

PVD コーティング工具による難削材の高能率・高精度加工に関する研究(第1報)  
 UBM スパッタコーティングエンドミルによる SUS304 の高速切削

金沢大学 ○嶋村公二, 細川 晃, 上田隆司, (株)北熱 政 誠一

Studies on High-efficiency and High-precision Machining of Difficult-to-cut Materials by PVD Coated Tools (1st Report)  
 High-speed Milling of SUS304 with Coated End Mills Deposited by UBM Sputtering Process

Kanazawa University Koji SHIMAMURA, Akira HOSOKAWA, Takashi UEDA, Hokunetsu Co., Ltd. Seiichi MASA

The UBM (UnBalanced Magnetron) sputtering method is applied to the coated end mills and some kinds of such tools are used in high-speed milling of SUS304. This coating film is designed to improve lubricating ability rather than heat resistance. Long tool life and good surface quality are obtained with these UBM-type coated tools than standard commercially available coated tools in high-speed side milling without coolant.

1. 緒言

ステンレス鋼, チタン合金およびニッケル基耐熱合金などの難削材の加工では, 低い熱伝導性, 高い加工硬化性および工具との高い親和性などから切削工具の消耗が早く, 所定の寸法精度や加工面粗さが得られない場合が多い。そのため, 種々のコーティング工具が開発されているが, 切削性能を十分満足するには至っていない。

現在, 難削材切削用エンドミルの PVD コーティングとしては, アークイオンプレーティング法(以下 AIP 法)による TiAlN(窒化チタンアルミ)や AlCrN(窒化アルミクロム)が主流となっている。これらは, 主として切削熱から工具母材を保護することを目的とした“耐熱性”重視のコーティングである。これに対し本研究では, 優れた平滑性および低い摩擦係数が期待できるアンバランスドマグネトロンスパッタ法(以下 UBM スパッタ法)<sup>1)2)</sup>によるコーティングをエンドミルに適用し, “潤滑性”を付与して加工時の熱の発生を抑制することで, 難削材の高能率・高精度切削を実現することを目的としている。本報では, SUS304 の高速切削試験を行った結果について報告する。

2. AIP 法および UBM スパッタ法の原理

AIP 法および UBM スパッタ法による金属窒化物の生成原理を Fig.1 に示す。AIP 法は, アーク放電を利用して金属を蒸発させ, 窒素ガスと結合することによって金属窒化物を基板に生成する。一方, UBM スパッタ法は, 陰極である金属ターゲットに Ar イオン衝突させ, はじき出された金属が窒素ガスと結合することによって金属窒化物を基板に生成する。UBM スパッタ法によって生成されたコーティング膜は, AIP 法の場合より優れた平滑性を示すことが知られている<sup>1)2)</sup>。

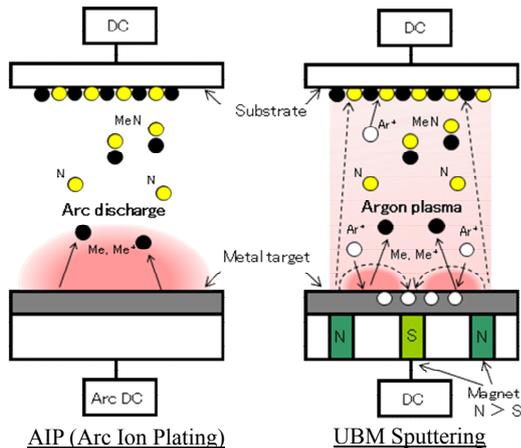


Fig.1 The principles of AIP and UBM Sputtering

3. コーティング工具および実験方法

実験に使用したコーティング工具を Table.1 に示す。基材は微粒子超硬エンドミル(φ2mm, 2 枚刃)である。UBM スパッタ法による TiN(U)および TiCN(U)の作製には, 量産型バッチ式 UBM スパッタ装置, AIP 法による TiN(A)および TiCN(A)の作製には, 量産型バッチ式 AIP 装置を用いた。TiAlN(A)は, 実績のある市販品を使用した。コーティング膜厚は合計 3μm とした。なお, TiCN(U)および TiCN(A)については, TiN と TiCN の 2 層構造とした。

コーティング膜の機械的性質を評価するため, 鏡面研磨した 12.7×12.7×5(mm)の微粒子超硬合金に 5 種類のコーティングを施し, 表面の機械的性質を評価した。硬さはナノインデント(Fischer 製, H100), 摩擦係数はボールオンディスク型摩擦摩耗試験機(CSEM 製, Tribometer)にて評価した。

次に, 各コーティングエンドミルの切削性能を評価するため, 金型加工用マシニングセンタ(株)森精機製作所製, NVD1500DCG)にて SUS304 の乾式側面加工を実施した(Fig.2)。切削条件を Table.2 に示す。1 刃あたりの送り速度は 0.005mm/tooth とし, 低切削速度 50m/min および高切削速度 220m/min にて行った。切削抵抗の測定には, 圧電動力計(Kistler 製, 9251A)を使用した。逃げ面膜摩耗幅は走査電子顕微鏡で反射電子像を観察し, 組成のコントラストから測定した。

Table .1 Coating sample

Sample	Process	Structure
TiN(U)	UBM Sputtering	TiN(3.0μm)
TiCN(U)	UBM Sputtering	TiN(1.5μm)+TiCN(1.5μm)
TiN(A)	AIP	TiN(3.0μm)
TiCN(A)	AIP	TiN(1.5μm)+TiCN(1.5μm)
TiAlN(A)	AIP	TiAlN(3.0μm)

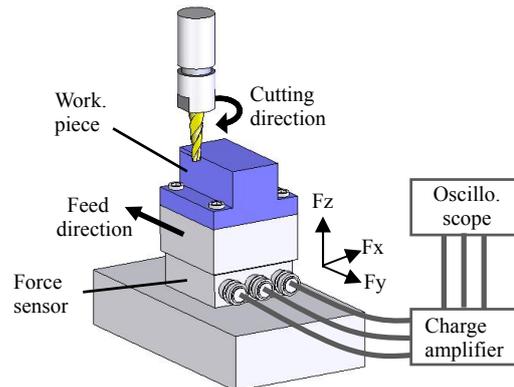


Fig.2 The measuring method of cutting force

Table.2 Cutting condition

Tool	φ2mm, 2-flute square endmill
Work piece	SUS304
Cutting speed	$V$ : 50, 220(m/min)
Spindle rotation	$N$ : 8000, 35000(min <sup>-1</sup> )
Feed speed	$F$ : 80, 350(mm/min)
Feed per tooth	$f$ : 0.005mm/tooth
Axial depth of cut	$A_d$ : 1mm
Radial depth of cut	$R_d$ : 0.05mm
Cutting length	$L$ : 2600mm (26mm×100pass)
Cutting formula	Side milling, Up cut, Dry

4. 実験結果

4.1 コーティング膜の機械的性質

コーティング膜の機械的性質を Table.3 に示す。UBM スパッタ法により作製した TiN(U)および TiCN(U)は、AIP 法により作製した TiN(A), TiCN(A)および TiAlN(A)と同等の高い塑性変形硬さを示すとともに、Rz 0.1μm 以下の優れた表面平滑性を示した。また、TiCN(U)および TiCN(A)は、他のコーティング膜より低い摩擦係数を示した。従って、TiCN(U)は、優れた表面平滑性および低い摩擦係数を示すことがわかる。

4.2 切削抵抗

切削距離  $L$  と切削抵抗の関係を Fig.3 に示す。動力計の応答速度より、 $V=50\text{m/min}$  のみ評価した。TiCN(U)の切削抵抗は、切削初期から最も低い値を示し、 $L=2613\text{mm}$  においては、TiCN(A)より約 40%低い値を示した。これは、コーティング膜の平滑性および低摩擦性が影響したものと考えられる。

Table.3 Mechanical property of coating films

Sample	Hardness (GPa)	Surface roughness Rz (μm)*	Friction coefficient (vs. SUJ2)
TiN(U)	35	0.080	0.62
TiCN(U)	31	0.090	0.26
TiN(A)	28	0.525	0.60
TiCN(A)	35	0.633	0.25
TiAlN(A)	37**	0.686**	0.62**

\*Substrate: Rz0.060μm \*\*Reference value

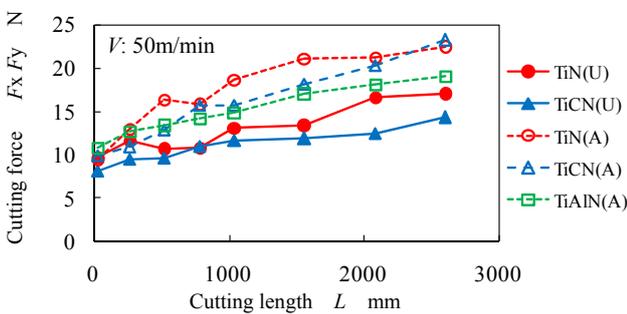


Fig.3 Relation between cutting length and cutting force

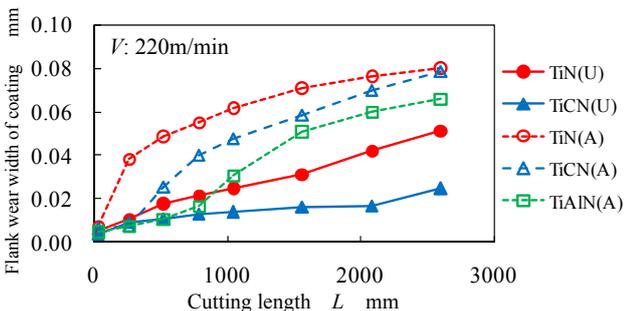


Fig.4 Relation between cutting length and flank wear width of coating

4.3 高速切削における工具摩耗および仕上げ面粗さ

切削速度 220m/min における、切削距離  $L$  とエンドミル逃げ面膜摩耗幅の関係を Fig.4 に示す。すべてのコーティングエンドミルは、切削距離の増加とともに逃げ面膜摩耗幅が増加した。切削距離 2600mm における逃げ面膜摩耗幅を比較すると、TiN(U)は TiN(A)より 35%小さい値を示し、TiCN(U)は TiCN(A)より 70%程度小さい値を示した。次に、切削速度 220m/min における、切削距離と被削材加工面粗さの関係を Fig.5 に示す。TiN(U), TiN(A), TiCN(A)および TiAlN(A)は、 $L=520\sim 780\text{mm}$  で加工面粗さが上昇するものの、切削距離が進むと一旦減少し、更に切削距離が進むと加工面粗さが急激に悪化した。これに対して TiCN(U)は、 $L=1040\text{mm}$  から加工面粗さが減少し、 $Rz5\sim 10\mu\text{m}$  の優れた加工面粗さを維持した。これらの結果より、平滑で低摩擦な TiCN(U)コーティングエンドミルは、熱的負荷が大きい高切削速度域においても、優れた耐摩耗性および加工面粗さが得られることがわかった。

4.4 工具損傷形態

切削試験後の逃げ面の SEM 反射電子像を Fig.6 に示す。観察像の白色部は母材である超硬合金、グレー部は凝着物、黒色部はコーティング膜を表す。TiAlN(A)はコーティング膜の表面に凝着物が多く観察されたが、TiCN(U)は凝着が非常に少なかった。このことから、平滑で低摩擦な TiCN(U)は SUS304 の凝着を抑制できることがわかった。

5. まとめ

- (1) コーティング膜の機械的性質を評価した結果、UBM スパッタ法による TiCN は優れた平滑性と低い摩擦係数を示した。
- (2) 低切削速度 50m/min における切削抵抗を測定した結果、UBM スパッタ法による TiCN コーティングエンドミルが最も低い値を示した。
- (3) 高切削速度 220m/min において、UBM スパッタ法による TiCN コーティングエンドミルは、切りくずの逃げ面への凝着が抑制され、優れた耐摩耗性と平滑な加工面粗さを示した。

最後にマシニングセンタの無償貸与をいただいている MTTRF (Machine Tool Technologies Research Foundation)ならびに(株)森精機製作所に感謝します。

参考文献

- (1) 嶋村 他 : UBM スパッタ法による(Ti,Mo)N 膜の開発, 砥粒加工学会北信越ハイテク加工分科会 2008 年度研究・開発成果発表会講演論文集, (2008) 3.
- (2) 嶋村 他 : UBM スパッタ法による(Ti,Mo)N 膜の特性, 表面技術協会第 118 回講演大会要旨集 (2008) 17.

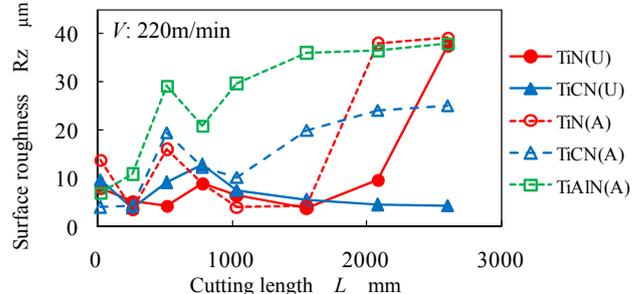


Fig.5 Relation between cutting length and surface roughness of work

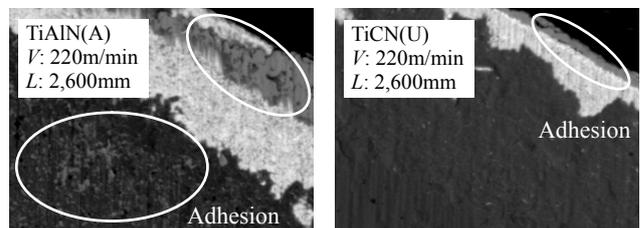


Fig.6 SEM-BEI image of flank face after cutting test