

## 炭化バナジウムコーティング切削工具の開発

### Development of vanadium carbide coated cutting tools

正 加藤 明 (鳥取産技セ)

Akira Kato, Tottori Institute of Industrial Technology, 1247 Kusaka, Yonago, Tottori, 689-3522 Japan

**Key Words:** Cutting tool, Coating, Vanadium carbide, Hardness, Tool wear

#### 1. 諸言

機械加工では高能率化、高精度化を目的に、切削工具の性能向上が求められている。工具材料については、耐摩耗性、靱性、強度、潤滑性、高温特性、コストなどに優れた材料が理想的であるが、現在のところ工具母材単独でこれらの要求を満足する材料は見当たらない。そのため、近年は超硬などの母材の表面に機能性膜をコーティングした工具が開発されている。

工具のコーティング膜は、TiN、TiCN、TiAlN などの Ti 系膜が主流<sup>(1)</sup>であり、主に硬度と高温強度向上を目的に施されている。近年は TiAlN に Si などを添加することで、より硬度、高温強度に優れたコーティング工具が増加している<sup>(2)</sup>。

一方、コーティング膜は金型にも施される。金型においても TiN などが被覆されるが、高硬度な膜である VC コーティングが行われる場合がある。しかし、切削工具には、VC を主材としたコーティング工具は見当たらない。それは、VC 膜は酸化開始温度が比較的低く、高温では膜が酸化し、硬度低下などにより膜性能が悪化するためと考えられる。

しかしながら、酸化開始温度以下であれば、高硬度なコーティング膜として使用できる可能性がある。そこで、VC コーティング工具を製作し、皮膜の硬度と酸化開始温度を測定するとともに、この工具を用いて湿式旋削加工実験を行い、VC コーティング工具の性能について検討した。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 VC コーティング工具の製作

成膜装置はプラズマ電子ビーム溶解法によるイオンプレーティング装置(不二越 SS-2-8SP)を用いた。イオンプレーティングとは、負に印加した母材上に、放電によりイオン化した蒸発物質と不活性ガスとで母材を衝撃しながら、物質を堆積していく真空蒸着であり<sup>(3)</sup>、ドリル等の工具やプレス・射出成型等金型部材への利用が進んでいる<sup>(4)</sup>。本装置のコーティング方法は、イオン化率が高く、成膜速度も比較的速く、密着性、平滑性に優れたセラミックコーティングを行うことができる HCD 法である<sup>(5)</sup>。

皮膜を施す工具は、表 1 に示す市販の三角スローアウェイチップとした。VC 膜の材料として、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (98.0%)、V (99.9%) を用いた。成膜前に、Ar によるボンバード(基材電圧 250 V、ボンバード時間 25 min、ガス流量比 20 sccm)を行った。成膜条件は、コーティング時間 60 min、基材バイアス電圧 150 V、成膜時圧力約 0.085 Pa、ガス流量比 90 sccm、成膜速度約 4 μm/hour、槽内温度約 390 °C で行った。

また、VC コーティング工具の性能を比較するため、同装置及び工具により TiN コーティング工具も製作した。TiN 膜の材料として、N<sub>2</sub> (99.9995%)、Ti (99.9%) を用いた。成膜前に、ボンバード(VC 成膜時と同条件)を行い、コー

ティング時間 60 min、基材バイアス電圧 150 V、成膜時圧力約 0.069 Pa、ガス流量比約 75 sccm、成膜速度約 5 μm/hour、槽内温度約 420 °C で行った。

成膜後、微小硬度計(ミツトヨ HM-220D)により、荷重 0.98 N で VC コーティング工具、TiN 工具、超硬工具(皮膜無し)の硬度を測定した。

さらに、VC 膜の酸化開始温度を評価するため、VC コーティング工具を室温のマッフル炉(ヤマト科学 FO300)に入れ、300 °C に加熱し、10 min 保持した。加熱後に炉から取り出し、自然冷却後に SEM-EDX(日立サイエンスシステムズ S-3500H、堀場製作所 EMAX 7490-H)により成分分析した。同様に、マッフル炉の温度を 350、400、450、500、550、600 °C として成分分析した。

##### 2.2 VC コーティング工具による切削実験

VC コーティング工具、TiN 工具および超硬工具を用いて切削実験を行った。実験は複合旋盤(オークマ MULTUS B300 C900、主軸動力 7.5 kW、振り 600 mm、心間 900 mm、最高主軸回転数 5000 min<sup>-1</sup>)による外径旋削とした。切削条件は、表 2 のとおりである。VC 膜は酸化開始温度が比較的低いことを考慮し、切削温度が高温にならないよう、低負荷な切削条件とした。加工時間 1、5、10、20 min の時点で、工具顕微鏡(トプコンテクノハウス TUM170ESN)により逃げ面最大摩耗幅を測定した。

#### 3. 実験結果と考察

##### 3.1 膜硬度

VC コーティング工具、TiN コーティング工具、超硬工具の硬度を測定したところ、それぞれ 2806、2154、1644 Hv であった。VC コーティング工具は超硬工具の約 1.7 倍、TiN 工具の約 1.3 倍の硬さがあり、高硬度切削工具が製作できたとと言える。また、TiAlN 膜の硬度は 2700~2900 Hv であり<sup>(6)</sup>、VC コーティング工具は TiAlN コーティング工具と同等の硬さであると言える。

##### 3.2 酸化開始温度

温度に対する VC コーティング工具の膜成分分析結果を図 1 に示す。この図において、350 °C までは酸素濃度が約 5% であり、酸化は進んでいないと考えられる。この時の V 及び C の濃度はいずれも約 50% であり、製作した VC 膜は V:C が 1:1 であることが分かる。また、400 °C から、酸素濃度が徐々に上昇するのに合わせ炭素濃度は低下し、550 °C では炭素濃度は約 10% となった。このことから、VC 膜は約 400 °C が酸化開始温度と言える。また、TiN、TiAlN の酸化開始温度は、それぞれ 620 °C、840 °C<sup>(7)</sup>であることから、耐熱性については VC 膜はこれらに劣り、炭素鋼の高速切削<sup>(8)</sup>など工

具が高温になる切削条件ではVCコーティング工具は使用できないと思われる。しかし、S45Cを切削速度50 m/minで加工した場合の工具温度は350℃程度<sup>(8)</sup>であり、酸化開始温度以下となる低負荷な切削条件では、VCコーティング工具の使用が可能と推測する。

### 3.3 工具摩耗

切削実験による逃げ面最大摩耗幅測定結果を図2に示す。この図から、いずれの工具も初期摩耗(切削時間1 min)が大きく進み、その後はなだらかに摩耗が増加していることが分かる。また、VCコーティング工具の摩耗増加の割合は超硬工具よりも低く、実験終了時点(切削時間20 min)では、VCコーティング工具の摩耗は、超硬工具に比べ約3割少ない結果となった。TiNコーティング工具は、切削時間5 minまで大きく摩耗が増加しているが、局所的に摩耗が進んだ箇所があったためであり、実験終了時点では、超硬工具に比べ約1割摩耗が少ない結果となった。実験終了時点で比較すると、工具摩耗が少ない順にVC、TiN、超硬となった。これは、工具硬度の高い順と合っており、硬度が高いほど工具摩耗が進みにくいことが確認できた。また、この結果から、低負荷となる切削条件であれば、VCコーティング工具の実用可能性があると言える。

### 4. 結言

VCコーティング工具を製作し、硬度、酸化開始温度、低炭素鋼の湿式切削実験による工具摩耗を評価し、次のことが分かった。

- ・VC膜の硬度は約2800 Hvであり、高硬度膜と言える。
- ・VC膜の酸化開始温度は約400℃であり、耐熱性はTiN膜やTiAlN膜に劣る。
- ・低負荷な加工条件では、TiNコーティング工具や超硬工具よりも工具摩耗が少なく、切削工具として実用可能性がある。

### 文献

- (1) 小林正樹, “硬質膜の加工工具への応用”, 精密工学会誌, Vol. 59, No. 3 (1993), pp. 377-380.
- (2) 瀬戸山誠, 福井治世, 森口秀樹“最近の切削工具用PVDコーティング膜”, 高温学会誌, Vol. 33, No. 2 (2007), pp. 90-94.
- (3) 高橋夏木, “HCD方式イオンプレーティングとその周辺技術”, 金属表面技術, Vol. 35, No. 1 (1984), pp. 16-25.
- (4) 今岡睦明, “イオンプレーティング硬質皮膜の多層化による密着性の改善”, 鳥取県産業技術センター研究報告, Vol. 14 (2011), pp. 1-5.
- (5) 井口征夫, 鈴木一弘, “各種イオンプレーティング法により(011)[100]方位の珪素鋼単結晶表面に形成したTiN, TiCN および TiC 膜の集合組織”, 日本金属学会誌, Vol. 65, No. 2 (2001), pp. 78-84.
- (6) 山田保之, 青木太一, 田中裕介, 北浦精一郎, 早崎浩, “(Al,Ti)Nコーテッド超硬エンドミルによる難削材の加工”, 日本機械学会論文集C編, Vol. 64, No. 624 (1998), pp. 3197-3201.
- (7) 本西英, “PVDコーティング工具の進歩”, 精密工学会誌, Vol. 75, No. 1 (2009), pp. 70-72.
- (8) 細川晃, 小田健作, 山田啓司, 上田隆司, “断続切削における工具逃げ面温度 高速エンドミル加工に関する研究(第1報)”, 精密工学会誌, Vol. 66, 11 (2000), pp. 1786-1791.

Table 1 Details of the insert

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Identification symbol | TNMA160408          |
| Material              | Carbide K20 (JIS)   |
| Shape                 | Triangle            |
| Cutting edge length   | 16.5 mm             |
| Thickness             | 4.76 mm             |
| Clearance angle       | 0°                  |
| Rake angle            | 0°                  |
| Nose radius           | 0.8 mm              |
| Chipbreaker           | Without chipbreaker |
| Coat                  | Uncoated            |

Table 2 Cutting conditions

|               |  |
|---------------|--|
| Workpiece     | Material: S25C (JIS)<br>Hardness: 72 HRB<br>Size: φ42*170 mm |
| Tool holder   | DTGNR2525M16   |
| Depth of cut  | 0.1 mm   |
| Feed of table | 0.1 mm/rev   |
| Cutting speed | 40 m/min   |
| Cutting fluid | Water-immiscible cutting fluid<br>JIS N-3 No.8               |

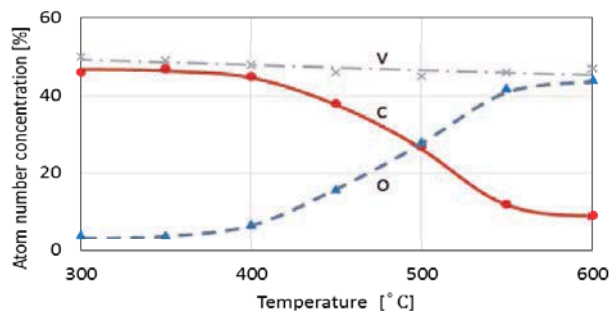


Fig. 1 Relation between temperature and component of the VC coating film

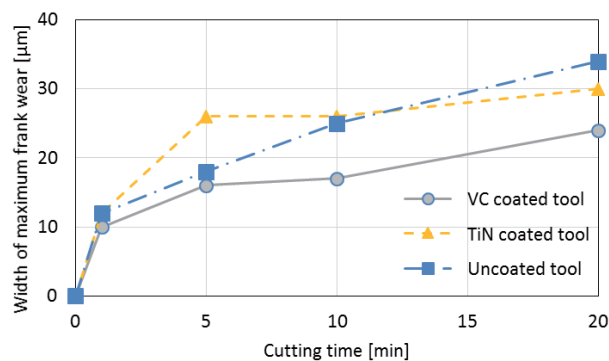


Fig. 2 Relation between cutting time and width of maximum flank wear