

チタン合金切削加工における W_2C コーティングの有効性

The Effectiveness of W_2C Coated Tool in Machining Titanium Alloys

住友電工（正）*福井 治世 住友電工ハードメタル（非）**田林 大二，（非）**田中 大勢

*Haruyo Fukui, **Daiji Tabayashi, **Taisei Tanaka

*Sumitomo Electric Industries, Ltd, **Sumitomo Electric Hardmetal Corp.

1. はじめに

チタン合金は比強度（引張強度／比重）が極めて高く，耐食性に優れていることから，航空機，医療機器など様々な分野で用いられており，今後も需要の伸びが期待されている．一方，切削加工の観点ではチタン合金は難削材として位置づけられている．特に，熱伝導率が低いため切削速度が増すと加工点の温度が高くなって活性度が増し，工具摩耗の進行が早くなるという課題がある．このようなチタン合金切削加工に対して，工具寿命と工具費のバランスの観点から一般的には安価なノンコーティング超硬工具が用いられることが多い．

しかしながら切削工具の長寿命化を考えると，被削材であるチタン合金と工具表面の界面での反応を抑制することが重要でありトライボロジーの視点に立ったコーティング材料を創出する必要がある．そこで本研究では， W_2C をコーティングした工具を用いてチタン合金切削加工における有効性を，膜物性評価と実切削試験の両面から評価した．

2. 実験方法

本研究の W_2C はバインダーレス WC をカソードとし，アークイオンプレーティング法によりコーティングした．結晶相の同定は XRD (X-ray Diffraction)，硬度はナノインデント（測定荷重 9.8mN）で，耐酸化温度は TG-DTA（熱重量測定-示差熱分析）法にて評価した． W_2C のトライボロジー特性は， W_2C をコーティングした超硬合金ディスク表面上で，チタン合金（Ti-6Al-4V，直径 6mm の球面）を相手材としてボール・オン・ディスクしゅう動試験を常温，大気中で行った（23℃，RH50％）．なお，しゅう動試験は，しゅう動半径 1mm，荷重 1N，しゅう動速度 52mm/s (500rpm)，しゅう動回数 500 回（しゅう動時間 1 分）の条件とした．

被削材としてチタン合金（Ti-6Al-4V: HRC45）を用い，Fig. 1 に示すパイプ材を用いた 2 次元切削による切削抵抗評価を行った．また，円筒材外径を切削速度 $v_c=70$ m/min，送り速度 $f=0.2$ mm/rev，切込み量 $a_p=0.8$ mm，クーラント圧を 7MPa としたウェット条件で旋削加工し，耐摩耗性を評価した．なお，評価設備は DMG 森精機製ターニングセンター（NLX2500Y）で，切削抵抗評価にはキスラー社の圧電型切削動力計（TYPE9129AA）を用いた．

3. 実験結果

今回評価に用いた超硬合金基材は JIS 規格 K01 相当であり，コーティングの膜厚はいずれも $1\mu\text{m}$ とした．Table 1 に各材料の物性評価結果を示す．今回評価した W_2C は膜硬度の点では超硬合金に比べ高硬度であり，従来からの工具用コーティングである AlTiN とほぼ同等であった．

また，チタン合金に対する W_2C の摩擦係数は $\mu=0.23$ と超硬合金や AlTiN に比べると 1/2 以下であり，ディスクへの凝着も少なかった．一方， W_2C の酸化温度は超硬合金と同程度ではあるが，AlTiN と比較すると 430°C も低い膜材料であることがわかった．

Fig. 2 にチタン合金の二次元切削加工における切削抵抗評価結果を示す．いずれのコーティングも切削速度 $v_c=30\sim 70$ m/min の間では切削速度が増加するに従い切削抵抗が減少する結果であった．また，従来の汎用コーティングである AlTiN に対して， W_2C 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を及ぼす背分力が約 30% 低減されていた．実際に前記加工後に工具すくい面の凝着量を確認すると， W_2C コーティングでは凝着幅が狭く，切りくずとの擦過が少なくなっていた．

次に，工具の寿命評価結果を Fig. 3 に示す． W_2C コーティングの効果により，すくい面，逃げ面ともに凝着が抑制され耐摩耗性が向上した．結果，従来材質であるノ

Table 1 Summary of the material properties

	Cemented Carbide	W_2C	$Al_{60}Ti_{40}N$
Crystal structure	Hexagonal	Hexagonal	Cubic
Hardness (GPa)	26	35	37
Friction coefficient	0.53	0.23	0.65
Oxidation temperature ($^\circ\text{C}$)	560	590	1020

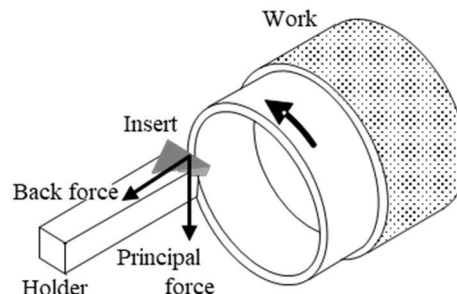


Fig. 1 Schematic sketch of the cutting geometry and the cutting forces for the turning test.

【Cutting condition】 Work material: Ti-6Al-4V, Insert: TPGN220404, $v_c=30\sim 70$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, Cutting width=1mm, Dry

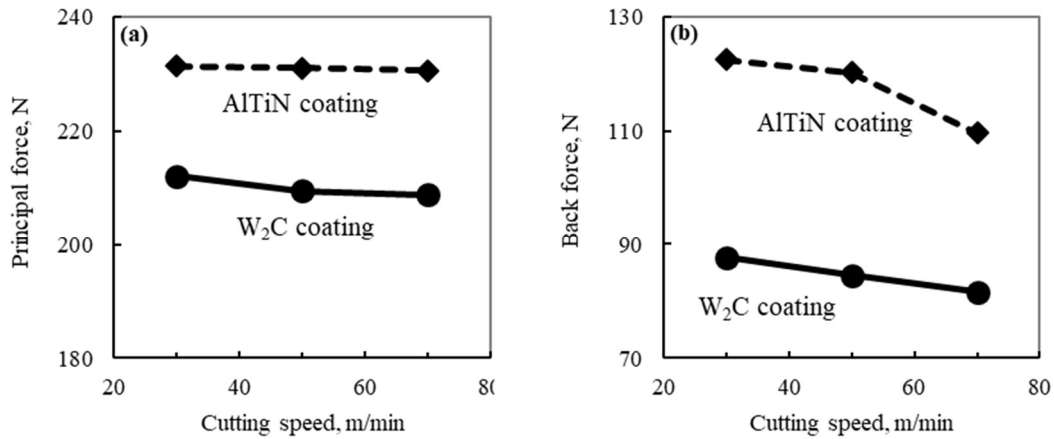


Fig. 2 Measurement of cutting forces. (a) Principal force, (b) Back force.

ンコート超硬合金に対しても 1.7 倍以上の工具寿命であることがわかった。

4. 考察とまとめ

今回、W₂C が工具表面にコーティングされることで耐酸化特性は低い AlTiN コーティングに比べて顕著にトライボロジー特性が向上できたのは、W₂C コーティングの結晶構造に起因すると考える。すなわち、AlTiN の結晶構造は立方晶で、W₂C は六方晶であるという違いがある。Fig.4 (a)に示す通り、チタン合金切削時のような高温環境下では、すくい面を擦過する切りくずとコーティングとの界面で、AlTiN コーティング中の N (窒素) が被削材であるチタン合金へ拡散し、接触界面で TiN 反応層が形成される。ここで、AlTiN 膜と TiN 反応層はともに立方晶であり、格子定数も近いことから強固に結合し、その凝着の影響で工具損傷が進展したと考える。

他方、W₂C の場合は、W₂C コーティング中の C (炭素) が被削材であるチタン合金へ拡散し、接触界面では TiC 反応層が形成されていると推察される。この TiC 反応層は立方晶であるが、膜である W₂C は六方晶であり、それぞれの結晶系が異なること、格子定数にも大きな差異があることから強固な結合とはならず、凝着に起因した大規模な破壊や摩耗といった損傷が進行しなかったのではないかと考える (fig.4 (b)参照)。

通常、切削工具と切りくずが接触するのは工具すくい面であるが、すくい面に六方晶の W₂C がコーティングされていると被削材であるチタン合金と工具表面の界面での反応が抑制される。結果、低摩擦係数 ($\mu=0.23$) が得られ、切削抵抗が低減できるなど良好なトライボロジー特性により膜の破壊や摩耗の進行を抑えることができ、従来から工具に用いられる立方晶の AlTiN などのセラミックスコーティングでは適用困難と考えられていたチタン合金切削加工におけるコーティングの有効性を示すことができた。

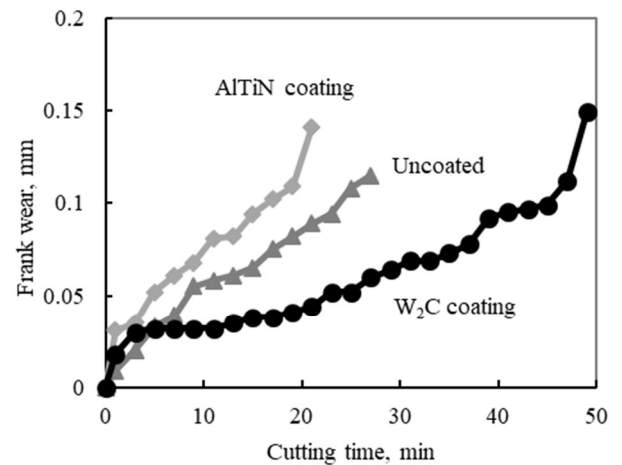


Fig.3 Flankwear data vs. cutting time of outer diameter continuous turning test.

【Cutting condition】 Work material: Ti-6Al-4V, Insert: CNMG120408N-EX, $v_c=70\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $a_p=0.8\text{mm}$, Wet (7MPa)

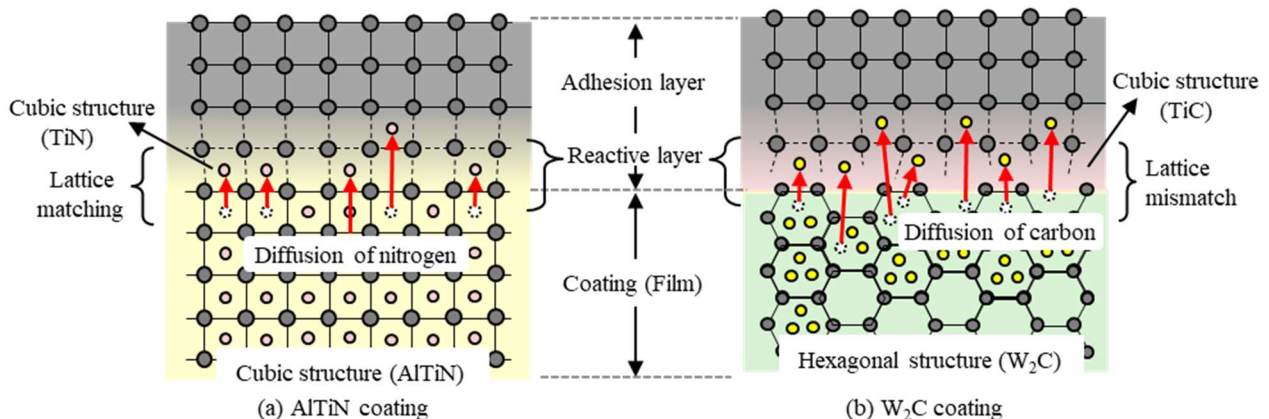


Fig. 4 Mechanism of interface adhesion property in machining.