンダブロッ

ク、クランクシャフト、カムシャフト、エキゾーストマニホールド、オイルポンプハウジング、ブレーキロータなど形状が複雑で、耐摩耗性、制振性、耐熱性、熱伝導性が要求される部品に鋳鉄が使われる。これは、砂や金属で作った型の中に、溶かした金属を注ぎ込んで複雑な形状でも自由自在に作るができるからである。また、鋳鉄は鉄と黒鉛の複合材料で、硬さと粘り強さを兼ね備えた材料であり、特に黒鉛が振動を抑えたり、潤滑剤の役目をはたして摩耗を防いだり、熱・腐食にも強い性質を有するからである。図2⁽¹⁾は、主要な世界各国の全鋳造品生産量の推移を示している。各国で推移の増減はあるもののリーマンショック以前の2007年までは確実に生産量を伸ばしている。

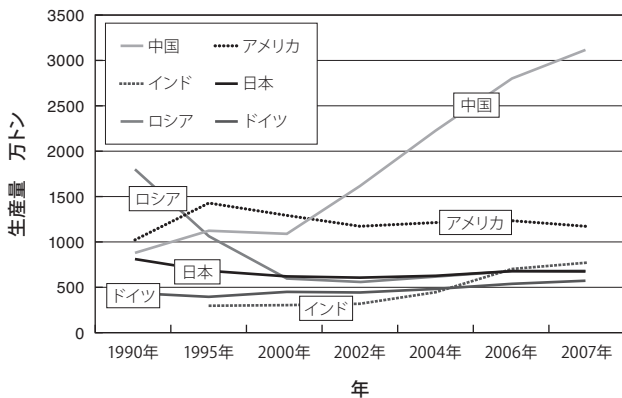


図2 世界主要国の全鋳造品生産量の推移⁽¹⁾

一般的に鋳鉄は、その特徴である黒鉛が脆いために引張強度が低く、被削性は鋼製品よりも良いとされる。しかし、鋳込み方法によっては表面がチル化したり、湯口残り、バリ、あるいは砂噛みが発生することがあるため、一様に被削性が良いとはいえない。また、部品の軽量化や生産性向上のため、部品の薄肉化や鋳型の多数個取り化が進んでお

り、強度が低く、被削性の良いねずみ鋳鉄から、強度が高く被削性の悪いダクタイル鋳鉄や合金鋳鉄などへ置換えが進んでいる。これらねずみ鋳鉄とダクタイル鋳鉄では黒鉛の状態が異なり、図3に示すように切り屑の生成も異なる。ねずみ鋳鉄の組織は片状黒鉛のため、被削材は刃先先端で微小破壊を起こしながら切削されていく。一方黒鉛が球状になるダクタイル鋳鉄は、組織が破壊されにくく、引張強度が高いため切り屑が伸びやすい、また組織によっては、切れ刃に激しい溶着を起こし、それに加え鋳物の特性である微小硬質粒子が切れ刃を擦過して加速度的に切れ刃が損傷する。

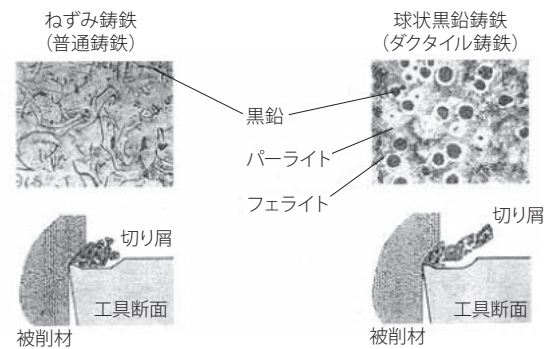


図3 鋳鉄の組織と切り屑模式図

図4は被削材別の工具損傷形態の事例を示す。ねずみ鋳鉄加工はすくい面損傷が小さく、逃げ面の損傷が大きくなる。また、鋼加工は切り屑が連続的に排出され、すくい面損傷が大きく、逃げ面の摩耗が小さい損傷となる。ダクタイル鋳鉄の加工はこの2つの損傷形態を含んでおり、より被削性が悪くなる。

表1に代表的な鋳鉄の特徴・被削率を示す。

表1 代表的な鋳鉄の組織とその被削性

	材料記号	被削率 ^{※3}		組織	備考
普通鋳鉄 (ねずみ鋳鉄)	FC150	70	↑ 削りやすい ↓ 削りにくい		片状黒鉛により切粉は粉々に粉碎されるので比較的削りやすい。
	FC200	70			
	FC250	65			
	FC300	65			
	FC350	60			
球状黒鉛鋳鉄 (ダクタイル鋳鉄)	FCD450	55			球状黒鉛の影響で強度が高く削りにくい。工具への負担が高い。
	FCD500	55			
	FCD550	50			
	FCD600	50			
	FCD700	45			
パーミキュラ鋳鉄 (CV鋳鉄)	FCV350	60		FC250とFCD450の中間的な性質を示す。溶着しやすい。	
黒芯可鍛鋳鉄	FCMB35	110		比較的削りやすい。	
オーステナイト鋳鉄	FCA	50		Ni、Crが多く削りにくい(耐熱性)。	

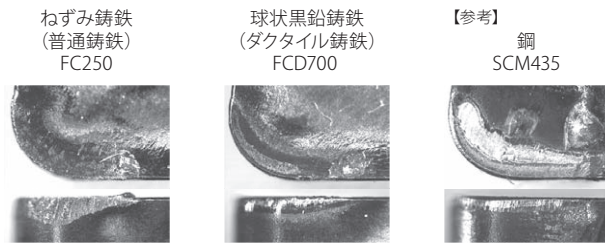


図4 鋳鉄の工具刃先損傷事例

3. コーティド超硬とコーティドCBNの要求特性と特徴

3-1 コーティド超硬「AC420K」の要求特性 強度が高く被削性の悪いダクタイル鋳鉄の加工は、バリ・砂噛み・表面組織のチル化など鋳込み肌の表面（以下、黒皮と略する）を加工する粗加工では、図5に示すように工具刃先に溶着・微小チップングが発生し、突発的な欠損が発生しやすくなる。また鋳物の特徴である複雑な被削材形状での断続加工が加わると、更にチップング損傷が助長されて、寿命が不安定となり工具管理が難しくなる。

これら黒皮と断続の粗加工において、チップへの信頼性と長寿命化が要求される。

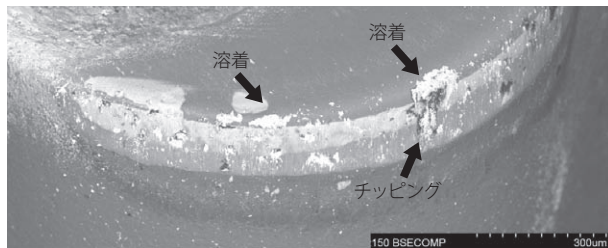


図5 FCD加工におけるコーティド超硬の初期刃先損傷

3-2 コーティド超硬「AC420K」の特徴 当社の鋳物旋削加工用のコーティド超硬の材種ラインナップを図6に示す⁽²⁾。連続切削から一部断続切削において耐こすり摩耗性が必要な領域をAC410K、断続から粗切削において耐溶着性、耐剥離性、耐欠損性の必要な領域を新規開発のAC420Kで対応し、汎用的に使用されるコーティド超硬の領域をカバーできるようにラインナップしている。

AC420Kは、特殊専用超硬合金母材と図7に示す専用CVD*2コーティング膜「スーパーFFコート®」から構成されている。

特に黒皮断続加工には耐チップング性が必要であり、膜の強度向上が必須である。図8に従来技術でコーティングした炭窒化チタン（TiCN）膜とスーパーFFコーティング技術により被覆したFF-TiCN膜の組織写真を示す。スーパーFFコート®は、膜の粒度を大幅に微粒化するとともに、

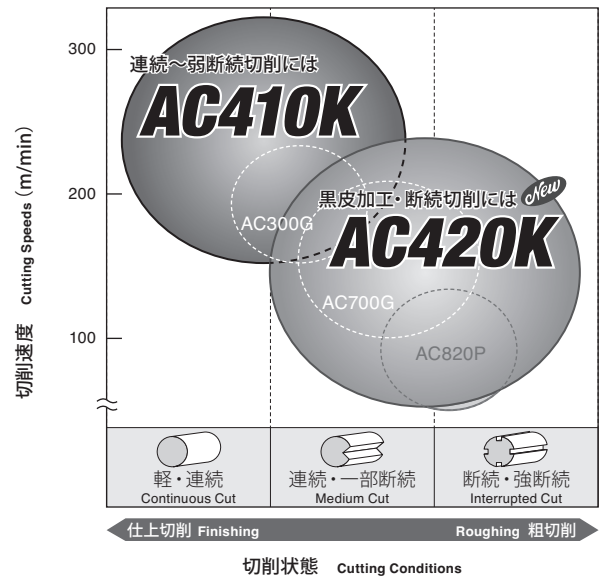


図6 鋳鉄旋削用コーティド超硬材種のラインナップと適応領域

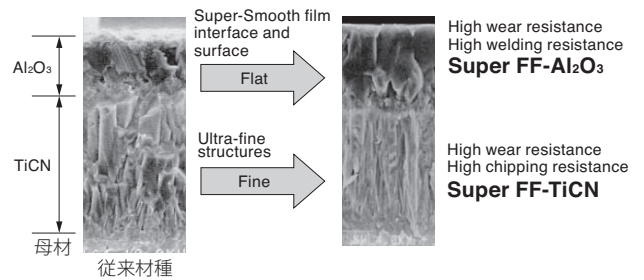


図7 AC420Kのコーティング膜の断面写真

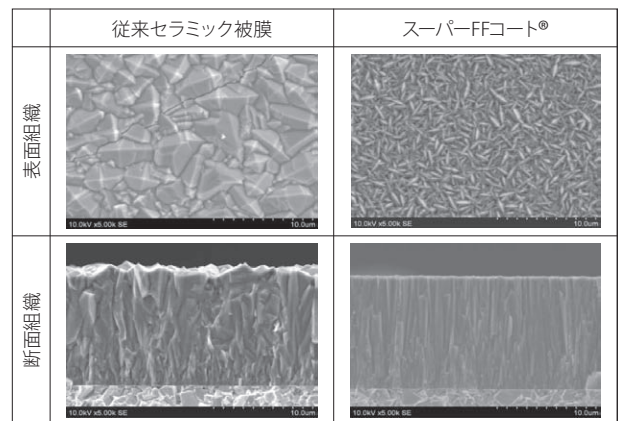


図8 スーパーFFコート® “FF-TiCN” の特長

緻密且つ均一な組織になっていることがわかる。これにより、TiCN膜が高強度化し、耐チップング性が向上した。加えて、高温での安定性が高く高硬度なα型アルミナを採用した。従来のα型アルミナは膜粒度が粗く表面粗さが粗くなるために溶着、チップング損傷が大きくなる欠点がある。

あったが、成膜条件の最適化により、**図9**に示すように、従来比1/2の表面粗さの平滑な α 型アルミナを得ることに成功した。

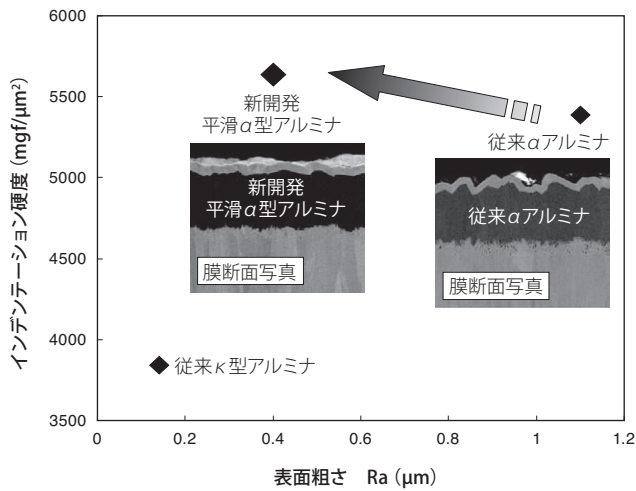


図9 スーパーFFコート®“FF- α 型アルミナ”の特長

これら、スーパーFFコート®技術に加え、コーティング膜の内部応力制御技術により、CVDコーティング膜特有の残留引張応力の一部を圧縮残留応力に変えることに成功し、従来材種より耐溶着性と耐欠損性を飛躍的に向上させた。

また**写真1**のように、AC420Kはチップ全体は黒色であるが、これは特殊な表面処理を施し、耐酸化性・耐溶着性に優れた α 型アルミナ膜を最外層に配することにより、溶着からの欠損を抑えるためである。

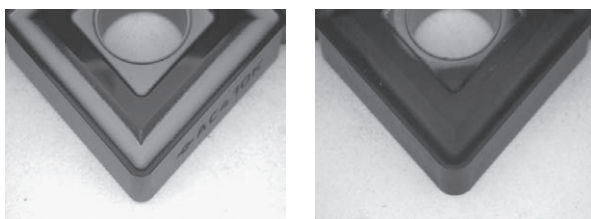


写真1 AC420Kの耐溶着性・強度に優れた特殊表面処理の外観

図10に、強度が高く被削性の悪いダクタイル鋳鉄FCD材を使用し、さらに黒皮を残した溝付きの強断続試験を行うことにより耐欠損性を評価した結果を示す。他社品は150sec加工したところで、刃先にチッピング・欠損が発生しているが、AC420Kは刃先に溶着もほとんど起こらず、チッピング・欠損が見られず、安定加工ができ約2倍寿命

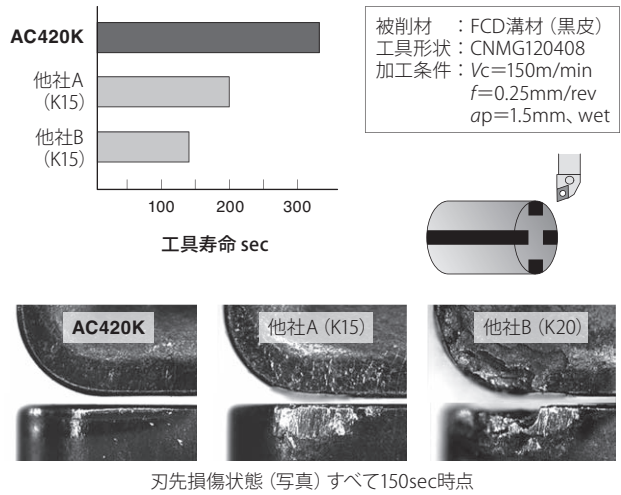


図10 AC420Kの黒皮・強断続加工での切削結果

を達成できていることがわかる。

3-3 コーティドCBN「BNC500」の要求特性 粗加工である黒皮削りをAC420Kで実施した後、コーティドCBN「BNC500」で高精度に仕上げることができる。ダクタイル鋳鉄は、その難削性のため最新のコーティド超硬を用いても、切削速度300m/min.以上の高速切削では実用的な寿命が得られないため、CBN工具が適用される場合がある。顧客でのCBN工具の寿命要因を分析した結果、**図11**のように、70%以上が工具の耐摩耗性不足に起因する加工精度不良であることが判明し、従来のCBN工具対比2倍の耐摩耗性をBNC500の目標性能とした。

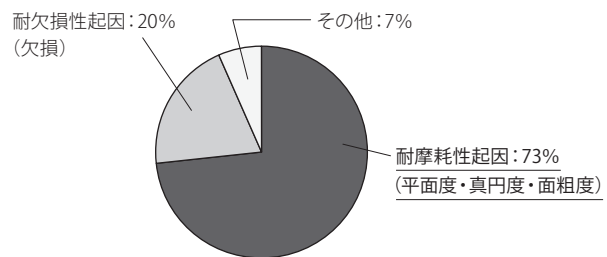


図11 ダクタイル鋳鉄加工におけるCBN工具の寿命要因

3-4 コーティドCBN「BNC500」の特徴 **図12**にBNC500の特徴を示す。一般に、ダクタイル鋳鉄の加工では、耐摩耗性を向上させるために、CBN焼結体の結合材としてTiCが採用される。BNC500ではTiC結合材の製造プロセスを抜本的に改良し、不純物含有量を従来比1/10以下まで減少させることにより、TiCの高純度化に成功した。その結果、CBN焼結体の耐欠損性が維持されながら、耐摩耗性が従来CBN対比1.5倍以上に向上した。加えて、焼入

鋼切削用のスミボン®BNCシリーズ⁽³⁾で採用されている耐熱性に優れた特殊TiAlNコーティングを適用することにより、従来CBN工具対比2倍の耐摩耗性を実現した。

材種	CBN焼結体			母材の機械特性		コーティング
	cBN含有率 [vol%]	cBN粒径 (μm)	結合材	硬度 [GPa]	TRS [GPa]	
BNC500	60-65	4	高純度TiC	32-34	1.0-1.1	特殊TiAlN
従来CBN	65-70	6	TiC	32-34	1.0-1.1	なし
セラミックス				20-25	0.7-0.9	なし
コーテッド超硬				15-20	2.0-3.0	あり

図12 BNC500の特徴

BNC500と従来CBNを用いてFCD450の内径加工を実施した。寸法変化の推移と工具の刃先写真を図13に示す。内径公差30μmに対して、従来CBNは逃げ面摩耗の進行が著しく速いため加工径の変化が大きく、刃先位置補正の回数が多かったが、BNC500では、耐摩耗性に優れるため加工径の変化が小さく、最初の刃先位置補正までの加工距離が従来CBNの10倍以上の結果が得られた。

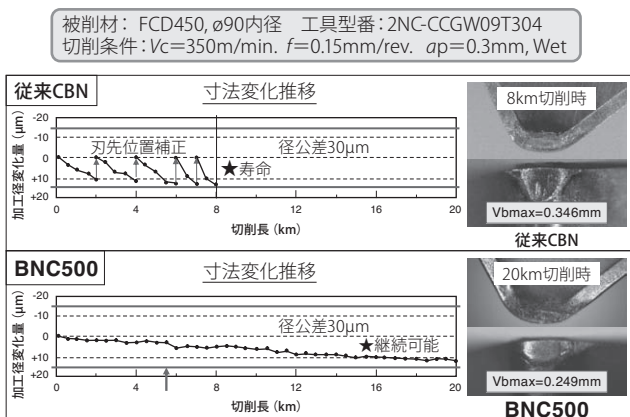
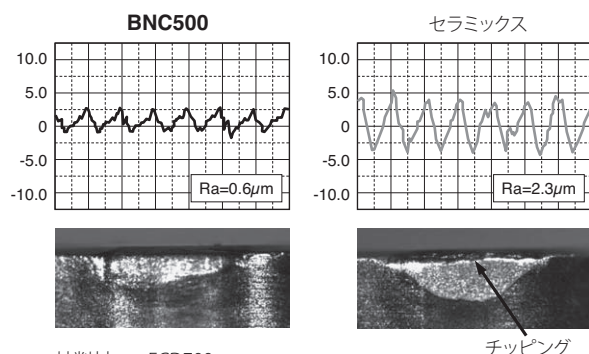


図13 BNC500の耐摩耗性と寸法精度

図14に、BNC500とセラミックス工具を用いて、FCD700の外径を加工した場合の面粗度比較を示す。セラミックス工具は、切削距離3km時点で刃先稜線に微小なチッピングが集積し切れ味が低下し、面粗度が悪い結果となった。一方、BNC500は刃先稜線が鋭利な状態を維持できているため、面粗度が優れているのが分かる。図15に、寿命判定基準を面粗度 (Rz = 12.5μm、1.6μm) としてFCD700を切削した場合のV-T線図を示す。Rz = 12.5μm基準では、超硬やセラミックスは使用可能であるが、V = 300m/min.を超えると寿命が極端に短くなるが、BNC500

では実用的な工具寿命が得られるのが分かる。Rz1.6μm基準では、超硬やセラミックスでは初期から面粗度が出ないが、BNC500では実用切削が可能であることが分かる。



被削材：FCD700
 型番：4NC-CNGA120408
 切削条件：Vc=400m/min., f=0.2mm/rev., ap=0.2mm, Wet
 切削距離：3km

図14 BNC500とセラミックス工具の面粗度比較

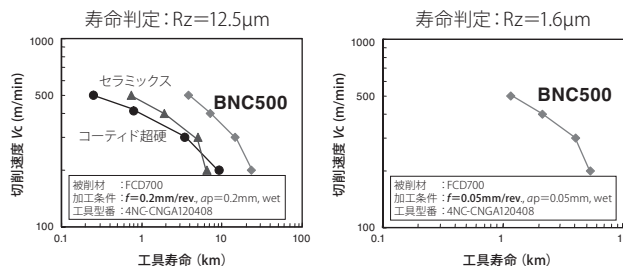


図15 V-T線図 (寿命判定基準：面粗度)

4. ダクタイル鋳鉄加工における適用領域と使用実例

図16にダクタイル鋳鉄加工における各種工具の適用領域を示す。切り込み量が0.5mmを超える粗加工ではコーテッド超硬が推奨され、特に黒皮断続加工のような不安定切削ではAC420Kが抜群の信頼性と長寿命を示す。面粗度6.3z以下、寸法精度IT6級の高精度仕上げ加工にはBNC500が推奨され、切削速度300m/min.以上の高速切削が可能である。

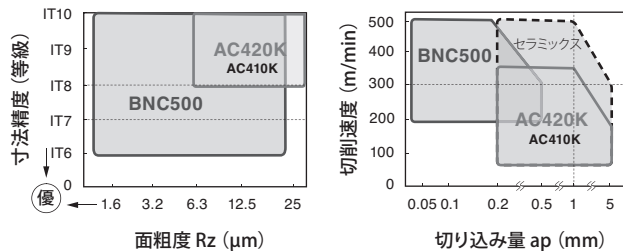


図16 ダクタイル鋳鉄加工における工具材種の適用領域

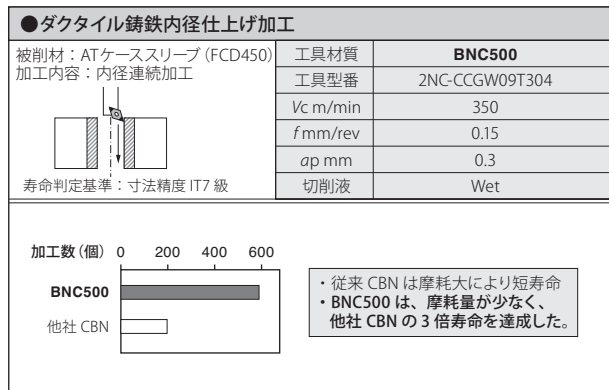
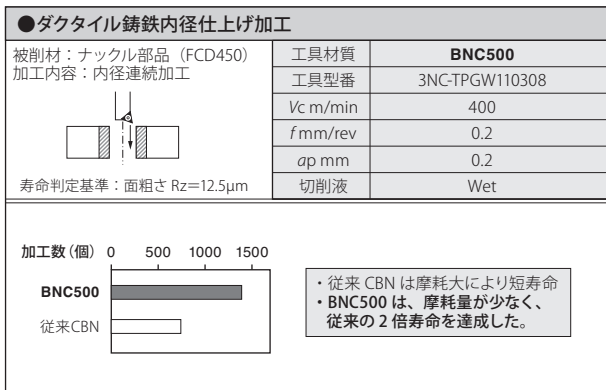
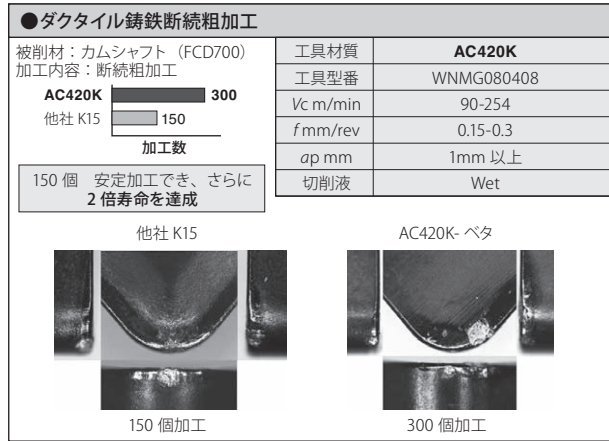
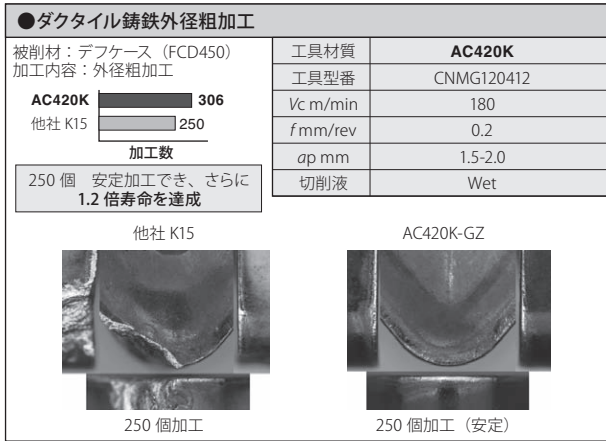


図 17 使用実例

図 17 に AC420K と BNC500 の使用実例を示す。AC420K は、ダクタイル鋳鉄の粗加工で優れた耐チッピング性を発揮し、抜群の信頼性と長寿命を実現している。BNC500 は、ダクタイル鋳鉄の仕上げ加工で、優れた耐摩耗性を発揮し、従来工具比で 2 倍以上の寸法精度寿命を実現している。

5. 結 言

ダクタイル鋳鉄の粗加工用コーティド超硬「エースコート®AC420K」と、仕上げ加工用コーティド CBN「コーティドスミボロン®BNC500」は、ダクタイル鋳鉄の粗、断続、高速、高精度加工等のあらゆる市場ニーズに対応し、高能率長寿命化が可能な材種である。今後、益々進む鋳鉄の難削化の中で、加工コスト削減、生産性向上、加工精度向上に大きく貢献できると期待される。

用語集

※1 CBN

cubic boron nitride：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 CVD

chemical vapor deposition：化学反応を利用した薄膜を形成する蒸着法の一つ。

※3 被削率

材料の削られやすさ(にくさ)を切削工具の寿命に及ぼす影響から評価した値。

参考文献

- (1) 鋳造ジャーナル(2010年7月号)、日本鋳造協会、p.14~15
- (2) 伊藤 他、「鋳鉄旋削用工具『エースコート AC300G/AC700G』の開発」、SEIテクニカルレビュー第158号、p.69-74 (2010.7.20)
- (3) 岡村 他、「焼入鋼高能率加工用コーティドスミボロン® 新『BNC200』の開発」、SEIテクニカルレビュー第174号、p.12-17 (2009)

執筆 者

岡田 吉生* : MOTHERSON TECHNO TOOLS LTD. 主席
超硬製切削工具の開発に従事



Anongsack Paseuth : 住友電工ハードメタル㈱ コア材料開発部

松田 裕介 : 住友電工ハードメタル㈱ コア材料開発部

岡村 克己 : 住友電工ハードメタル㈱ コア材料開発部 主査

深谷 朋弘 : 住友電工ハードメタル㈱ コア材料開発部 次長

*主執筆者