



航空機部品加工用超硬工具の最新材質

Cutting-Edge Carbide Tools for Aircraft Industry

小池 さち子*
Sachiko Koike

濱木 健成
Kensei Hamaki

山西 貴翔
Takato Yamanishi

津田 圭一
Keiichi Tsuda

近年、航空機市場では長期的な需要増加が見込まれており、航空機部品製造の高能率化が求められている。航空機のエンジンや構造部品に使用される耐熱合金やチタン合金は難削材に分類され製造コストに占める加工費の割合が高いため、切削工具には高能率化と長寿命化が強く要求される。当社ではこれらのニーズを実現するため、耐熱合金およびチタン合金加工に特化した超硬工具材質を開発した。耐熱合金加工には高温下での圧縮歪量を75%低減した耐熱バインダー超硬合金を開発し、高速・高送り加工での塑性変形と摩耗を抑制し、高能率加工を可能とした。チタン合金加工には耐反応性に優れた新コーティングを開発し、工具への凝着を抑制することにより背分力を30%低減し、工具の長寿命化を実現した。

In recent years, increased demand in the aircraft market has led to the need for higher production efficiency of aircraft parts. Heat-resistant alloys and titanium alloys, widely employed for aircraft engines and structural members, are classified as difficult-to-machine materials and require cutting tools with high efficiency and long service life. In order to meet these user needs, Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed next-generation cemented carbide tools specialized in machining heat-resistant alloys and titanium alloys. For heat-resistant alloys, a new cemented carbide material with excellent high-temperature properties suppresses plastic deformation and wear even in high-speed, high-feed machining, enabling highly efficient machining. For titanium alloys, a newly developed film coating significantly reduces the reaction with titanium alloys, suppressing adhesion to the tool and extending the service life.

キーワード：耐熱合金、チタン合金、切削工具

1. 緒 言

航空機市場は長期的な成長が見込まれており、特に民間旅客機の需要は年率約4%で増加し、今後20年間で倍増すると予想されている。この飛躍的な需要に応えるため、航空機およびエンジン製造各社では、部品製造における高能率化および低コスト化が急速に進められている。

航空機の部品製造では大きなサイズ of 材料を削り出して部品を仕上げる工程が多いため、切削工具性能の果たす役割は非常に大きい。その中でもエンジンや構造部品に使用される耐熱合金^{*1}およびチタン合金^{*2}は難削材に分類され製造コストに占める加工費の割合が高いため、切削工具には高能率化と長寿命化が強く要求されている。

当社では、これらの市場ニーズを満たすために航空機産業に特化した工具材料の研究開発を行っており、本稿ではその中から耐熱合金およびチタン合金加工用の最新の超硬工具材質を紹介する。

2. 耐熱合金加工用の最新超硬工具

2-1 耐熱合金加工における課題

航空機用エンジンの燃焼室から排気口までの材質は、INCONEL 718やワスパロイ等のニッケル基耐熱合金が主

に使用されている。図1に耐熱合金を加工した際の代表的な超硬工具の刃先損傷写真を示す。耐熱合金は熱伝導率が低く、強度の高い材料である。このため切削加工時の発熱により工具摩耗が急速に進行するとともに、刃先では塑性変形が生じることが特徴である。耐熱合金の一般的な加工条件では、工具の刃先は700℃以上の高温環境下に晒されることが知られている。図2に示すとおり、超硬合金の結合相^{*3}として広く使用されているコバルトの硬度は温度上昇に伴い低減し、700℃では室温の約20%まで低下するた

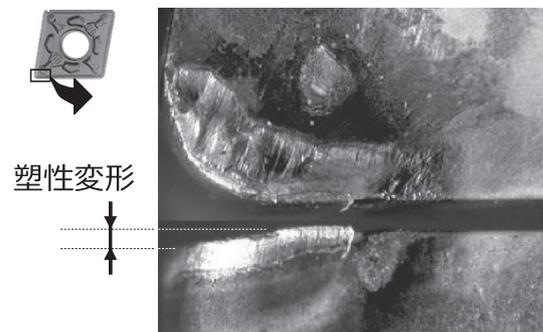


図1 耐熱合金の加工における工具の損傷状態

め⁽¹⁾、これが前述の塑性変形の原因となっている。

そこで、耐熱合金加工用に高温特性に優れた耐熱バインダー超硬合金を開発した。

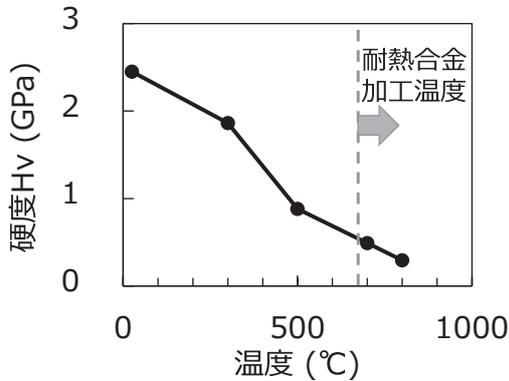


図2 コバルトの温度と硬度との関係

2-2 耐熱バインダー超硬合金の特長

図3に通常超硬合金と耐熱バインダー超硬合金の高温圧縮試験の結果を示す。耐熱バインダー超硬合金の1000°Cにおける圧縮歪量は通常超硬合金の1/4以下であり、このことから耐熱バインダー超硬合金は高温環境下でも変形が生じ難いことがわかる。図4は耐熱合金の旋削加工後の工

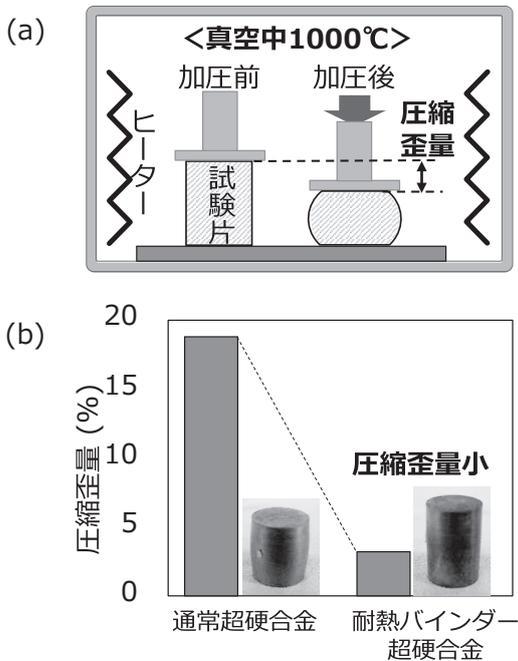
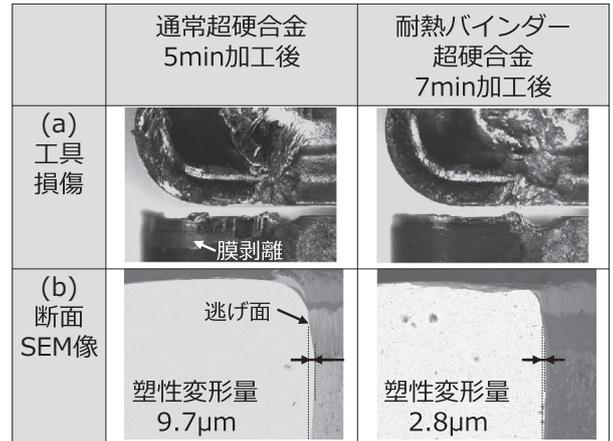


図3 高温圧縮試験の (a) 模式図および (b) 圧縮歪量と試験後試験片外観写真

具損傷および損傷部の断面像である。通常超硬合金は大きく塑性変形して逃げ面が被膜が剥離しているのに対し、耐熱バインダー超硬合金では塑性変形は殆どなく、摩耗量も小さいことがわかる。これらの結果が示すとおり、耐熱バインダー超硬合金は高温環境下での耐塑性変形性と耐摩耗性に優れているといえる。

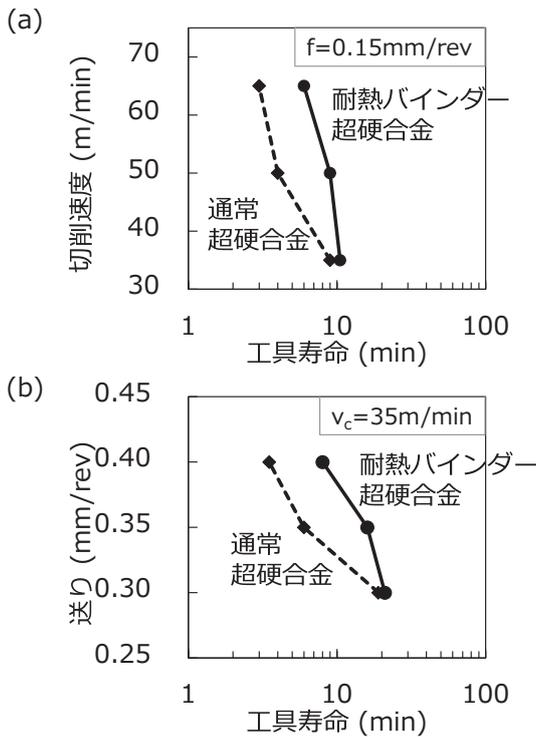


被削材 INCONEL 718, 工具型番 CNMG120408N-GU
切削速度 $v_c=35\text{m/min}$, 送り量 $f=0.40\text{mm/rev}$,
切込み $a_p=1.5\text{mm}$, wet

図4 耐熱合金の旋削加工後の (a) 工具損傷写真および (b) 損傷部断面SEM像

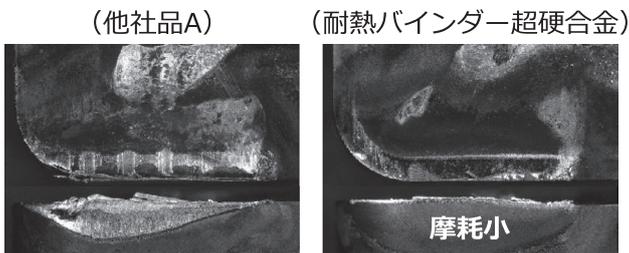
2-3 耐熱バインダー超硬合金の性能

図5は耐熱合金の旋削加工における v - t 線図および f - t 線図^{*4}である。前項の高温圧縮試験結果から想定していたとおり、耐熱バインダー超硬合金は加工速度・送りの高い高能率加工の領域において通常超硬合金に対して優れた工具寿命を発揮することが確認できている。また実際のエンジンシャフトの生産現場での耐熱バインダー超硬合金の使用実例を図6に示す。耐熱バインダー超硬合金は工具摩耗が極めて小さく、現行他社品に対して加工能率1.3倍、且つ工具寿命1.5倍を実現できている。



被削材 INCONEL 718, 工具型番 CNMG120408N-GU, $a_p=1.5\text{mm}$, wet

図5 耐熱合金の旋削加工における (a) v-t線図および (b) f-t線図



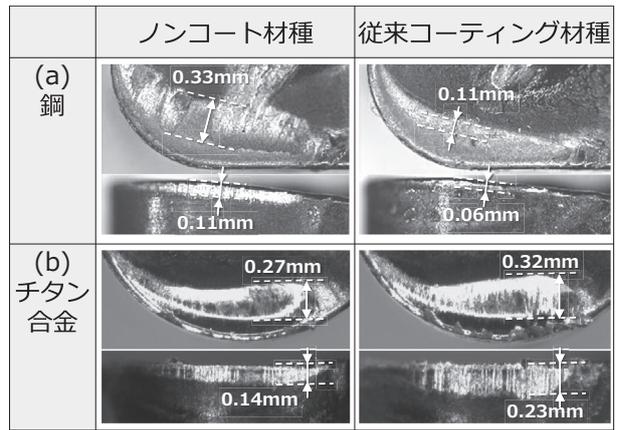
被削材 INCONEL 718, 工具型番 SNMG190616N-MU $v_c=40\text{m/min}$, $f=0.54\text{mm/rev}$, $a_p=2.7\text{mm}$, wet, 10min

図6 エンジンシャフト外径加工での工具損傷比較

3. チタン合金加工用の最新超硬工具

3-1 チタン合金加工における課題

航空機の製造では軽量化による運航経費削減を狙った材質変革が進んでおり、軽量で腐食に強いチタン合金の使用量が増加している。一方で、チタン合金は化学的に非常に活性な材料であるため切削加工時に工具との反応により損傷が進行することから、難削材に分類される⁽²⁾。図7に示すとおり、鋼加工においては切削工具にコーティングを被覆することですくい面、逃げ面ともに損傷が大きく抑制されるのに対し、チタン合金加工においては寧ろコーティング材種のほうが損傷の進行が速くなる。また図8は加工初



(a) 被削材 SCM435, 工具型番 CNMG120408N-SU $v_c=240\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$, $a_p=1.0\text{mm}$, wet, 5min
 (b) 被削材 Ti-6Al-4V, 工具型番 CNMG120408N-EX $v_c=50\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$, $a_p=0.8\text{mm}$, wet, 60min

図7 旋削加工におけるコーティング効果

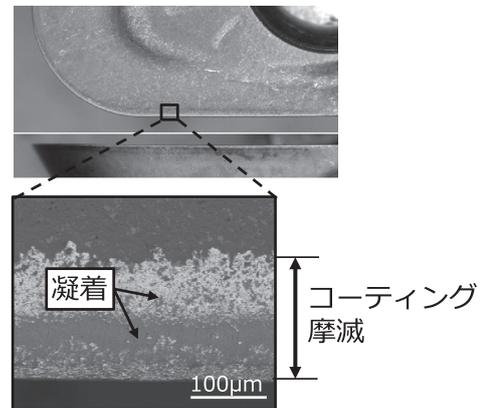


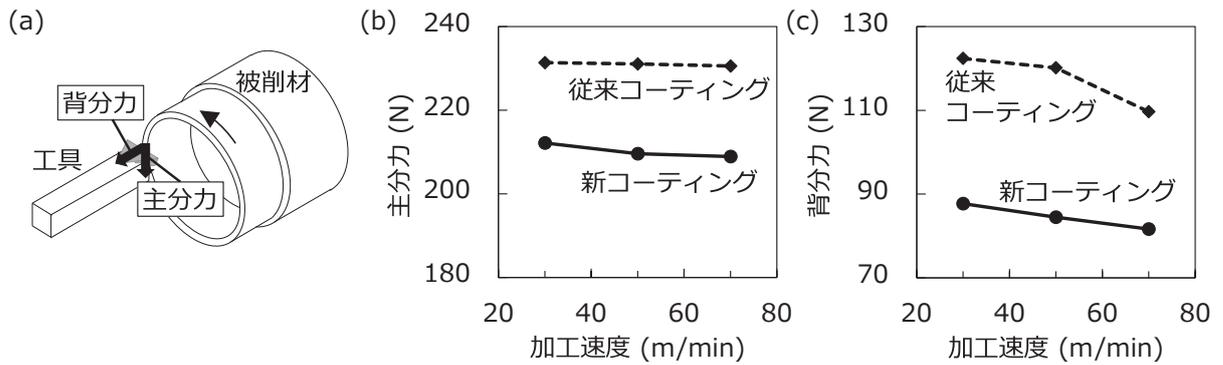
図8 チタン合金の加工初期における工具損傷

期のコーティング材種の工具損傷写真である。短時間の加工にも関わらず広範囲でコーティングが摩滅していることから、チタン合金の反応性は極めて高く、特にコーティングとの反応が著しいといえる。

そこで当社では、チタン合金と反応し難い新しいコーティング材質を開発した。

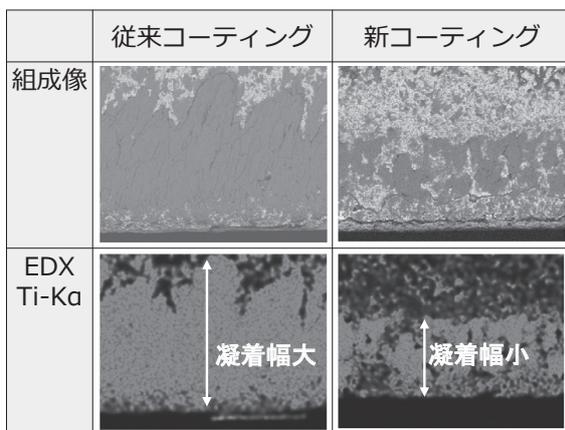
3-2 チタン合金加工用新コーティングの特長

図9はチタン合金の二次元切削加工⁽³⁾における切削抵抗調査結果である。従来コーティングに対して、チタン合金加工用の新コーティングは切削抵抗が低く、特に刃先凝着に大きく影響される背分力が約30%低減されている。図10にチタン合金のミリング加工後の工具すくい面刃先の凝着量を示す。新コーティングは凝着幅が小さいことから、切りくずとの擦過が少なく切削抵抗が抑えられていると思われる。これらの結果より、新コーティングはチタン合金に



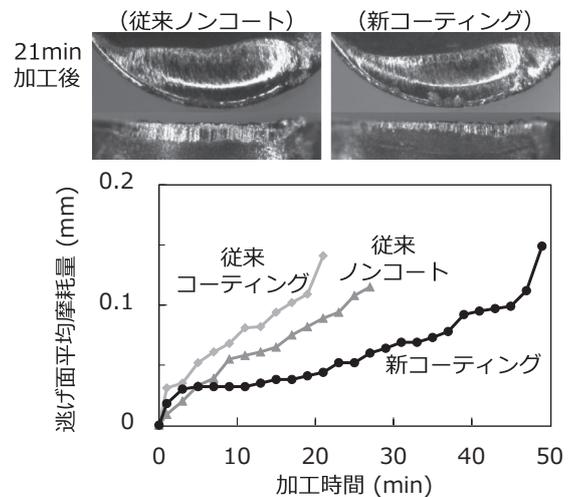
被削材 Ti-6Al-4V, 工具型番 TPGN220404, $v_c=30-70\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$, 切削幅1mm, dry

図9 チタン合金の二次元乾式加工での切削抵抗評価結果 (a) 二次元加工模式図, (b) 主分力, (c) 背分力



被削材 Ti-6Al-4V, 工具型番 RPHT1204M0EN-G
 $v_c=50\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/teeth}$, $a_p=2.5\text{mm}$
 $a_e=25\text{mm}$, wet

図10 チタン合金のミリング加工でのすくい面刃先凝着量



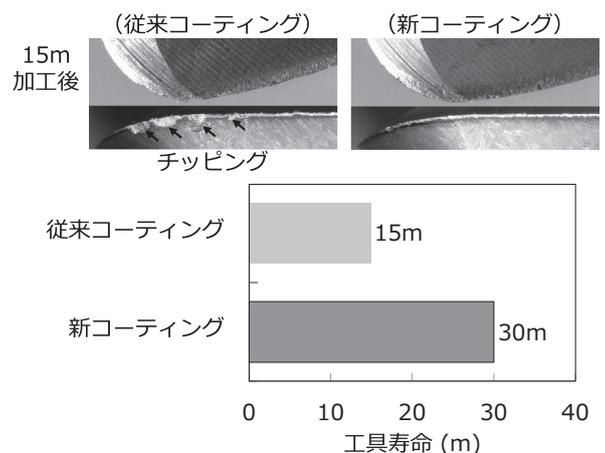
被削材 Ti-6Al-4V, 工具型番 CNMG120408N-EX
 $v_c=70\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$, $a_p=0.8\text{mm}$, wet

図11 チタン合金の旋削加工での工具寿命評価

対する耐反応性に優れているといえる。

3-3 チタン合金加工用新コーティングの性能

チタン合金の旋削加工での工具寿命評価結果を図11に示す。新コーティングによりすくい面、逃げ面ともに摩耗が抑制され、従来ノンコート工具に対して1.5倍以上の工具寿命を実現できている。また図12はラジラスエンドミルでのチタン合金の側面加工における工具寿命評価結果である。新コーティングでは凝着を起因とするチッピングの発生が少なく、従来コーティングに対して工具寿命が2.0倍まで向上している。



被削材 Ti-6Al-4V, 工具型番 SSEHV4120R-10
 $v_c=100\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$, $a_p=10\text{mm}$, $a_e=2\text{mm}$, wet

図12 チタン合金のミリング加工での耐摩耗性評価

4. 結 言

航空機産業にて広く使用されている耐熱合金およびチタン合金加工用の最新超硬工具を紹介した。今後、需要の拡大が予想される航空機産業において、これらの工具が顧客の製造能率向上とコスト削減に貢献できると期待する。

用語集

※1 耐熱合金

高温での耐食性、耐酸化性および強度に優れている合金であり、高温環境下で使用されるジェットエンジンやガスタービン部品などに使用される材料。

※2 チタン合金

軽量で耐食性に優れ、且つ強度の高い合金であり、特に比強度（引張強度／比重）が極めて高いため、高速回転体や航空機部品などに使用される材料。

※3 結合相

超硬合金に含まれる炭化タングステンなどの硬質粒子同士を結合させる役割をもつ金属成分。一般的にコバルトやニッケルなどが使用され、超硬合金の機械強度を決める成分のひとつ。

※4 v-t線図およびf-t線図

縦軸に加工速度および送り量、横軸に工具寿命時間をとり、それぞれを対数目盛で示したものの。

執 筆 者

小池さち子* : アドバンストマテリアル研究所 主席



濱木 健成 : 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)



津田 圭一 : 住友電工ハードメタル(株) 取締役



*主執筆者

・ INCONEL はHuntington Alloys Corporationの商標です。

参 考 文 献

- (1) 岡田厚正、山本恭永、依田連平、「鉄と鋼」、pp. 1186-1192、(一社)日本鉄鋼協会 (1987年)
- (2) S. Koseki, K. Inoue, K. Sekiya, S. Morito, T. Ohba, and H. Usuki, wear mechanisms of PVD-coated cutting tools during continuous turning of Ti-6Al-4V alloy, Precision Engineering, vol. 47, pp. 434-444 (2017)
- (3) J. Okida, H. Moriguchi, T. Nishioka, and H. Yoshimura, observations on orthogonal cutting processes - effect of friction between tool and work material, Advances in Abrasive Technology XI, p169 (2009)