



ステンレス鋼旋削加工用材種 AC6030M/AC6040M

AC6030M/AC6040M for Stainless Steel Turning

竹下 寛紀*
Hiroki Takeshita

子吉 雄太
Yuuta Koyoshi

松田 直樹
Naoki Matsuda

奥野 晋
Susumu Okuno

広瀬 和弘
Kazuhiro Hirose

福井 治世
Haruyo Fukui

近年、環境への負荷が低く、かつリサイクル性に優れた材料であるステンレス鋼の需要量が増加している。しかし、ステンレス鋼は高能率・安定加工が困難なことから「難削材」の一つに分類される。当社はステンレス鋼加工における様々な課題を解決するため、新CVDコーティング技術「Absotech Platinum®」を適用した「AC6030M」、新PVDコーティング技術「Absotech Bronze®」を適用した「AC6040M」と粗加工用ブレード「EM型」を開発した。「AC6030M」は高い耐摩耗性と耐チップング性を有する一般加工用材種で、「AC6040M」は優れた耐欠損性を有する断続加工用材種である。新しい材種と新ブレードにより、幅広いステンレス鋼加工ユーザーの要求を満たすことができ、加工コスト削減を可能とした。

In recent years, a demand has increased for stainless steel having good recyclability and low environment load. However, due to its property of being difficult to attain stable processing with high efficiency, stainless steel is classified as one of the “difficult-to-cut materials.” In order to resolve problems of stainless steel turning, Sumitomo Electric Hardmetal Corporation has developed new coated carbide materials “AC6030M” incorporated with new Chemical Vapor Deposition (CVD) coating technology “Absotech Platinum®” and “AC6040M” incorporated with new Physical Vapor Deposition (PVD) coating technology “Absotech Bronze®,” along with new chip breaker “EM type.” Having high wear- and chipping-resistance, the AC6030M is a material for general processing. Having excellent fracture resistance, the AC6040M is a material for intermittent rough machining. These new materials and chip breaker can satisfy customer demands for cost reduction and higher productivity of stainless steel turning.

キーワード：旋削、コーテッド超硬、CVD、PVD、ステンレス鋼

1. 緒言

切削工具に用いられる刃先交換型チップ材種で、超硬合金母材表面に硬質セラミックコーティングを被覆した材種（以下、コーティング材種と呼ぶ）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%を占めている（図1）。

コーティング材種を用いて切削加工される被削材には、炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、鋳鉄等、様々な鉄鋼材料がある。その中でもステンレス鋼は昨今の地球環境保護や省資源の声が高まっている状況下で、耐食性に優れることから表面への溶剤塗装が不要で環境への負荷が低く、かつリサイクル性に優れ、環境ニーズに適合した材料であるため、その需要量は年々増加している（図2）。

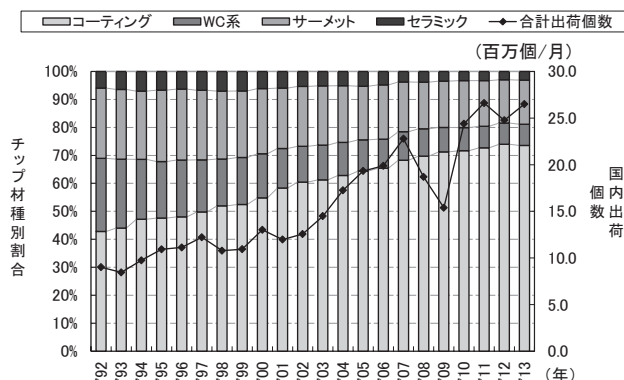


図1 刃先交換型チップの材種別出荷割合と国内出荷個数 (1)

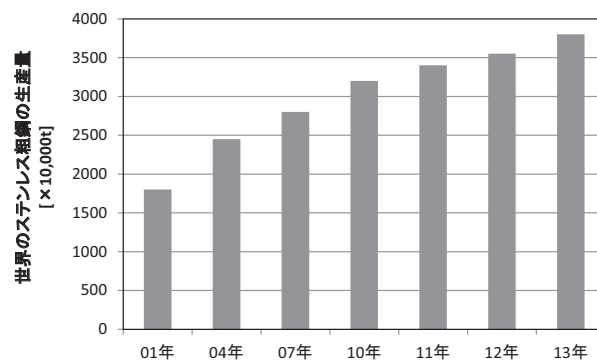


図2 世界のステンレス粗鋼の生産量の推移 (2)

しかしながら、ステンレス鋼は切削加工する際に、(1) 加工面が硬化しやすいため工具の刃先が欠けやすい、(2) 熱伝導性が低いため切削熱が逃げにくく、工具の刃先が高温となり塑性変形が起きやすい、(3) 切削工具材種との親和性が高いため刃先に凝着しやすい、などの問題が生じることから「難削材」の一つに分類され、高能率・安定加工が困難であることが課題となっていた。

このほど当社はこうした課題を解決するため、新CVD^{※1}コーティング技術「Absotech Platinum」を適用した旋削用CVD材種「AC6030M」、新PVD^{※2}コーティング技術「Absotech Bronze」を適用した旋削用PVD材種「AC6040M」と粗加工用ブレーカ「EM型」を開発した。以降にその開発経緯、および性能に関して述べる。

2. ステンレス鋼の種類と市場の傾向

2-1 ステンレス鋼の種類

ステンレス鋼とは10.5%以上のクロムを含有した鋼のことをいい、一般鋼と比較して極めて耐食性に優れる材料である。ステンレス鋼は、クロム、ニッケル、その他の金属元素添加量や金属組織によって主に5つに分類される(表1)。

このうち、主要なものはオーステナイト系であり、ステンレス鋼材料の約60%を占め、耐食性以外にも耐久性、耐熱性や強度が高いことから、建築材、自動車部品、化学工業、食品工業、原子力発電、化学プラント、工業設備、水道管など、ありとあらゆる分野に用いられている材料である。

表1 ステンレス鋼の種類と特徴

	代表鋼種	主要成分	主な特徴	用途例
オーステナイト系	SUS304	18%Cr-8%Ni	高温強度、低温靱性、加工硬度、非磁性	工業設備、医療機器、車両
	SUS316	18%Cr-12%Ni-2%Mo		
フェライト系	SUS430	18%Cr、低カーボン	耐食性、加工性	家庭用温水器、マフラー
	SUS444	19%Cr-2%Mo-Ti,Nb,Zr		
マルテンサイト系	SUS410	13%Cr	焼き入れにより硬化	刃物、タービンブレード
	SUS440	18%Cr		
二相系 (オーステナイト・フェライト)	SUS329J1	25%Cr-4.5%Ni-2%Mo	耐海水性、高強度	化学プラント、船舶
	SUS329J4L	25%Cr-6%Ni-3%Mo、低カーボン		
析出硬化系	SUS630	17%Cr-4%Ni-4%Cu-Nb	熱処理により強度が向上	航空、宇宙、ヨット
	SUS631	17%Cr-7%Ni-Al		

2-2 ステンレス鋼加工ユーザーの動向

近年のステンレス鋼加工のユーザーは地域により被削材や加工条件、使用工具の傾向が異なる。

日本国内や欧米諸国のユーザーではオーステナイト系ステンレス鋼の比率は依然高いが、二相系や析出硬化系などの被削性の悪い材料の加工が近年増加傾向にある。また、船舶用のシャフトやポンプなど大型の被削材が多いことから、耐摩

耗性に優れ、汎用性の高いCVD材種の使用比率が高い。

それに対し、中国を代表とする新興国のステンレス鋼加工ユーザーでは、被削材のほとんどがオーステナイト系で、少量多品種の量産部品(バルブやナットなど)の加工が多い。また、剛性の低い設備による能率重視の加工であることに加え、被削材のバラツキ(組織、硬度、表面粗さなど)が大きいことによる不安定な加工や断続加工の割合が高く、チップの欠損が発生しやすいため、耐欠損性に優れたPVD材種の使用比率が高い傾向にある。

新ステンレス鋼旋削加工用材種「AC6030M」、[AC6040M]と新粗加工用ブレーカ「EM型」の開発はこれらの市場の特徴や動向を踏まえ開発方針と目標性能を決定した。

3. AC6030M/AC6040Mの開発

当社のステンレス鋼旋削用コーティング材種のラインナップを図3に示す。ステンレス鋼加工の高速・連続加工から低速・断続加工までの全ての領域を「AC610M」、[AC6030M]、[AC6040M]の3材種でカバーしている。「AC610M」は、高速・連続加工において耐摩耗性に優れたCVD材種であり、「AC6030M」は、3材種のラインナップの中心に位置し、中速度領域の連続から断続加工と幅広い領域をカバーする汎用CVD材種である。「AC6040M」は、強度が高く衝撃に強いPVD材種である。

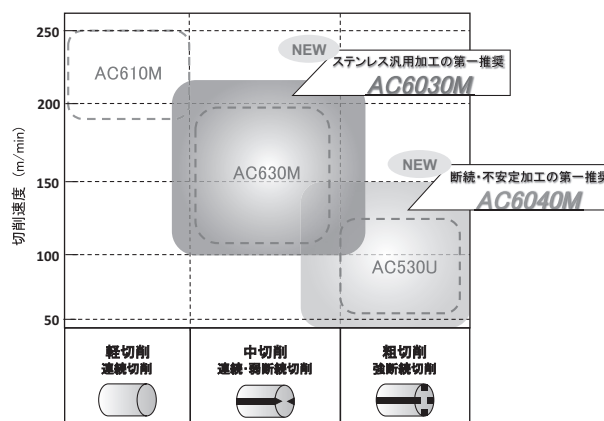


図3 AC6030M/AC6040Mの適用領域

3-1 AC6030Mの開発目標

AC6030Mの開発目標を明確にするため、既存製品であるCVD材種AC630M⁽³⁾のユーザーにおける使用済みチップの損傷解析を行った。その結果、AC630Mは耐摩耗性に優れているが、刃先のチッピングなどにより工具寿命の安定性(信頼性)が低い場合があることが明らかとなった。

この結果により、AC6030Mの重要課題をチッピングの

低減と断続加工における刃先欠損の抑制とし、目標性能を従来材種対比1.5倍以上の耐欠損性とした。また、耐摩耗性については市販されている材種対比で最も優れることとした。

3-2 AC6030Mの開発

AC6030Mは新開発のコーティング技術「Absotech Platinum」を採用しており、新開発のホウ化物系チタン化合物被膜と当社独自のCVDコーティング「スーパーFFコート」から構成されている。

(1) 耐チップング性の向上

既存製品AC630Mのチップングの損傷メカニズムを解析したところ、チップングは刃先稜線部のアルミナ被膜を起点として発生することがわかった。

CVDコーティングにおけるチップングの発生原因の一つとして、コーティング内の引張残留応力がある。残留応力は、コーティングと超硬合金母材の熱膨張係数の差により発生し、引張残留応力が大きいほど、加工による負荷がかかった際に膜中に亀裂が進展しやすく、それが起点となりチップングや膜剥離を引き起こす。反対に圧縮残留応力を有するコーティングは亀裂の進展が抑制され、耐チップング性に優れたコーティングであるといえる。

AC6030Mはコーティングの最外層として新規のホウ化物系チタン化合物被膜を適用することにより、アルミナ被膜中に発生する引張残留応力を低減させることに成功した(表2)。このように、チップングの原因となる引張残留応力を低減させたことで、工具の安定性(信頼性)が大幅に向上した。

表2 従来コーティングとAC6030Mの膜中引張残留応力

	膜中残留応力
従来コーティング	800MPa
AC6030M (Absotech Platinum)	200MPa

(2) 耐溶着性の向上

AC6030Mは耐溶着性を向上させるため、コーティング後に表面平滑処理を施している。これにより、コーティングの表面粗度を向上させ(図4)、被削材との摩擦抵抗を大幅に低減させている。また、被削材と親和性の低いアルミナ被膜

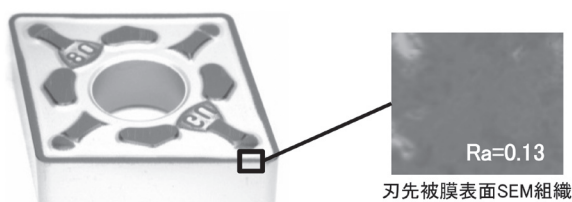


図4 AC6030Mの外観と刃先の面粗度

を最表面に露出させることで、耐溶着性と切りくず処理性を向上させている。さらに、AC6030M独自の外観色調により、コーナー視認性を確保しており、暗い作業現場でも使用済コーナーの識別が可能であるという特長を有している。

(3) 耐チップング性と耐摩耗性の両立

AC6030Mはホウ化物系チタン化合物被膜の効果に加えアルミナ層の膜厚を従来比で30%程度薄くすることで、耐チップング性を大幅に向上させている。さらに薄膜化による耐摩耗性の低下を防ぐために、当社独自の「スーパーFFコート」の膜組成を最適化することで、膜硬度を向上させており、これにより耐チップング性と耐摩耗性を両立させることに成功した。

図5からAC6030Mは耐欠損性を評価する社内試験において既存材種と比較して2倍以上、他社製品対比で1.4倍の耐欠損性を示していることがわかる。

さらに、図6からAC6030Mは耐摩耗性を評価する社内試験において他社製品、また既存製品であるAC630Mと比較しても良好な耐摩耗性を有していることがわかる。

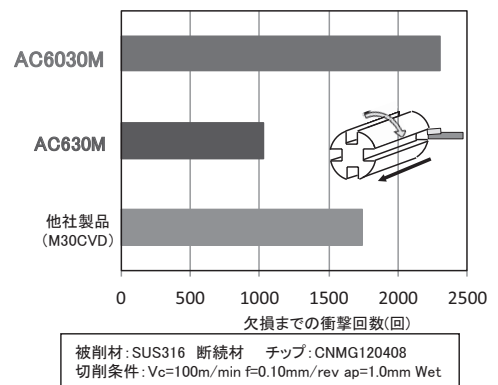


図5 AC6030Mの切削性能(耐欠損性評価)

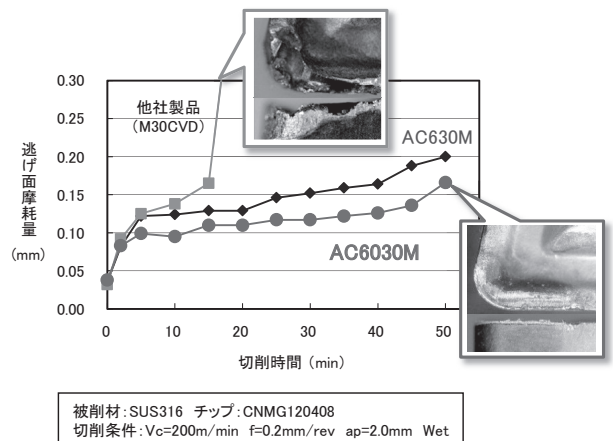


図6 AC6030Mの切削性能(耐摩耗性評価)

3-3 AC6030Mの使用実例

図7、図8にAC6030Mの使用実例を示す。図7はGU型ブレードの例であるが、優れた耐チップング性と耐摩耗性を示しており、他社製品に対し3倍以上の加工数にも関わらず、刃先損傷が安定していることが確認できる。

図8はEG型ブレードの例であるが、加工能率が2.5倍(切削速度 $V_c=60\text{m/min}$ から 100m/min 、送り量 $f=0.2\text{mm/rev}$ から 0.3mm/rev に向上)でも他社製品に対し2倍寿命を達成した。

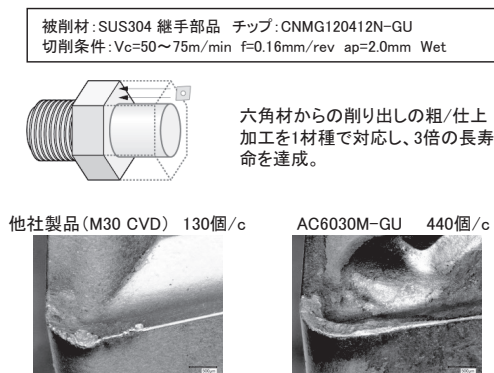


図7 AC6030M (GU型) の使用実例

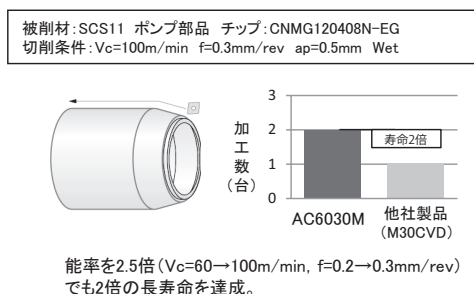


図8 AC6030M (EG型) の使用実例

3-4 AC6040Mの開発目標

AC6040Mの開発目標を明確にするために、既存製品であるAC530Uの使用済チップの損傷解析を行った。その結果、工具すくい面に発生するクレータ摩耗の進展により刃先強度が低下して欠損に至る損傷や、被削材が刃先に溶着し、その生成と脱落を繰り返すことによりコーティングが剥離することで突発的な欠損に至る事例が多数確認された。このような突発的な工具欠損は、寿命バラツキの原因となり、不定期に工具を交換する必要があるため、有人加工を余儀なくされる。また、欠損が発生しない程度の少ない加工数で工具交換が必要となり、生産性の低下や加工コストの増加につながる。

そこで、AC6040Mの目標性能は、従来材種に対し1.5倍以上の耐クレータ摩耗性と耐欠損性を有することとした。

3-5 AC6040Mの開発

AC6040Mは新開発の超硬合金母材と当社独自のPVDコーティング技術「Absotech Bronze」を適用している。「Absotech Bronze」は、当社の独自技術である超多層薄膜構造を継承するとともに、新組成のTiAlSiN系膜を採用したコーティング(図9)である。「Absotech Bronze」は従来のTiAlN膜と比較して、膜硬度を約40% (40GPaから56GPa) 向上させたことで、優れた耐摩耗性を備えている。

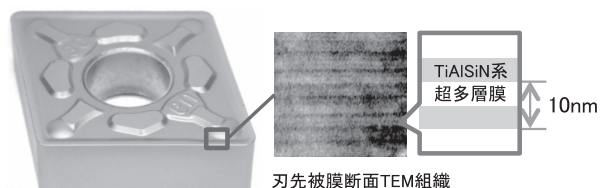


図9 AC6040Mの外観と膜構造

(1) 耐クレータ摩耗性の向上

クレータ摩耗は切りくずの擦過によってすくい面が加熱され、それに伴い膜が酸化、拡散反応を引き起こすことが原因で進展する。そのため、クレータ摩耗を抑制するには、コーティングの耐熱性を向上させることが重要となる。「Absotech Bronze」は膜中のTi、Al含有比率を最適化し、Siを添加することにより、優れた耐熱性を実現している。図10に「Absotech Bronze」と従来コーティングの耐酸化性試験の結果を示す。チップサンプルを 1000°C の高温大気中で30分間保持した後、室温に取り出し徐冷したサンプルの表面状態を観察した。この結果から、TiAlN膜や従来コーティングは 1000°C で酸化が開始しているのに対し「Absotech Bronze」はほとんど酸化しておらず優れた耐酸化性を有していることがわかる。

次に、図11にSUS316の丸棒を30分加工した後のすくい面の損傷状態の比較を示す。「Absotech Bronze」は従来材種に比べ、耐熱性の向上によりクレータ摩耗が大幅に抑制されていることがわかる。

	酸化テスト開始前	TiAlN膜	従来材種コーティング	Absotech Bronze
サンプル写真				

図10 酸化試験後のサンプル写真

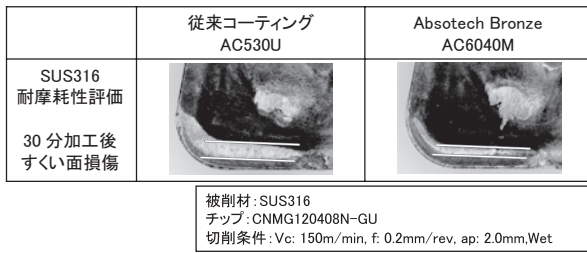


図11 AC6040Mの耐クレータ摩耗性

(2) 耐欠損性の向上

既存製品AC530Uが欠損するメカニズムを解析した結果、加工中にコーティング膜が摩耗又は剥離を起こし、超硬合金が露出すると、合金を構成するWC (タングステンカーバイド) の粒子が脱落し、突発的に欠損することが明らかとなった。そこで、超硬合金の組織に着目し開発を行った。新開発の超硬合金は、WCとCo (コバルト) の原料を見直し、さらに焼結条件を改良することで、WCの粒成長を制御し、従来合金に比べ均質な合金組織を形成している。均質な合金組織により欠損の起点となる組織中の欠陥の発生を抑制し、さらに加工中に合金内部に発生する亀裂の進展を抑制するとともに、粒子の脱落を低減することで耐欠損性を向上させることに成功した。図12に曲げ強度試験の結果を示す。AC6040Mの超硬合金は従来合金に比べ曲げ強度 (抗折力 TRS*) が約20%高く、強度が向上していることがわかる。

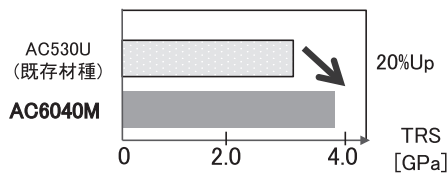


図12 AC6040Mの曲げ強度試験の結果

(3) 耐欠損性と耐摩耗性の両立

AC6040Mは上述したように新コーティング技術「Absotech Bronze」と超硬母材の改良により、優れた耐摩耗性と耐欠損性を併せ持つ材種である。図13に耐摩耗性評価の結果を示すが、AC6040Mは既存製品と比較して約1.5倍以上、他社製品と比較しても良好な耐摩耗性を有していることがわかる。また図14に耐欠損性評価の結果を示すが、AC6040Mは既存製品と比較して2倍以上、他社製品対比で1.5倍の耐欠損性を有していることがわかる。

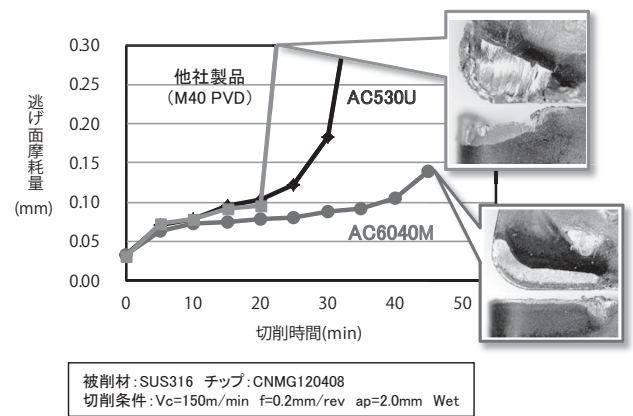


図13 AC6040Mの切削性能 (耐摩耗性評価)

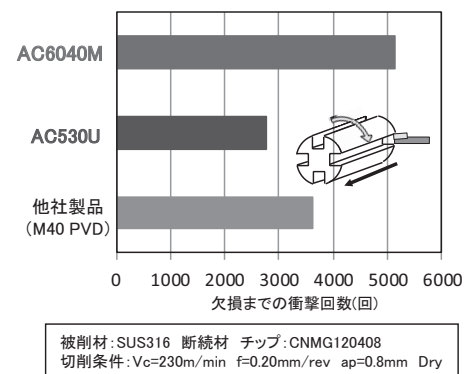


図14 AC6040Mの切削性能 (耐欠損性評価)

3-6 AC6040Mの使用実例

図15、図16にAC6040Mの使用実例を示す。図15はGU型ブレーカの例であるが、優れた耐溶着性、耐欠損性を示しており、既存製品であるAC530Uに対して2.7倍の工具寿命を達成した。

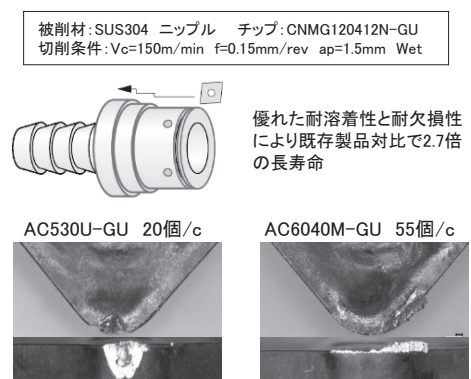


図15 AC6040M (GU型) の使用実例

図16にEG型ブレーカの例を示す。本加工はSUS304相当の鋳造品 (SCS13) の加工であるが、表面の錆肌状態が悪く、被削材のバラツキ (組織、硬度、表面粗さなど) が大きいため欠損が多発する工程である。AC6040MのEG型ブレーカはこのような不安定な加工条件において優れた耐欠損性を示し、他社製品に対して、約2倍の寿命を達成した。

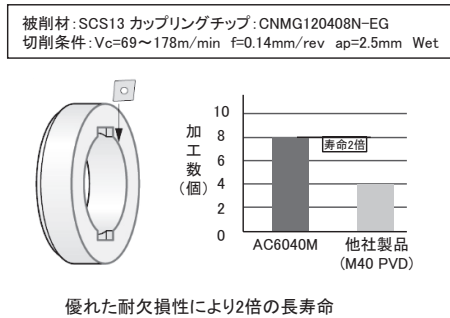


図16 AC6040M (EG型) の使用実例

が完成し、従来の仕上げ用ブレーカの「SU型」、汎用ブレーカの「EX型」、「GU型」、「UP型」と組み合わせることで、ステンレス鋼加工をより広くカバーすることが可能となった (図18)。

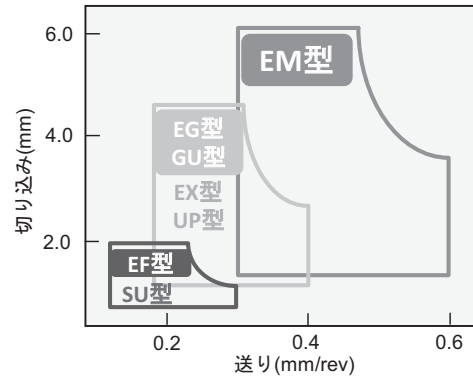


図18 ステンレス鋼加工用EM型ブレーカとEシリーズ適用領域

4. 粗加工用「EMブレーカ」の開発と切削性能

ステンレス鋼の加工において、工具材種同様、切りくず処理性や耐境界損傷性は、工具の寿命安定性に対して非常に重要な要素である。当社はこれまでに切りくず処理性、耐クレータ摩耗性、耐境界損傷性を改善した仕上げ加工用ブレーカの「EF型」と汎用ブレーカの「EG型」をステンレス鋼加工用に展開しているが、新たに粗加工用ブレーカとして「EM型」を開発した。

EM型ブレーカは既存ブレーカであるMU型に比べて、すくい面の形状を滑らかにし、切りくずの排出性を向上させると共に、切れ刃の稜線部の変化点をなくすことで刃先強度を向上させるという2つの設計コンセプトを採用した (図17)。このため高送りや大切込みなどの粗加工において優れた切りくず処理性と耐境界損傷性を示す。EM型の開発により、ステンレス加工用ブレーカシリーズ「EF型」、「EG型」、「EM型」

図19にAC6030MのEM型ブレーカでの使用実例を示す。EM型ブレーカの切りくず処理性の向上と刃先強度の向上の効果により、切れ刃外の欠損を抑制し安定加工を実現している。

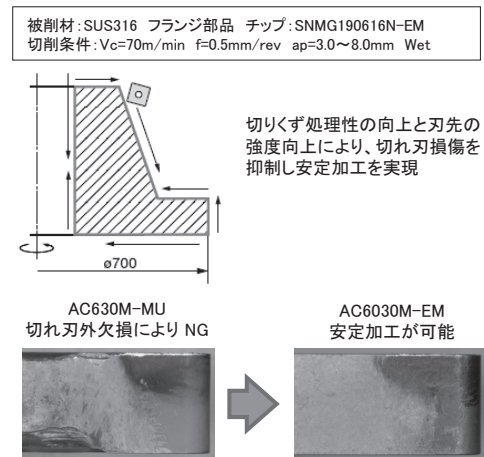


図19 AC6030M (EM型) ブレーカとの使用実例

	切りくず処理性の改善		境界損傷の改善	
	断面形状	すくい面摩耗比較	切れ刃部形状	境界摩耗比較
従来品				
EM型				
	大Rすくい面により、切りくずがスムーズに流れ、摩耗を抑制		切れ刃稜線部の変化点を無くし境界部の損傷を抑制	

図17 EMブレーカの設計コンセプト

5. 結 言

新CVDコーティング技術「Absotech Platinum」を適用した汎用材種「AC6030M」は、高能率加工や不安定加工などあらゆる市場ニーズに対応し、幅広い加工条件で安定して長寿命が図れる材種であり、新PVDコーティング技術「Absotech Bronze」を適用した断続加工用材種「AC6040M」は、断続加工や不安定加工で抜群の信頼性を得られる材種である。高速、高能率切削用「AC610M」も加えた3材種シリーズと新ステンレス鋼加工用ブレーカシリーズ「EF型」(仕上げ加工用)、「EG型」(汎用)、「EM型」(粗加工用)によりユーザーの加工コスト削減、生産性向上に大きく貢献できるものと確信している。

・「Absotech」「スーパーFFコート」は住友電気工業㈱の商標あるいは登録商標です。

用語集

※1 CVD

Chemical Vapor Deposition: 気相中で物質の表面に化学的手法により目的とする物質の薄膜を形成する方法。

※2 PVD

Physical Vapor Deposition: 気相中で物質の表面に物理的手法により目的とする物質の薄膜を堆積する方法。

※3 TRS

Transverse Rupture Strength: 3点曲げ試験により求められる曲げ強度の指標。試験方法: CIS 026 (JIS R 1601, ISO 3327)。

参 考 文 献

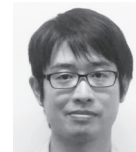
- (1) 超硬工具協会月報(～2013年)
- (2) ステンレス協会HP「世界のステンレス粗鋼生産量」(<http://www.jssa.gr.jp/contents/stats/yields/>)
- (3) 伊藤実 他、「ステンレス鋼旋削用材種「エースコート® AC610M/AC630M」の開発」、SEIテクニカルレビュー第167号、p115-119 (2005)

執 筆 者

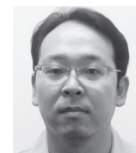
竹下 寛紀* : 住友電工ハードメタル(株)
合金開発部



子吉 雄太 : 住友電工ハードメタル(株)
合金開発部



松田 直樹 : 住友電工ハードメタル(株)
デザイン開発部



奥野 晋 : 住友電工ハードメタル(株)
合金開発部 主査



広瀬 和弘 : 住友電工ハードメタル(株)
合金開発部 主席



福井 治世 : 住友電工ハードメタル(株)
合金開発部 グループ長
博士(工学)



*主執筆