

鑄鉄旋削加工用材種 「エースコート® AC410K」の開発

奥野 晋*・岡田 吉生・大森 直也
森本 浩之・津田 圭一・伊藤 実

Development of “ACE-COAT AC410K” Coated Carbide for Cast Iron Turning — by Susumu Okuno, Yoshio Okada, Naoya Omori, Hiroyuki Morimoto, Keiichi Tsuda and Minoru Itoh — Sumitomo Electric Hardmetal Corporation has developed the new coated carbide grade “AC410K” for cast iron turning application. The “AC410K” coated carbide adopts a newly developed chemical vapor deposition (CVD) coating “SUPER FF COAT” as its coating film. This new CVD coating consists of flat and smooth layers of fine-particle titanium carbonitride (TiCN) and aluminum oxide (alumina), and far surpasses conventional coatings in terms of resistance to wear and peeling and achieves the higher stability in machining operations. The new “AC410K” grade can satisfy demands of many customers for cost reduction and higher productivity of cast iron turning.

1. 緒言

切削工具に用いられる刃先交換型チップの材種には、超硬合金、サーメット、cBN等単体で使用されるものと、それらを基材とし、その表面に硬質セラミックを被覆コーティングした被覆材種とに大別される。被覆材種の内、特に基材に超硬合金を用いた被覆超硬合金は、超硬合金の強靱さとセラミックスの硬質性を兼ね備え耐摩耗性と耐久損性のバランスに優れることから、年々その使用比率が高まっており、現在では刃先交換型チップ材種出荷数量の65%以上を占めるに至っている⁽¹⁾。

被覆超硬合金が用いられる機械加工分野においても、近年の地球環境への負荷低減、資源の効率的な活用を目的とした様々な取組みがなされている。自動車等に用いられる鑄鉄部品加工の分野においても同様であり、その代表例として、排気ガスの削減、燃費の向上等を目的とした構成部品の軽量化が上げられる。軽量化に伴い、各構成部品はより薄肉、複雑形状化する。また薄肉化した場合にも十分な強度を確保する必要性から、使用される被削材はより強靱化する。それ故形状、材質の両面から加工性（被削性）は顕著に悪化する。一方で自動車需要の好調を受け、短納期対応、加工コストの低減を目的とした高速・高能率加工へのユーザー要求は以前にも増して高まっている。このような過酷な切削環境下においても、安定かつ長寿命を達成することが工具には求められている。

当社ではそういった市場ニーズに対応するべく、最新のCVD（Chemical Vapor Deposition；化学的蒸着法）被覆技術により達成された「スーパーFFコート®」の被覆技術⁽²⁾を鑄鉄旋削用途に最適化し、「エースコート® AC410K」を開発した。以下にその開発経緯及び性能に関して報告する。

2. 鑄鉄旋削加工用工具の必要特性

2-1 鑄鉄の被削性

鑄鉄は炭素を2.14～6.67%含む鉄系合金であり、Feマトリクス中に析出する黒鉛（グラファイト）の形態によりねずみ鑄鉄（FC）とダクタイル鑄鉄（FCD）とに大別される。図1にねずみ鑄鉄およびダクタイル鑄鉄の代表的な組織写真と特徴を示す。ねずみ鑄鉄は、マトリクス中の黒鉛が潤滑剂的な役割をし、熱伝導が良いため摩擦熱を逃しやすく、板状に析出した黒鉛の内部切欠き効果により細かく分断された切り屑が排出される等の特徴から、比較的切削しやすい材質とされている。ダクタイル鑄鉄は、内部の黒鉛が球状化しており、球状黒鉛鑄

【ねずみ鑄鉄（FC）】

- ・内部の黒鉛は、花びらが集合したような形をした片状黒鉛で、振動吸収能力（減衰能）が優れる。
- ・黒鉛が潤滑剂的な役割をし、また熱伝導が良いので摩擦熱を逃しやすく、細かく分断された切り屑が排出されるため、比較的切削しやすい。代表被削材はエンジンブロック。

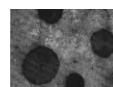


片状黒鉛の内部切欠き効果で切り屑が分断されるため切削抵抗は小さい



【ダクタイル鑄鉄（FCD）】

- ・内部の黒鉛は球状化しており、球状黒鉛鑄鉄とも呼ばれ、この黒鉛球状により強度・靱性がねずみ鑄鉄よりも遥かに優れる。反面、切り屑による工具刃先への負荷が高まることで被削性は低下する。特に強度が必要な部位に使用される。代表被削材は自動車の足回り部品。



強度が高いため、切削点よりも前方に亀裂の起点が発生し、切削抵抗が高くなる

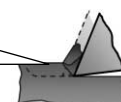


図1 鑄鉄の組織と特徴

鉄とも呼ばれる。この球状黒鉛により強度・韌性がねずみ
 鋳鉄よりも遥かに優れる。反面、高強度故に切削点よりも
 前方に亀裂の起点が発生し、切削抵抗が高くなることで工
 具刃先への負荷が高まり被削性は低下する。表1に代表的
 なねずみ鋳鉄及びダクタイル鋳鉄の被削性指数を示す。

表1 鋳鉄の被削性指数

	材料記号	被削性指数	削りやすい ↑ ↓ 削りにくい
ねずみ鋳鉄	FC150	70	
	FC200	70	
	FC250	65	
	FC300	65	
	FC350	60	
ダクタイル鋳鉄	FCD450	55	
	FCD500	55	
	FCD550	50	
	FCD600	50	
	FCD700	45	

2-2 鋳鉄旋削加工用工具の必要特性 鋳鉄の成分
 は、表2に示す様にセメントタイトやパーライトといった硬
 質成分と黒鉛やフェライトといった軟質成分に層別でき
 る。このうち、硬質成分はコーティング膜とのこすり摩
 耗を助長し、コーティング膜の摩滅進展を加速させる。一
 方、軟質成分は工具と被削材との間に入り込んで溶着し、
 被削材の加工面粗さや面性状を悪化させる。また溶着物の
 生成・脱落の繰返しにより、工具材料の一部が切り屑に
 持ち去られ、コーティング膜の溶着剥離や刃先チップ
 等の異常損傷を引き起こす。また、鋳鉄はその製法上、
 湯口残り、バリ、表面のチル化が発生することがあり、
 そういった被削材表面状態の不均一が突発的な欠損
 発生等の加工不安定を引き起こす。従って、鋳鉄旋削
 加工用コーティング材種に対する要求特性としては、

表2 鋳鉄の成分と被削性

黒鉛	軟質成分
シリコフェライト	↑ 溶着摩耗が 発生しやすい
他金属と合金になったシリコフェライト	
パーライト	↓ こすり摩耗が 発生しやすい
他金属と合金になったパーライト	
ソルバイト	硬質成分
ステダイト	
砂、酸化物	
セメントタイト	
塊状セメントタイト	

- 1) 硬質成分のこすり摩耗に強いこと（優れた耐摩耗性）
 - 2) 軟質成分の溶着・剥離損傷に強いこと（優れた耐溶着剥離性）
 - 3) 被削材表面状態に左右されず安定して加工が可能なこと（優れた耐チップング性）
- の3点が挙げられる。

3. AC410Kの開発目標

上述した鋳鉄旋削加工用コーティング材種に対する要求
 特性に加え、高速・高能率加工という市場ニーズにも対応
 することをAC410Kの開発目標とした。AC410Kの適用可
 能領域を、当社従来材種であるAC300Gとの対比で図2に
 示す。AC410KはAC300Gの適用領域である、鋳鉄の連続
 から一部断続加工の領域をカバーしながら、より切削速
 度の高い領域においても切削可能かつ長寿命を達成するこ
 とを目標とした。

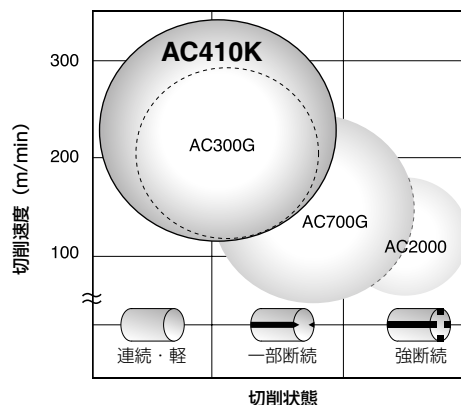


図2 AC410Kの適用領域

4. AC410Kの特長

4-1 優れた耐摩耗性 AC410Kに適用した「スー
 パーFFコート®」のコーティング膜断面SEM像を、従来セ
 ラミックス被膜との対比で図3に示す。AC410Kの優れた
 耐摩耗性は、主として下層セラミックス膜であるTiCN膜
 の微粒・高硬度化により達成される。

表3に従来技術でコーティングしたTiCN膜とスーパー
 FFコーティング技術により成膜したAC410KのTiCN膜の
 組織比較を示す。AC410KではスーパーFFコーティング技
 術により、TiCN膜の粒度が従来技術でコーティングした
 場合と比較して大幅に微粒化され、また非常に緻密かつ均
 一な組織となっている。この微粒、均一化により、
 AC410Kでは図4に示す様に、約30%の高硬度化が達成さ
 れ、硬質成分とのこすり摩耗によるコーティング膜の摩滅
 が大幅に抑制される。

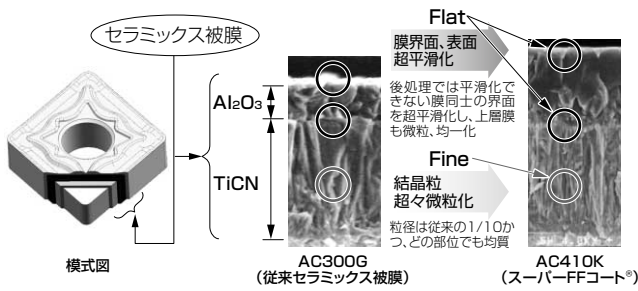


図3 AC300G、AC410Kの構造模式図とコーティング膜断面SEM像

表3 従来セラミックス被膜とスーパーFFコート®のTiCN被膜組織比較

	従来セラミックス被膜	スーパーFFコート®
表面組織		
断面組織		

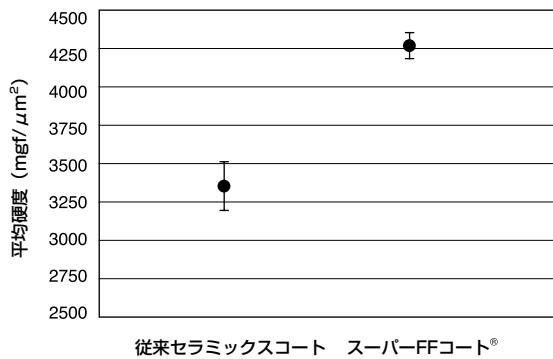


図4 従来セラミックスコートとスーパーFFコート®のインデンテーション硬度比較

4-2 優れた耐溶着剥離性

CVD被覆超硬合金では、使用コーナーが識別しやすいように、被膜最外層にTi系被膜を色付け層として被覆する。しかしながらTi系被膜は被削材との親和性が高いため、加工時の刃先部での加工

発熱と相まって刃先への被削材の溶着が問題となる。そこでAC410Kでは、セラミックス被膜コーティング後に、特殊機械加工による刃先近傍部のTi系被膜除去ならびに膜表面平滑化処理を施している。(表4) この処理により、化学的に安定なアルミナ膜が最表面へ露出されると共に、機械加工による表面平滑化により被削材との摩擦発熱が大幅に減少するため、溶着物が生じにくくなり、耐溶着剥離性が向上する。

被覆後の表面平滑化処理は最表面のセラミックス被膜に適用することは比較的容易であるが、多層構造を有する被覆超硬合金の内層被膜へ適用することはできない。内層被膜を平滑化することの利点は、外層被膜の摩耗や剥離により内層被膜が露出した場合にも、内層被膜がより平滑であるために、上記同様に被削材の刃先への溶着が抑制され、耐剥離性が向上することにある。AC410Kでは、スーパーFFコーティング技術により、機械加工では成し得なかった内層被膜の表面平滑化を達成している。表5に、AC410Kに採用したスーパーFFコート®のTiCN膜の表面凹凸状態と面粗さの測定結果を示す。このようにAC410Kでは、最表層のみならず、内層部表面も従来と比較して粗さが1/10にまで平滑化されており、図5に示す通り、従来セラミックス被膜と比較して大幅に耐溶着剥離性が向上している。

表4 表面平滑化処理前後の被膜表面SEM組織

表面平滑化処理前	表面平滑化処理後
Ra=2.8 μm	Ra=0.13 μm

表5 従来セラミックス被膜とスーパーFFコート®の表面凹凸像と面粗さ

	従来セラミックス被膜	スーパーFFコート®
膜表面の凹凸像		
Ra	0.1458 μm	0.0122 μm
Rz	0.6870 μm	0.0433 μm

4-3 優れた耐チップング性 AC410Kに採用したスーパーFFコート®のTiCN膜は前述の通り、従来と比較して1/10にまで超微細化されている。この超微細化技術により、加工時に突発的な衝撃を受けた際にも、発生したクラックの伝播は最小限に抑制される。また、スーパーFFコート®は、非常に高硬度であると同時にその硬度ばらつき（標準偏差）が従来セラミックス被膜と比較して1/2に低減されている。（図4）そのため硬度ばらつきが原因と考えられる膜破壊を抑制することができる。亀裂伝播の抑制と膜破壊の抑制の2つの効果によりAC410Kでは優れた耐チップング性が達成される。

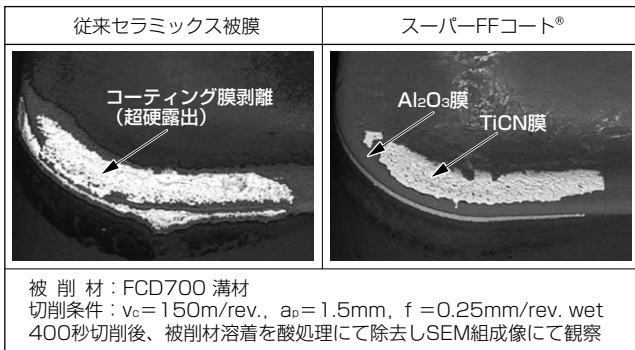


図5 従来セラミックスコートとスーパーFFコート®の耐溶着剥離性比較

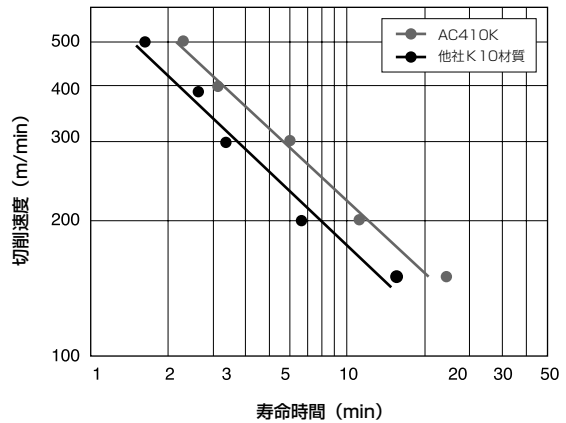
4-4 優れた高温耐熱性 AC410Kでは、外層被膜に高温安定型の結晶構造を持つ α 型アルミナを採用している。 α 型アルミナは高温でも安定な結晶構造を持ち、高硬度かつ高強度の特性を持つ。しかしながら、 α 型アルミナは厚膜化した場合に、粒子の粗大化が起り、急激な強度低下を引き起こす。また厚膜化は内層被膜であるTiCN膜との密着強度低下の原因ともなる。AC410Kでは、微細・均一な内層TiCN膜表面上に成膜される中間密着層の成膜技術を最適化し、 α アルミナ粒子の成長基点となる核生成サイトを均一化すると共に、密着強度を大きく向上させている。また α アルミナ膜被膜にもスーパーFFコーティング技術を採用している。そのため、従来セラミックス被膜と比較して2倍まで厚膜化しているにも関わらず、粒度、密着力は維持される。この超厚膜 α アルミナ被膜の採用により、AC410Kは従来と比較して非常に高い耐熱性を示し、市場からの強い要望である加工の高速・高能率化を可能としている。

5. AC410Kの切削性能

図6にAC410Kの切削性能を示す。FCD450材の切削を $v_c=150\text{m/min}$ から 500m/min の種々の速度で行い、各切削

速度での切削可能時間を測定し両対数グラフ上にプロットを行った。なお、工具寿命判断基準は逃げ面摩耗幅 (V_b) 0.25mm とした。この図に示す様に、AC410Kは $v_c=150\text{m/min}$ 以上の領域で、他社品と比較して50から90%の長寿命化が達成されている。また、グラフ上に実線で示す様に、AC410Kでは切削速度と加工可能時間には明瞭な相関が認められる。このことはAC410Kではチップングや膜剥離からの異常損傷が抑制されていることを示唆している。

図7、8、9にAC410Kのユーザーでの使用実例を示す。図7はFC250材での使用実例である。スーパーFFコート®の高い耐こすり摩耗性により、現状使用工具と比較して2.5倍の加工を行った場合にも逃げ面摩耗の進展は1/2以下にまで抑制されている。



被削材：FCD450
ホルダ：PCLNR2525-43
チップ：CNMG120408
加工条件： $a_p=1.5\text{mm}$, $f=0.25\text{mm/rev. wet}$
寿命基準： $V_b=0.25\text{mm}$

図6 AC410Kの切削性能

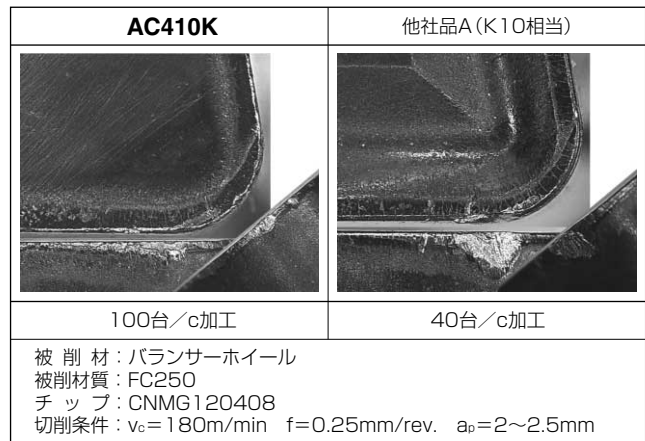


図7 AC410Kのユーザー使用実例1



AC410K	従来材種
	
200台/c加工	130台/c加工
被削材：ナックル 被削材質：FCD450 チップ：WNMG080412N-UX 切削条件： $v_c=170\sim 230\text{m/min}$ $f=0.2\text{mm/rev.}$ $a_p=1.5\text{mm}$	

図8 AC410Kのユーザー使用実例2


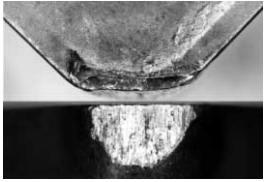
	AC410K	他社品B (K10相当)
		
加工数	800台/c	550台/c
被削材：ナックル 被削材質：FCD600 チップ：SNMG120412 切削条件： $v_c=270\text{m/min}$ $f=0.2\text{mm/rev.}$ $a_p=1.0\text{mm}$		

図9 AC410Kのユーザー使用実例3

図8、9はダクタイル鋳鉄での使用実例である。難削材とされるダクタイル鋳鉄の加工においても現状使用工具と比較して1.5倍の加工を行った場合にも、工具損傷（摩耗量）は1/4以下と大幅に抑制されている。この他にもねずみ鋳鉄（FC）、ダクタイル鋳鉄（FCD）を問わず、従来材種と比較して大幅な長寿命化を達成している。

6. 結 言

「エースコート®AC410K」は安定、長寿命、高速・高能率という鋳鉄旋削加工の市場ニーズを満たす新材質であり、ユーザーでの加工コスト低減に大きく貢献出来ると確信している。

参 考 文 献

- 1) 超硬工具協会報 No.370 2007-6
- 2) 福井治世、岡田吉生：“高速・高能率加工を実現する新CVDコーティング「スーパーFFコート」、新PVDコーティング「スーパーZXコート」、機械と工具, 3 (2007) 64-68.

執 筆 者

奥野 晋*：北海道住電精密(株) 技術部 生産技術課
 岡田 吉生：住友電工ハードメタル(株) 材料開発部 主席
 大森 直也：住友電工ハードメタル(株) 材料開発部 主席
 森本 浩之：住友電工ハードメタル(株) 材料開発部
 津田 圭一：住友電工ハードメタル(株) 材料開発部
 グループ長
 伊藤 実：北海道住電精密(株) 製造部 加工工場長

*主執筆者