

鑄鉄旋削加工用CVDコーテッド新材種

New Coated Carbide Grade for Cast Iron Turning

奥野 晋*
Susumu Okuno

金岡 秀明
Hideakii Kanaoka

小野 聡
Satoshi Ono

今村 晋也
Shinya Imamura

広瀬 和弘
Kazuhiro Hirose

福井 治世
Haruyo Fukui

近年、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おり、自動車等に用いられる鑄鉄部品加工の分野でも、軽量化が急速に進んでいる。軽量化に伴い、各構成部品はより薄肉、複雑形状化し、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高強度・難削化し、工具寿命の低下が課題となる。また、加工現場では、コスト削減要求の高まりや、工作機械の性能向上を背景に、高速・高能率加工への要求が以前にもまして高まっている。このような鑄鉄加工市場での課題を解決するため、鑄鉄旋削加工用CVDコーテッド新材種「AC4010K」「AC4015K」を開発した。「AC4010K」はねずみ鑄鉄の高速・連続加工を筆頭に高能率加工を実現し、「AC4015K」はダクタイル鑄鉄の加工を中心に汎用加工で安定・長寿命を達成する。これら2材種により鑄鉄の幅広い加工において、加工コストの低減を可能とした。

Automotive components have increasingly complex designs and thin walls for weight reduction, and accordingly, high-strength, difficult-to-cut materials are used. Meanwhile, high-speed and high-efficiency machining is also required to reduce lead time. Under these circumstances, cutting tools need to have long tool life and stable cutting performance. To satisfy these demands, the authors have developed the new coated carbide grades AC4010K and 4015K for cast iron turning. This paper describes their features and cutting performance.

キーワード：CVD、切削工具、高速・高能率、鑄鉄

1. 緒言

切削工具に用いられる刃先交換型チップで、超硬合金母材の表面に硬質セラミックス膜を被覆した材種（以下、コーテッド材種とする）は、他の工具材種と比較して耐摩耗性と耐欠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全体の70%を占めるに至っている⁽¹⁾。コーテッド材種を用いて切削加工を行う被削材には、炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、鑄鉄など様々な種類があるが、いずれの被削材加工分野においても、昨今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。鑄鉄切削加工における一例として、自動車等に用いられる鑄鉄部品加工の分野では、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、比較的削削性が良いとされるねずみ鑄鉄（FC材）から、より強度が高く削削性の悪いダクタイル鑄鉄（FCD材）への難削化が進展している。それ故形状、材質の両面から加工性（削削性）は著悪化する。一方で、加工現場では、コスト削減要求の高まりや、工作機械の性能向上を背景に、高速・高能率加工への要求が以前にもまして高まっている。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、鑄鉄加工用工具には求め

られている。

当社ではそのような市場ニーズに対応するべく、ねずみ鑄鉄の高速・連続加工を筆頭に高能率加工を実現する新材種「AC4010K」、ダクタイル鑄鉄の加工を中心に汎用加工で安定・長寿命を達成する新材種「AC4015K」を開発し、販売を開始した。本稿ではその開発経緯および性能に関して報告する。

2. AC4010K/AC4015Kの開発目標

鑄鉄旋削加工におけるコーテッド材種の損傷は大別すると表1の三形態に分類される。AC4010K/AC4015Kの開発にあたり、工具要求特性を明確化することを目的とし、実際の鑄鉄旋削加工現場で使用された工具を回収し損傷状態の確認を行った。その結果、表1中のチップング損傷あるいはチップング損傷と摩耗進展損傷の複合により使用限界に至り、工具寿命と判断されているケースが7割を超えていることが明らかとなった。このようなチップングを伴う損傷は、FC材、FCD材を問わず発生していたが、強度の高いFCD材加工でより顕著であった。このことから、鑄鉄加工における工具寿命の延長のためには、加工時のチップングを抑制することが最も重要と判断し、耐チップング性を従来工具に対し50%以上向上させることを目標とした。また、損傷状態の調査を行った結果からは、FC材で切削速度

表1 鋳鉄旋削加工における工具損傷例と発生原因

	摩耗進展損傷	チッピング損傷	溶着剥離損傷
損傷例			
発生原因	硬質成分とのこすり摩耗により、特にコーティング膜摩滅後に、摩耗が極度に進展。FC材高速加工時に特に顕著に発生。	断続加工時あるいは連続加工であっても表面積の微小凹凸との接触衝撃により、切れ刃稜線部に発生した微小チッピングの集積	軟質成分の微粉が工具表面に押し付けられ、切削熱により強固に凝着。脱落時にコーティング膜剥離を引き起こす。特にFCD材加工で生じ易い
工具要求特性	コーティング被膜の高強度・厚膜化	コーティング被膜の高強度化、密着強度向上	コーティング膜密着強度向上及び表面平滑化

(v_c) が毎分500mを超える高速加工を行った場合、切りくず擦過による工具すくい面の膜摩滅が急激に進展することで工具寿命となっているケースも確認された。このような工具損傷に対しては、工具表面に被覆されるコーティング膜のうち、耐熱性を担うアルミナ (Al_2O_3) 膜を厚く被覆することが有効であるが、 Al_2O_3 膜の厚膜化は耐チッピング性の低下を伴う。種々検討を重ねた結果、背反する二つの特性の達成は1材種では困難と判断した。そこでFC材高速加工用途には耐チッピング性を維持しつつ v_c が500m/min以上の高速加工で従来材種対比2倍以上の耐摩耗性を有することを、FCD材を中心とした汎用加工用途には耐摩耗性は従来材種を維持しつつ耐チッピング性を1.5倍以上とすることを目標とし、AC4010K/AC4015Kの開発を行った。

3. AC4010K/AC4015Kの特長

AC4010K/AC4015K両材質ともに、開発目標達成には耐チッピング性の向上が必須となる。耐チッピング性の向上にはコーティング被膜の高強度化と密着強度向上が重要となる。AC4010K/AC4015Kの開発では以下の3点の新技术開発を行うことで被膜の高強度化と密着強度向上を達成した。

3-1 膜中亀裂進展の抑制

AC4010K/AC4015Kに被覆されるセラミックス膜はCVD^{*1}法により成膜される。切削工具への成膜は、約1000℃の真空炉内で実施されるが、成膜後に室温まで冷却される過程で、基材となる超合金と被覆されたセラミックス膜の熱膨張係数の差により被膜中に引張残留応力が発生する。被膜中に引張残留応力が存在すると、切削加工時の衝撃などにより被膜中に微小な亀裂が発生した場合に、亀裂の進展が容易となり耐チッピング性が低下する。当社は成膜後の被膜表面へ特殊な処理(表面処理)を施すことで、膜中引張残留応力を低減させる、あるいは膜中に圧縮応力を導入する技術を有している。従来の鋳鉄旋削加工用材種にもこの技術を適用し、圧縮応力の付与を実施していた。しかしながらユーザー要求の達成には従来レベルの圧縮応力付

与では不十分であると考え、応力付与プロセス及び設備の見直しを行った。その結果、 Al_2O_3 膜中に従来比2倍となる1GPaの圧縮応力を導入することが可能となった(図1)。

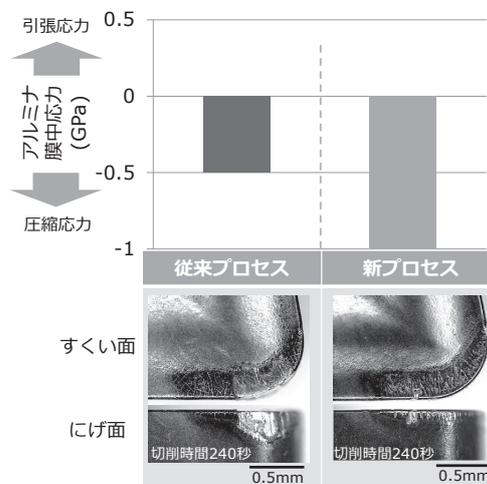


図1 膜中圧縮応力と耐チッピング性能

圧縮応力導入の効果を検証するために切削評価を行った。切削評価はFCD450断続材に対し、切削速度(v_c)450m/min, 送り速度(f)0.3mm/rev, 切込み(a_p)1.5mmの条件で実施した。工具寿命は切れ刃稜線部のチッピングが拡大し、継続使用が不能な状態に至るまでの実切削時間とした。図1には切削時間240秒時点での工具損傷写真を示す。従来プロセスで処理を行ったサンプルは、240秒時点で先端部が大きく欠損している。対して新プロセス処理により1GPaの圧縮応力を付与したサンプルは、切れ刃稜線部に微小なチッピングは認められるものの継続使用が可能な状態となっており、最終的に420秒加工時点で工具寿命となった。240秒時点の工具損傷を詳細に観察すると、工具表面には加工時に発生したと推定される亀裂が多数確認されるものの、高い膜中圧縮応力により、それら亀裂の進展が抑制されたことで、従来プロセスと比較して損傷が抑制されていることがわかる。

3-2 Al_2O_3 結晶子の成長方位制御による被膜高強度化

CVD法により超合金基材上に被覆されたセラミックス膜の断面組織写真を図2に示す。被膜上部に断熱層となる Al_2O_3 膜が、下部に耐摩耗層となるTiCN膜が配される2層構造が一般的である。FC材加工で、 v_c が500m/minを超えるような高速加工では、断熱層である Al_2O_3 膜を厚く成膜することで熱的損傷が抑制されることが知られているが、厚膜化は膜強度の低下を引き起こす。実際、 Al_2O_3 膜厚を従来材種より厚膜化した上で、特殊表面処理を施しFC250断続材で加工評価を実施した際、図2下段側に示すように、

すくい面のコーティング膜剥離と膜剥離を起点としたにげ面損傷が発生した。すくい面膜剥離損傷に至る前段階での工具損傷を詳細に観察した結果、 Al_2O_3 膜が局部的に破壊し、破壊を起点に損傷が拡大することで膜剥離損傷が発生していることが確認された。このような損傷は、従来の成膜条件で形成される Al_2O_3 膜では、**図2**中の模式図に示す通り、構成粒子の成長方向が不揃いなために切りくずが擦過の際のせん断応力により粒子の脱落が発生して生じているのではないかと考え、切りくずせん断方向に対し垂直な方位となる結晶面、すなわち膜断面に対し垂直となるc軸方向に配向する Al_2O_3 結晶子より構成される Al_2O_3 膜の開発を行った。結晶配向を制御するため、成膜パラメータを種々検討した結果、 Al_2O_3 膜を構成する結晶子の90%以上をc軸配向とすることが可能となり、結果FC材の断続加工を実施した場合にも、**図2**下段に示すとおり、すくい面膜剥離を起点とする損傷を大幅に抑制することが可能となった。

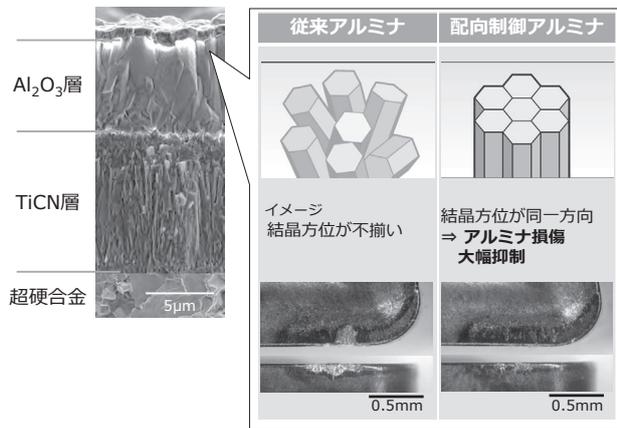


図2 工具断面膜組織とアルミナ結晶配向制御の効果

3-3 コーティング被膜の密着強度向上

AC4010K/AC4015Kの開発にあたっては、圧縮応力付与技術によるコーティング膜の耐亀裂進展強度の向上と Al_2O_3 膜構成粒子の配向制御技術によるアルミナ膜強度の向上に加え、コーティング膜の密着強度そのものを向上させる技術開発も並行して行った。一例として基材表面平滑化による膜密着強度向上の事例を挙げる。**図3**には従来プロセスで基材エッジ部のホーニング処理^{※2}を実施した場合の断面組織とAC4010K/AC4015Kで採用したホーニング処理を実施した場合の膜断面組織を示す。AC4010K/AC4015Kではホーニング処理後の刃先基材表面の凹凸を従来対比で1/2にまで低減している。また、基材表面の凹凸が低減されるため、その上に被覆されるセラミックス膜も凹凸が低減していることがわかる。FC材の断続加工試験

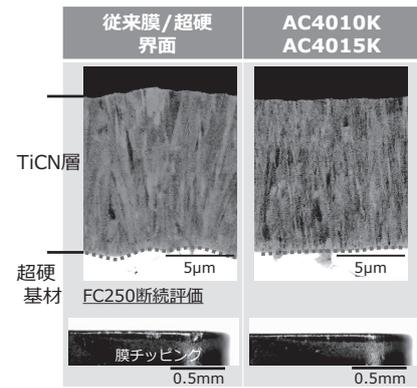


図3 基材表面平滑化処理による膜密着力工場

を実施した結果を**図3**下段に示すが、AC4010K/AC4015Kでは基材表面上に形成される被膜の凹凸が低減されることで、加工時の衝撃で生じる切れ刃稜線部のチップングが大幅に抑制されることが確認できる。

4. AC4010K/AC4015Kを用いた加工事例

AC4010K及びAC4015Kを使用したFC材およびFCD材の加工事例を**図4**及び**図5**に示す。

図4はFC250材のブレーキディスクを高速で加工した事例である。切削速度が最大960m/min、送り速度が最大0.75mm/revと極めて高能率の条件下での使用事例となる。本加工で使用されていた従来工具は50台加工時点で摩耗進展と切込境界部のチップング損傷により加工品位が悪化し工具寿命となっていた。対してAC4010Kは1.4倍の加工数70台までの加工が可能であった。またそれぞれの工具寿命時点での損傷をSEM^{※3}によりより詳細に確認すると、AC4010Kは境界部分での膜チップングによる超硬基材露出面積が、加工数が多いにもかかわらず、抑制されて

被削材 : ブレーキディスク (FC250) 黒皮端面加工
 工具型番 : CNMG120408
 切削条件 : $v_c \sim 960\text{m/min}$, $f \sim 0.75\text{mm/rev}$, $a_p \sim 2.0\text{mm}$, wet

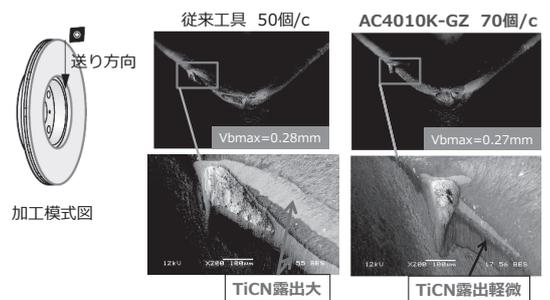


図4 AC4010KによるFC250材加工事例

いることがわかる。また厚膜 Al_2O_3 の効果により、擦過によるコーティング膜の摩耗進展が抑制され、下層TiCN膜の露出面積も抑制されている。このように、AC4010Kはねずみ銑鉄の高速・高能率加工において、耐チップング性、耐摩耗性のいずれもが向上し、工具寿命の延長が実現されることがわかる。

図5はFCD500材のギアケース端面を加工した事例である。加工部位が表面錆込みままかつ四角状のため、断続度合が高く、極めて不安定となり易い加工である。本加工で使用されていた工具は10台加工時点で工具切れ刃にチップングが集積し、一部は刃先欠損にまで至る損傷となり、継続使用が不可能となっていた。対してAC4015Kを本工程で用いた場合、1.2倍の数量まで加工した場合にも、従来工具で発生していたようなチップングあるいは欠損は認められず、継続して使用が可能な状態となっている。このようにFCD材の断続・不安定加工においても、優れた耐チップング性により安定した加工が実現可能となることがわかる。

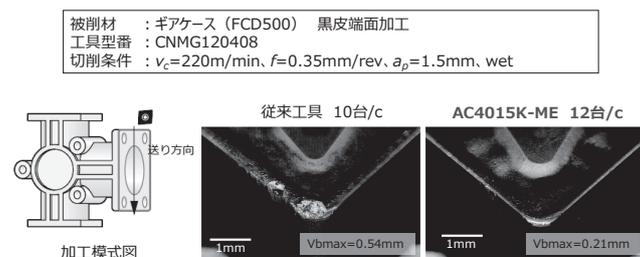


図5 AC4015KによるFCD500材加工事例

5. 結 言

以上の通り、コーティング被膜の強度を高めるための様々な技術開発を行うことで、FC材の高速・連続加工を筆頭に高能率加工を実現する「AC4010K」、FCD材の加工を中心に汎用加工で安定・長寿命を達成する新材種「AC4015K」の開発が達成された。これら2材種は、FC材、FCD材を問わず、高速・高能率から断続加工までの幅広い用途でユーザーの加工コスト削減および生産性向上に貢献できるものと確信をしている。

用語集

※1 CVD

chemical vapor deposition : 化学反応を利用してセラミックス被膜を被覆する蒸着方法の一種。

※2 ホーニング処理

工具の切れ刃に丸み又は小さな面取りを施すこと。

※3 SEM

Scanning electron microscope : 走査型電子顕微鏡。

参 考 文 献

(1) 超硬工具協会月報 (～2016)

執 筆 者

奥野 晋* : 住友電工ハードメタル(株) 合金開発部 主査



金岡 秀明 : Sumitomo Electric Carbide, Inc.



小野 聡 : 住友電工ハードメタル(株) 合金開発部



今村 晋也 : 住友電工ハードメタル(株) 合金開発部 グループ長



広瀬 和弘 : ハードメタル事業部 グローバルマーケティング部 グループ長



福井 治世 : 住友電工ハードメタル(株) 合金開発部 部長補佐 博士 (工学)



*主執筆者