



鑄鉄旋削用 CVD 新材種 AC4125K

New Coated-Carbide Grade AC4125K for Cast Iron Turning

小野 聡
Satoshi Ono

米田 敦洋*
Atsuhiko Yoneda

山西 貴翔
Takato Yamanishi

金岡 秀明
Hideaki Kanaoka

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増して高まっている。そ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「AC4125K」を開発した。「AC4125K」は鑄鉄の鑄肌・断続加工における圧倒的な安定・長寿命化を実現する。さらに使用済みコーナーの視認性に優れるため、工具の誤使用や誤廃棄の防止を可能とする。これ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 complex designs and thin walls for weight reduction. In recent years, these materials are becoming increasingly difficult to cut due to their high strength. Meanwhile, there has been a growing demand for high-speed and high-efficiency machining to reduce lead time. Under these circumstances, customers need cutting tools that have long tool life and stable cutting performance. To satisfy these demands, the authors have developed the new coated grade AC4125K for cast iron turning. This paper describes the features and cutting performance of AC4125K.

キーワード：切削工具、ダクタイル鑄鉄、CVD、断続加工、視認性

1. 緒言

切削工具に用いられる刃先交換インサートで、超硬合金^{*1}母材の表面に硬質セラミック膜を被覆した材種（コーティング材種）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、現在では刃先交換インサート材種全体の70%を占めるに至っている⁽¹⁾。コーティング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挙げられる。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、強度が高く被削性の悪いダクタイル鑄鉄（FCD材）が使用されるケースが増加している。特にデフケースなどで用いられるFCD材は素材の高強度化が進み、難削化が進展している。それ故形状、材種の両面から加工性（被削性）は顕著に悪化する。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、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、ダクタ

イル鑄鉄の断続加工において圧倒的な安定・長寿命化を達成する新材種「AC4125K」を開発し、2023年12月より販売を開始した⁽²⁾。本稿ではその開発経緯および性能に関して報告する。

2. AC4125Kの開発目標

鑄鉄旋削加工におけるコーティング材種の損傷は大別すると表1の三形態に分類される。AC4125K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、

表1 鑄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	チップング損傷	溶着剥離損傷
損傷例			
発生原因	硬質成分とのこすり摩擦により、特にコーティング膜摩耗後に、摩耗が極度に進展。FCD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鑄肌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プングの集積。	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材加工で生じやすい。
工具要求特性	コーティング膜の高硬度・厚膜化	コーティング膜の高強度化、密着力強度向上	コーティング膜密着強度向上及び表面平滑化

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。このようなチッピングを伴う損傷は、ねずみ鋳鉄 (FC材)、FCD材を問わず発生していたが、強度の高いFCD材加工ではより顕著であった。このことから、鋳鉄加工における工具寿命の延長のためには、加工時のチッピングを抑制することが最も重要と判断し、耐チッピング性を従来工具に対し1.5倍以上向上させることを目標とし、AC4125Kの開発を行った。

3. AC4125Kの特長と切削性能

AC4125Kの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膜の高強度化と密着強度向上が重要となる。そこでAC4125K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、密着強度向上、視認性向上を達成した。

3-1 膜中亀裂進展の抑制

AC4125Kを含むAC4000Kシリーズに被覆されるセラミック膜はCVD^{*2}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膜の熱膨張係数の差によりコーティング膜中に引張残留応力^{*3}が発生する。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。しかしながら加工現場からの要求を達成するためには従来レベルの圧縮応力付与では不十分であ

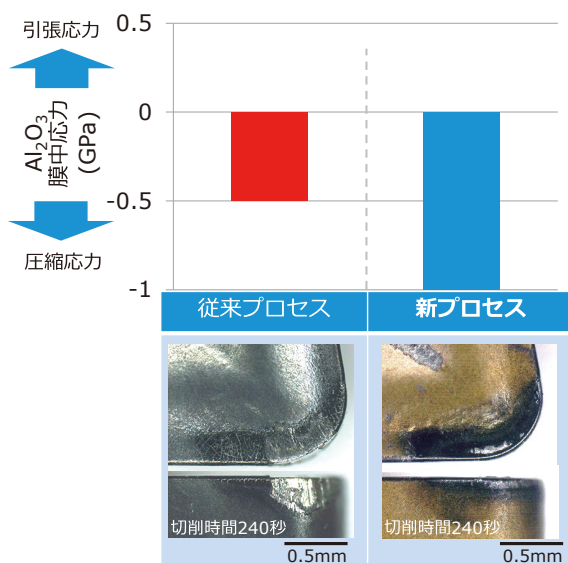


図1 膜中圧縮応力と耐チッピング性能

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)。

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 (vc) 450m/min、送り量 (f) 0.3mm/rev、切込み (ap) 1.5mm 切削油剤を用いた状態 (wet) で試験を実施した。工具寿命は切れ刃稜線部のチッピングが拡大し、継続使用が可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 結晶子の微細配向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膜の断面組織写真を図2に示す。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、vc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、厚膜化は膜剥離を引き起こす。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、すくい面のコーティング膜剥離と膜剥離を起点とした逃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 膜が局所的に破壊し、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する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、AC4000Kシリーズの共通技術として、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

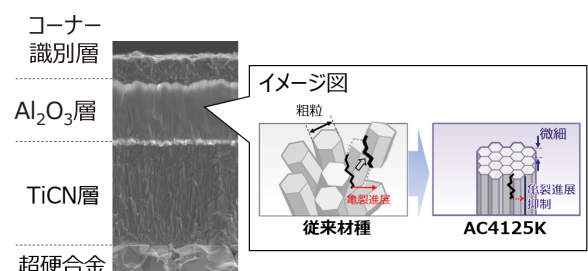


図2 工具断面膜組織と Al_2O_3 結晶微細配向制御の効果

向に配向する Al₂O₃結晶子より構成される Al₂O₃膜の開発を行った。さらに AC4125K においては、Al₂O₃結晶子の粒度の見直しを行い、微粒で緻密かつ均一な組織にすることで Al₂O₃膜中の亀裂進展を大幅に抑制し、優れた耐チップング性を実現した。コーティングパラメータを種々検討した結果、Al₂O₃膜を構成する結晶子の90%以上をc軸配向としつつ、Al₂O₃結晶子の粒度を微細化することが可能となった。Al₂O₃膜の微細配向制御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 (vc) 400m/min, 送り量 (f) 0.3mm/rev, 切込み (ap) 1.5mm, 切削油剤を用いた状態 (wet) の条件で実施した。工具寿命は切れ刃稜線部のチップングが生じるまでの切削時間とした。図3に示すとおり、従来材種と比較しチップングを大幅に抑制することが可能となり、工具寿命が向上していることがわかる。

被削材：FCD450 (断続)
 工具形状：CNMG120408
 切削条件：vc=400m/min, f=0.3mm/rev, ap=1.5mm, wet

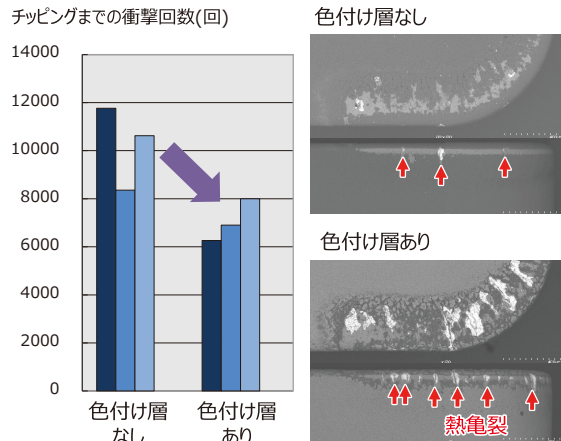
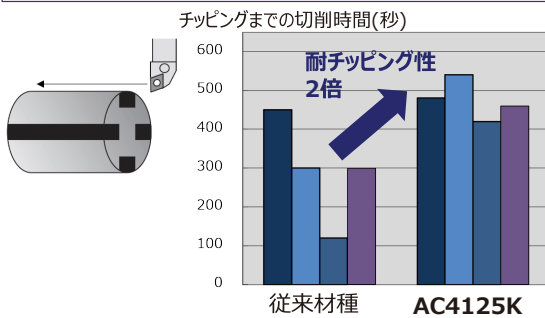


図4 色付け層による性能への影響評価結果

被削材：FCD450 (断続)
 工具形状：CNMG120408
 切削条件：vc=400m/min, f=0.3mm/rev, ap=1.5mm, wet



切削時間300秒 刃先写真

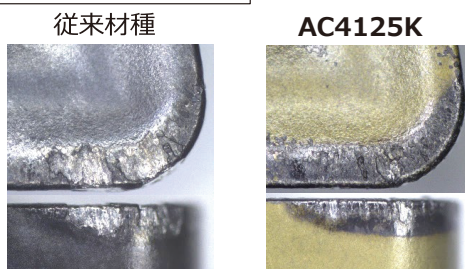


図3 AC4125Kの耐チップング性評価試験の結果

あることが一般的であった。

しかし、実際の加工現場では黒色外観は刃先の使用有無が視認しづらく、未使用のインサートを誤って廃棄する問題があったことから、性能を維持しつつも金色の色付け層を付与するために色付けプロセスの見直しを行った。写真1に従来材種とAC4125Kの使用済みのコーナー写真を示す。使用済みコーナーの視認性が向上したことにより、未使用コーナーが残ったインサートの誤廃棄や使用済みコーナーの誤使用の防止が可能となった結果、工具1個当たりの使用回数が増加して工具寿命が向上する。

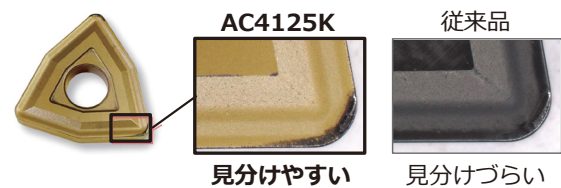


写真1 使用済みのコーナー写真

3-3 コーナー識別層の色付けによる視認性向上

AC4125K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亀裂進展強度向上と Al₂O₃膜構成粒子の微細配向制御技術による Al₂O₃膜強度向上に加え、コーナー識別層の色付けにより視認性を向上させる技術開発も並行して行った。鋼旋削用材種では、視認性向上のためコーナー識別層に金色の色付け層を付与するが、鋳鉄旋削用材種では図4に示す通り、色付け層中に熱亀裂が生じ、性能低下を引き起こすことから、黒色の Al₂O₃膜が最表面層で

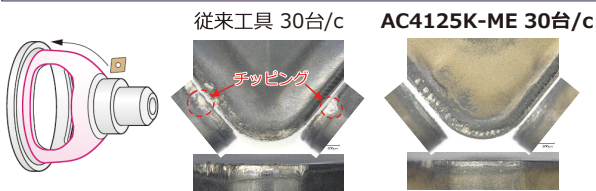
4. AC4125Kを用いた加工実例

図5にFCD600のデフケースを加工した事例を示す。加工部位が黒皮かつ複雑形状のため、断続度合いが高く、極めて不安定となりやすい加工である。(a)の加工において使用されていた工具は30台加工時点で工具切れ刃にチップングが集積し、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AC4125Kは同数加工でも、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。また (b) の加工において使用され

ていた工具は、8台加工時点で工具切れ刃にチッピングが認められ、継続使用が不可能となっていた。対してAC4125Kは1.3倍の数量まで加工した場合にも、チッピ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ピ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。

(a)

被削材：デフケース(FCD450) 断続加工
 工具形状：CNMG120412
 切削条件：vc=150m/min, f=0.2-0.3mm/rev, ap=2.0mm, wet



(b)

被削材：ホイールハブ(FCD500) 断続加工
 工具形状：DNMG150608
 切削条件：vc=200-300m/min, f=0.5mm/rev, ap=0.5mm, wet

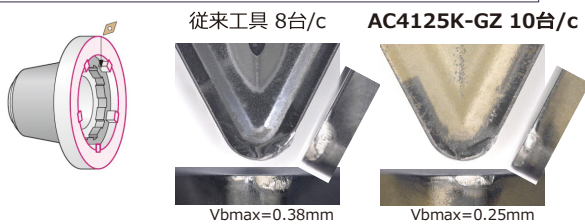


図5 AC4125Kの鋳鉄加工ユーザーでの使用実例

5. 結 言

AC4125KはCVDコーティングの高強度化により高い耐摩耗性と耐チッピング性を両立し、FC材/FCD材の断続加工における安定長寿命を可能とした。さらに金色コーティングによる視認性向上により工具管理が容易となり、ユーザーの加工コスト低減にも貢献できる。AC4125Kの追加により、鋳鉄旋削用材種AC4000Kシリーズは従来よりもさらに広範かつ高度な鋳鉄加工現場のニーズに応え、ユーザーの加工コスト低減、生産性向上の実現に寄与できるものと確信する。

用語集

※1 超硬合金

主たる成分がWC（炭化タングステン）とCo（コバルト）からなる、セラミックと金属の複合材料。

※2 CVD

Chemical Vapor Deposition：化学反応を利用して基材表面にセラミック被覆を施す手法の一種。

※3 引張残留応力

熱処理などの過程で物体の内部に残った、物体を引き延ばす方向の力であり、コーティング膜中のものは強度低下の原因となる。反対方向に働く力が圧縮残留応力である。

参考文献

- (1) 奥野 他、「鋳鉄旋削加工用CVDコーテッド新材種」、SEIテクニカルレビュー第191号、pp.43-46 (2017)
- (2) 小野 他、「鋳鉄旋削加工に最適な最新切削工具 - 鋳鉄旋削用コーティング材種AC4010K/AC4015K/AC4125K-」、機械と工具 2024年3月号、pp.41-44 (2024)

執筆者

小野 聡：ハードメタル事業部 主査



米田 敦洋*：住友電工ハードメタル(株)



山西 貴翔：住友電工ハードメタル(株) 主査



金岡 秀明：住友電工ハードメタル(株) グループ長



*主執筆者