研 究

(Ti,B)N 膜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,B)N Coated Carbides

Tadahiro Wada

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

Received April 3, 2003

SYNOPSIS

In order to clarify the tool wear of (Ti,B)N coated carbides in the cutting of melted material (SCr420H) or sintered steel, the wear progress of (Ti,B)N coated carbides tool is investigated experimentally. The base metal of the coated carbides tool is cemented carbides. The main results obtained are as follows: (1) Both the micro-hardness and the critical scratch load of (Ti,B)N coated carbides tool are higher than those of TiN coated carbides tool. (2) In the cutting of SCr420H, the wear progress of (Ti,B)N coated carbides tool is slower than that of TiN coated carbides tool. (3) In the cutting of sintered steel, the tool wear of (Ti,B)N coated carbides tool is about equal to that of TiN coated carbides tool. However, in the high speed cutting of sintered steel, the wear progress of (Ti,B)N coated carbides tool is faster than that of TiN coated carbides tool. It is found that the (Ti,B)N can be used as a coating material of cutting tool.

KEY WORDS

turning, PVD, (Ti,B)N coating, micro-hardness, critical scratch load, tool wear

1 緒 言

超硬合金を母材とし、これにセラミックス層をコーティングしたコーテッド超硬合金は、超硬合金の耐欠損性とセラミックスの耐摩耗性を兼ね備えている。このため、切削加工の高能率化などを背景に、日本国内におけるスローアウェイチップの生産量に占めるコーテッド超硬合金の比率は年々高まっている¹⁾。セラミックス膜を母材へコーティングする方法として、PVD法とCVD法が一般的であり、それぞれ切削方法によって使い分けられている。PVD法は、CVD法に比べ低温処理のため密着性にやや劣るものの、被膜に圧縮応力を付加できるため強度低下が少ないなどの理由により、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多く用いられている。切削工具へのPVD法によるコーティングは、TiN、TiC系膜で開始され、Ti(C,N)、(Ti,Al)N膜をコーティングした超硬ドリルや超硬エンドミルが高い切削性能を示している²⁾。最近、高硬度で、耐アブレシブ摩耗性に優れた(Ti,B)N膜がプラスチック射出成形金型用被膜として使用され始めた。しかし、切削工具用被膜として(Ti,B)N膜を使用した

場合、この膜の切削性能を調べた研究は見当たらない。

そこで本研究では、超硬合金K10種を母材とし、(Ti,B)N膜をPVD法によりコーティングしたコーテッド超硬合金の被膜特性、および工具摩耗を調べた。さらに、(Ti,B)Nが切削工具用被膜として使用可能かどうかについて検討を加えた。なお、その基準は、現在多く使用されているTiN膜PVDコーテッド超硬合金の工具摩耗と比較することによって行った。

2 実験方法

被削材には、溶製材としてクロム鋼SCr420H、焼結材料として焼結鋼を使用した。被膜の評価を行う場合、通常、被削材として溶製材が一般に使用される。しかし、輸送機械用などの機械部品には焼結鋼が多く使用されていることから、焼結鋼も被削材として使用した。これらの被削材の化学成分、機械的性質をそれぞれTable 1, 2に示す。引張り強さおよびブリネル硬さは、いずれも焼結鋼の方がやや大きい程度である。Fig.1に焼結鋼の金属組織を示す。黒く見える部分が気孔である。Fig.1に示すように、焼結鋼は多くの気孔を持つ多孔質な

Table 1 Chemical compositions (mass%) and mechanical properties (SCr420H).

C	Cr	Si	Mn	Ni	Fe
0.21	1.1	0.19	0.83	0.03	Bal.
Mechanical		Tensile strength		550MPa	
properties		Brinell hardness		HB153	

P:0.024, S:0.014, Cu:0.02

Table 2 Chemical compositions (mass%) and mechanical properties (Sintered steel).

C	Ni	Cu	Mo	others	Fe
05~0.9	3~5	1~2	0.2~0.8	<1	Bal.
Mechanical		Tensile strength		600MPa	
properties		Brinell hardness		HB156

20 μ m

Fig.1 Microstructure of sintered steel.

材料であるため、焼結鋼切削においては、微細な断続切削の作用が生じる³⁾、焼結鋼の熱伝導率が低いなどの理由から被削性はあまり良くないとされている⁴⁾。なお、この焼結鋼の密度は7.1g/cm³であった。

コーテッド超硬合金の母材には、超硬合金K10種を用いた。この母材に、TiN、(Ti,B)N膜をPVD法により形成し、それぞれの被膜について、膜厚、被膜硬さ、密着強度を調べた。被膜硬さの測定には、微小硬度計(アカシ製MZT-4型微小表面材料評価システム)とマイクロピッカース硬度計を用いた。母

①: (Ti,B)N coating layer

②: Substrate

Fig.2 Coating layer.

Table 3 Cutting conditions.

		SCr420H	Sintered steel
Cutting speed	V m/s	5.0	1.67, 3.33
Feed rate	S mm/rev	0.2	0.05
Depth of cut	a mm	0.1	0.1
Cutting method		Dry	Dry

材に対する被膜の密着強度を調べる方法として、スクラッチテストによる方法を用いた。この方法は、ダイヤモンド圧子に荷重を加えながら一定速度で被膜表面を引っ掻く。その時のAE信号発生数から、被膜が母材から剥離し始める荷重、すなわち臨界荷重を測定するものである。この臨界荷重は密着強度の目安とされる⁵⁾ので、本研究でもスクラッチテストによる臨界荷重を測定した。なお、(Ti,B)N膜形成には、DCモードマグネトロンスパッタリング方式を使用した。Ti/B原子比は50/50である。また、TiN膜形成には、電子ビーム方式を使用した。

□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°、0.8mm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⁶⁾。また、工具切れ刃は、市販のままの状態で使用した。

Table 3に切削条件を示す。クロム鋼SCr420Hの切削では、連続した切りくずが生成されやすく、この連続した切りくずが被削材などからみつき、切削作業に種々の悪影響を及ぼしやすい。そこで、切りくずを折断するため、一般にチップブレーカ付きのスローアウェイチップが使用される。本研究では、チップブレーカが工具摩耗に及ぼす影響を排除するために、チップブレーカの付与されていないスローアウェイチップを使用した。このため、焼結鋼切削の場合に比べ送りや0.2mm/revと大きくした。切削速度は5.0m/s、切込みは0.1mm

である。焼結鋼の切削においては、焼結鋼の仕上げ切削を対象とし送り0.05mm/rev、切込み0.1mmとした。切削速度5.0m/sでは工具摩耗が急増したので、切削速度3.33, 1.67m/sで行った。Table 3に示した切削条件で、2種類の被削材の外周旋削を行い、工具摩耗を調べた。

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(7.5/11kW, 8~2500min⁻¹)である。

3 実験結果および考察

3.1 被膜特性

(Ti,B)Nの膜形成状態を調べるために、被膜断面のSEM観察を行った結果をFig.2に示す。ここで、①が(Ti,B)N膜で、②が母材である。SEM写真から、被膜と母材の界面において、(Ti,B)Nが母材と密着している様子がうかがえる。また、被膜においては、均質な(Ti,B)N組織が形成されており、膜厚もほぼ一定である。

Table 4に、TiN, (Ti,B)N膜の膜厚、スクラッチテストによる臨界荷重、被膜硬度の測定結果を示す。(Ti,B)N膜の膜厚1.5μmは、TiN膜の膜厚3.0μmに比べやや薄い。スクラッチテストによる臨界荷重は、TiN膜の64Nに比べ、(Ti,B)N膜70Nとなり、(Ti,B)N膜の密着強度は高い。マイクロピッカース硬度計

による被膜硬度は、(Ti,B)N膜はHV2638であり、TiN膜のHV1940に比べ高硬度である。同様に、微小硬度計による被膜硬度も、(Ti,B)N膜の硬度はTiN膜に比べ高い。微小硬度計とマイクロピッカース硬度計による硬度を比較すると、微小硬度計の方が小さい値を示す。これは、圧子押し込み荷重が小さい微小硬度計の方が、被膜の弾性変形量の割合が塑性変形量の割合に比べて大きくなるためである。このことから、微小硬度計の方が母材の影響を受けにくい。

3.2 工具摩耗

コーテッド超硬工具でSCr420Hおよび焼結鋼の旋削を行い、工具の摩耗状態を調べた。その結果をFig.3に示す。まず、(a)

Table 4 Properties of coating films.

Coating material	Thickness of film (μm)	Critical load* (N)	Micro-hardness	
			Vickers (HV _{0.25N})	HUT (0.01N)
TiN	3.0	64	1940	1382
(Ti,B)N	1.5	70	2638	2140

*: Measured value by scratch test

Fig.3 Tool wear. (a) SCr420H, (b) Sintered steel.

に示すSCr420H切削の場合、2種類のコーテッド超硬工具も、欠損は顕著に見られず、逃げ面が主な工具損傷である。また、(b)に示す焼結鋼切削の場合も、SCr420H切削の場合と同様、2種類のコーテッド超硬工具も、欠損は顕著に見られず、逃げ面が主な工具損傷である。そこで、逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxを測定した。

Fig.4に、SCr420H切削における工具の摩耗進行を示す。2種類のコーテッド超硬工具の摩耗進行は、超硬合金K10種工具に比べ遅くなっており、コーティング層の耐摩耗性の効果が現れている。なお、低炭素鋼の仕上げ切削には超硬合金P種工具が推奨されている⁷⁾。2種類のコーテッド超硬工具の摩耗進行を比較すると、切削距離が1.3kmまでは、(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具とTiN膜コーテッド超硬工具の摩耗進行に大差ない。しかし、逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxが0.2mm程度になるまで切削を行う場合、(Ti,B)N膜がTiN膜に比べ薄いにもかかわらず、(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具の方が長時間切削が可能である。このことから、SCr420Hの切削において、(Ti,B)N膜は、TiN膜に比べ耐摩耗性に優れていることがわかる。そこで、この理由を明らかにするために、2種類のコーテッド超硬工具について、前逃げ面境界摩耗部(Fig.3(b)で示したA部)における逃げ面のSEM観察を行った。摩耗した被膜のSEM観察を行った結果、いずれのコーテッド超硬工具の摩耗面にも、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かった。このことから、2種類のコーテッド超硬工具の主な摩耗形態はアブレシブ摩耗と考えられる。コーテッド超硬工具においては、被膜の硬度が高いほど、単純なアブレーション摩耗には強い⁸⁾。このことから、Table 4に示したように、被膜硬さが高い(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具の摩耗進行が遅くなったと考えられる。

Fig.5に、焼結鋼切削における工具の摩耗進行を示す。なお、切削速度は1.67m/sである。2種類のコーテッド超硬工具の摩耗進行は、超硬合金K10種工具に比べ遅くなっており、焼結鋼の切削においてもコーティング層の耐摩耗性の効果が現れている。しかし、2種類のコーテッド超硬工具の摩耗進行を比較すると、(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具の摩耗進行は、TiN

膜と大差ない。そこで、この理由を明らかにするために、2種類のコーテッド超硬工具のSEM観察を行った。Fig.6に、工具摩耗面の観察結果を示す。(a)は、Fig.3(b)で示したA部を拡大したものである。2種類のコーテッド超硬工具も、被膜の剥離は顕著に見られない。(b)は、(a)に示したA部をさらに拡大したものである。ここで、(I)は摩耗した母材、(II)は摩耗した被膜、(III)は摩耗していない被膜である。TiN膜コーテッド超硬工具の場合、摩耗した被膜には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。(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具の場合も、TiN膜コーテッド超硬工具と同様な摩耗状態を示すことから、2種のコーテッド超硬工具の主な摩耗形態はアブレシブ摩耗と考えられる。そうすると、上述のSCr420Hの場合と同様、被膜硬さの高い(Ti,B)N膜の方が摩耗進行が遅くなると考えられるが、2種類のコーテッド超硬工具の摩耗進行に大差なかった。このことから、アブレシブ摩耗以外のほかの要因が工具摩耗に影響を及ぼしたと考えられる。これには、次の要因が考えられる。すなわち、焼結材料は、溶製材と異なり多孔質であるため、微細な断続切削の作用が生じ工具摩耗が著しい⁹⁾とされる。特に、硬質被膜は脆性であるために、被膜に微視的破壊(マイクロチップング)が発生しやすく、これが工具摩耗を間接的に促進する⁹⁾と考えられる。このことから、2種類のコーテッド超硬工具の主な摩耗機構は、いずれもアブレシブ摩耗であるが、さらに上述のマイクロチップングによる作用も加わり工具の摩耗が進行したと考えられる。なお、コーテッド超硬工具による焼結鋼切削において、マイクロチップングが被膜の摩耗機構に大きな影響を及ぼす場合、被膜に微細なチップングが発生すると考えられる。そこで、SCr420Hおよび焼結鋼の切削で使用した2種類のコーテッド超硬工具について、摩耗した被膜を高精度デジタルマイクロスコップで詳細に観察を行った。その結果、いずれの被膜においても、焼結鋼を切削した場合とSCr420Hを切削した場合の摩耗状態に大きな差異は認められなかった。これは、焼結鋼切削の場合、被膜の摩耗機構はアブレシブ摩耗が主となり、摩耗機構に及ぼすマイクロチップングの影響は小さかったためと考えられる。

Fig.4 Relation between cutting distance and flank wear width (SCr420H).

Fig.5 Relation between cutting distance and flank wear width (Sintered steel).

Fig.6 SEM observations of worn surface on coating layer. (a) Detail of A shown in Fig.3, (b) Detail of A shown in (a), (I) Abraded surface of substrate, (II) Abraded surface of coating layer, (III) Surface of coating layer.

Fig.7 Relation between cutting distance and flank wear width (Sintered steel).

Fig.7に切削速度 3.33 m/s の場合を示す。切削速度を上昇させると、(Ti,B)N膜コーテッド超硬工具の摩耗進行が急速になる。高温状態における(Ti,B)N膜の機械的、化学的特性については今後詳細に調べる必要はあるが、切削温度の上昇により、(Ti,B)N膜の厚さが $1.5\mu\text{m}$ と薄いことから母材に近い工具摩耗特性を示すものと推察できる。

4 結 言

超硬合金 K10 種を母材とした (Ti,B)N 膜 PVD コーテッド超硬工具について、この工具の被膜特性、SCr420H、および焼結鋼切削における工具摩耗を調べ、TiN 膜 PVD コーテッド超硬工具の場合と比較した。さらに、(Ti,B)N 膜が切削工具用被膜として使用可能かどうかについて検討を加えた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) (Ti,B)N 膜の硬度は、TiN 膜に比べ高かった。さらに、(Ti,B)N 膜の密着強度も、TiN 膜に比べ高かった。
- (2) SCr420H 切削においては、(Ti,B)N 膜は、TiN 膜に比べやや耐摩耗性に優れていた。
- (3) 焼結鋼の切削においては、(Ti,B)N 膜と TiN 膜の耐摩耗性に大差なかった。(Ti,B)N 膜 PVD コーテッド超硬工具の摩耗進行は、切削速度の上昇につれ急速になった。

以上のことから、(Ti,B)N は切削工具用被膜として使用できることが分った。

謝 辞

被削材焼結鋼を提供していただきました三菱マテリア株式会社深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 山懸和夫, 北川信行, 伊藤実: "CVD コーテッド超硬合金", 機械技術, 45(1997)18-22.
- 2) 山田保之, 池田孜: "コーテッド工具ードリル・エンドミル", 精密工学会誌, 61(1995)778-782.
- 3) 田中義信, 津和秀夫ら: "鉄系焼結金属の切削加工の研究 (第1報)", 精密機械, 31(1964)100-108.
- 4) 鳴瀧則彦, 村越昭男: "焼結鋼の被削性", 精密機械, 47(1981)1516-1522.
- 5) 桜井正俊: "切削工具への TiN コーティングとその効能", 材料試験技術, 35(1990)92-100.
- 6) 千徳英一, 鬼頭充, 中川多津夫: "鑄鉄の切削における表面粗さと摩擦係数に関する研究", 粉体および粉末冶金, 49(2002)290-293.
- 7) 東芝タンガロイ: タンガロイ切削工具カタログ'98, 9806(D), 12.
- 8) 小林正樹: "硬質膜の加工工具への応用", 精密工学会誌, 59(1993)377-380.
- 9) 杉田忠彰, 田中三義: "鉄系焼結材料の軽切削", 粉体および粉末冶金, 23(1976)178-173.