研 究

焼結鋼切削における (Ti,W,Si)N コーテッド超硬合金の工具摩耗

和田 任弘

奈良工業高等専門学校機械工学科, 〒639-1080 大和郡山市矢田町 22.

Tool Wear of (Ti,W,Si)N Coated Cemented Carbides in Cutting Sintered Steels

Tadahiro Wada

Department of Mechanical Engineering, Nara National College of Technology, 22 Yata-cho, Yamatokoriyama 639-1080.

Received August 25, 2008

SYNOPSIS

The tool life in cutting sintered steel is shorter than that in cutting melted steel, such as carbon steel. In order to determine an effective coating film for cutting sintered steel with a coated cemented carbide tool, tool wear was experimentally investigated. The work materials used were hardened sintered steel and sintered stainless steel. Two kinds of sintered steels were turned with four kinds of physical vapor deposition (PVD) coated cemented carbide tools. The coating films used were TiN coating film, (Ti,Al)N coating film and (Ti,W,Si)N coating film.

The following results were obtained: (1) In cutting two kinds of sintered steel, namely hardened sintered steel and stainless sintered steel, the wear progress of (Ti,W,Si)N coated cemented carbide tool was the slowest. (2) The main wear mechanism of three coated cemented carbide tools was the abrasive wear.

KEY WORDS

turning, sintered steel, physical vapor deposition, titanium-tungsten-silicon based coating, tool wear

1 緒 言

耐欠損性に優れた超硬合金を母材とし, これに耐摩耗性に優れたセラミックスをコーティングしたコーテッド超硬合金は切削工具用材料として多く用いられている。セラミックス膜を母材へコーティングする方法には種々の方法があるが, 耐欠損性が要求される超硬ドリルや超硬エンドミルのコーティング処理にはPVD法が多く用いられている。PVD法の一つであるアークイオンプレーティング方式は, 被膜材料(ターゲット)と陽極電極で発生させたアーク放電によって被膜材料をイオン化し, 反応ガス(N_2 ガスなど)雰囲気中で母材に負のバイアス電圧を加えることによって被膜を形成させる方式であるため, ターゲットにTi, (Ti,Al)合金, (Ti,B)合金¹⁾, あるいは(Ti,V)合金²⁾などを使用することにより様々な種類の被膜を形成することができる。このように, 切削工具用被膜としては, チタン(Ti), あるいはTiにAl, B, Vなどの金属を加えた合金を被膜組成とし, N_2 , あるいは CH_4 を反応ガスとしPVD処理する方法が多く用いられている。しかし, いずれの被膜もWCを主成分とする超硬合金に対しては, やや密着

強度が乏しかった^{1,2)}。そこで, 超硬合金に含有される元素(W)と共通した元素(W)を被膜に含有させることにより密着強度を高めるとの考えから, TiにWを加えた(Ti,W)合金をターゲットに用い, 反応ガス N_2 中でPVD処理された(Ti,W)N膜を超硬合金に形成させた。その結果, (Ti,W)N膜は超硬合金に対して高い密着強度が得られた³⁾。この(Ti,W)Nコーテッド超硬合金工具でSCr420Hの切削を行った結果, (Ti,W)Nコーテッド超硬合金工具の摩耗進行は, TiN, (Ti,Al)Nコーテッド超硬合金工具に比べ遅かった。しかし, 焼結ステンレス鋼の切削においては, (Ti,W)Nコーテッド超硬合金工具の摩耗進行は, (Ti,Al)Nコーテッド超硬合金工具に比べ遅かった。つぎに, ターゲットに(Ti,W,Si)合金を用い反応ガス N_2 中でPVD処理された(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金工具でSCr420Hを切削し, 逃げ面摩耗幅の最大値が0.2mmにおける寿命時間を調べた。その結果, (Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金工具の寿命時間は, TiN, (Ti,Al)N, (Ti,W)Nコーテッド超硬合金工具のそれぞれ約9倍, 約2倍, 約1.2倍であった⁴⁾。このことから, (Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金は, 焼結ステン

レス鋼のような焼結鋼の切削においても有効な工具材と考えられるが、焼結鋼切削における(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金の耐摩耗性を調べた研究は見当たらない。

そこで本研究では、(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金工具で2種類の焼結鋼の切削を行い、工具摩耗を調べた結果について報告する。なお、本研究では被削材として焼入れ焼結鋼および焼結ステンレス鋼を使用した。焼入れ焼結鋼は高強度が要求される機械部品に、焼結ステンレス鋼は耐食性・耐錆性が要求される機械部品によく使用されている。

2 実験方法

被削材は、焼入れ焼結鋼、焼結ステンレス鋼を使用した。被削材の化学成分および機械的性質をTable 1に示す。

使用工具材は、超硬合金 K10 種スローアウェイチップ(TNGA160408型)を母材とし、(Ti,W,Si)N膜をPVD法によりコーティングしたものである。比較のために、TiN、(Ti,Al)N膜も使用した。なお、いずれの被膜形成も、アークイオンプ

レーティング方式を使用した。

□25×25 バイトホルダに、TNGA160408 型スローアウェイチップを取付け使用した。この場合の工具形状は、 -6° 、 -6° 、 6° 、 6° 、 30° 、 0° 、0.8 mm となる。ここで、7つの数字は、前から順に前すくい角、横すくい角、前逃げ角、横逃げ角、前切刃角、横切刃角、ノーズ半径である⁹⁾。また、工具切れ刃は、市販のままの状態で使用した。

Table 2に示す切削条件で2種類の被削材の外周旋削を行い、工具摩耗を調べた。送り0.2 mm/rev、切込み0.1 mmと一定とし、切削速度は被削材によって変化させた。切削方式は乾式である。

使用旋盤は、無段変速装置付き昌運工作所製 ST5×1000 型高速精密旋盤(7.5/11 kW, 8 ~ 2500 rpm)である。

3 実験結果および考察

コーテッド超硬合金工具で焼入れ焼結鋼の旋削を行い、逃げ面摩耗幅の最大値が0.2 mm程度における工具の摩耗状態を調

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of work pieces.

(a) Hardened sintered steel				
Chemical composition (mass %)				
C	Cu	Ni	Mo	Fe
0.3 ~ 0.7	1 ~ 2	3 ~ 5	0.2 ~ 0.8	Bal.
Mechanical properties				
Tensile strength		Hardness		Density
1.1GPa		70HRA(405HV)		7.1 g/cm ³

(b) Sintered stainless steel						
Chemical composition (mass %)						
Cr	Ni	Mo	Si	Mn	C	Fe
16 ~ 18	12 ~ 15	2 ~ 3	< 1.5	< 2	< 0.03	Bal.
Mechanical properties						
Tensile strength		Brinell hardness			Density	
200 ~ 350 MPa		94HB			6.4 ~ 6.7 g/cm ³	

Table 2 Cutting conditions.

Cutting speed	V=0.5 m/s (Hardened sintered steel) V=5.0 m/s (Sintered stainless steel)
Feed rate	S= 0.2 mm/rev
Depth of cut	a=0.1 mm
Tool geometry	(-6, -6, 6, 6, 30, 0, 0.8mm)
Tool insert	Substrate: K10 Coating film: TiN, (Ti, Al)N, (Ti, W, Si)N
Cutting method	Dry

べた. Fig.1 に, 焼入れ焼結鋼切削における (Ti,Al)N, (Ti,W,Si)N コーテッド超硬合金工具の摩耗状態を示す. ここで, L は切削距離を示す. Fig.1 に示すいずれの工具も, 境界摩耗など特異な摩耗は見られず, すくい面に顕著なクレータも見られない. さらに, いずれのコーテッド超硬合金工具も, コーティング層の顕著な剥離も見られない.

以上のことから, 本研究で使用したいずれの工具も, 逃げ面の摩耗が主な工具損傷であった. そこで, 逃げ面摩耗幅の最大値を測定した.

Fig.2 に, 焼入れ焼結鋼切削におけるコーテッド超硬合金工具の摩耗進行を示す. いずれのコーテッド超硬合金の摩耗進行は直線的であるが, (Ti,W,Si)N コーテッド超硬合金工具の摩耗進行が最も遅い. そこで, この理由を明らかにするために, 3 種類のコーテッド超硬合金工具における工具摩耗面の

SEM 観察を行った. その結果を, Fig.3 に示す. なお, SEM 観察を行った部分は切込み境界付近の逃げ面である. Fig.3 (a) に示す TiN コーテッド超硬合金工具の場合, 被膜が摩滅すると母材である超硬合金によって切削が行われるが, この母材が露出した部分には凝着物が見られる. しかし摩耗した被膜には凝着物はほとんど見られず, 摩耗した被膜において, 微細な条こんが摩耗面全面にわたって生じている. さらに, Fig.3 (b), (c) にそれぞれ示す (Ti,Al)N, (Ti,W,Si)N コーテッド超硬合金工具の場合も, 微細な条こんが摩耗面全面にわたって生じており, また凝着物もほとんど見られない.

以上のことから, いずれの被膜も主な摩耗機構は, アブレイシブ摩耗と考えられることから, 被膜特性を調べた. Table 3⁴⁾ に, 各種被膜の膜厚, スクラッチテストによる臨界荷重, 被膜硬度を示す. (Ti,W,Si)N 膜の膜厚は $2.5\mu\text{m}$ で, TiN, (Ti,Al)N

Fig.1 Tool wear.

Fig.2 Relation between cutting distance and flank wear width in cutting hardened sintered steel.

Fig.3 SEM micrographs of titanium-tungsten based coating surface.

Table 3 Properties of coating films⁴⁾.

Coating film	Thickness (μm)	Critical load ※ (N)	Hardness ($\text{HV}_{0.25\text{N}}$)
TiN	3.0	68	2090
(Ti,Al)N	3.0	73	2710
(Ti,W,Si)N	2.5	132	3500

※ : Measured value by scratch test

の $3\mu\text{m}$ に比べやや薄い。(Ti,W,Si)N膜の臨界荷重は132Nで、TiN, (Ti,Al)Nに比べかなり高い。さらに、(Ti,W,Si)N膜の硬さは $3500\text{HV}_{0.25\text{N}}$ で、TiN, (Ti,Al)Nに比べかなり高い。従って、(Ti,W,Si)N膜は、TiN, (Ti,Al)Nに比べ高硬度でしかも密着強度も大きいため、焼入れ焼結鋼切削における摩耗進行が最も遅かったと考えられる。

最後に、焼入れ焼結鋼の切削においては(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金が有効な工具材種であったので、このコーテッド超硬合金工具で焼結ステンレス鋼の切削を行い、工具の摩耗進行を調べた。その結果を、Fig.4に示す。焼結ステンレス鋼の切削においても(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金の摩耗進行が最も遅くなることから、(Ti,W,Si)N膜は焼結ステンレス鋼切削においても有効な被膜と考えられる。

4 結 言

本研究では、焼結材料切削における(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金の工具摩耗を調べた。さらに、TiN, (Ti,Al)Nコーテッド超硬合金の工具摩耗と比較した。

得られた主な結果は、つぎの通りである。

- (1) 焼入れ焼結鋼切削において、(Ti,W,Si)Nコーテッド超硬合金の工具摩耗が最も遅かった。
- (2) 焼入れ焼結鋼切削において、3種類のコーテッド超硬合金の主な摩耗機構は、アブレシブ摩耗と考えられた。
- (3) (Ti,W,Si)Nコーテッド超硬工具で焼結ステンレス鋼を切削するとこの工具の摩耗進行は、TiN, (Ti,Al)Nコーテッド超硬工具に比べかなり遅かった。

以上のことから、焼結材料の切削においても、(Ti,W,Si)Nは切削工具用被膜として適応可能であることが分かった。

Fig.4 Relation between cutting distance and flank wear width in cutting sintered stainless steel.

謝 辞

本研究の一部は、財団法人 大澤科学技術振興財団の援助を受けて行った。また、被削材焼入れ焼結鋼、焼結ステンレス鋼は三菱マテリアル株式会社からご提供いただいたことを付記し謝意を表します。

文 献

- 1) T. Wada: "Tool Wear of (Ti,B)N Coated Carbides", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 50(2003)674-679.
- 2) T. Wada and T. Toihara: "Cutting Performance of (Ti,V)N Coated Cemented Carbide Tools -Tool Wear in Cutting of Stainless Steel-", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 49(2002)984-779.
- 3) T. Wada: "Tool Wear of Titanium- Tungsten Based Coated Cemented Carbides", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 53(2006)938-942.
- 4) T. Wada and T. Toihara: "Tool Wear of (Ti,W,Si)N Coated Cemented Carbide", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 54(2007)405-409.
- 5) E. Sentoku, M. Kito, and T. Nakagawa: "Research on the Surface Roughness and Friction Coefficient in Cutting of Cast Iron", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 49(2002)290-293.