

炭化バナジウムコーティング切削工具の切削性能

Cutting performance of vanadium carbide coated cutting tools

○正 加藤 明 (鳥取産技セ), 今岡 睦明 (鳥取産技セ)

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

Mutsuharu IMAOKA, Tottori Institute of Industrial Technology, 1247 Kusaka, Yonago, Tottori, 689-3522 Japan

Key Words: Cutting tool, Coating, Vanadium carbide, Tight adhesiveness, Tool wear

1. 諸言

自動車産業を始めとする製造業ではコスト削減が求められ、製造装置の高性能化や CAE を活用した開発期間短縮、要素部品統合による部品点数削減などが行われている。機械加工においては、高速加工機や複合加工機の導入、最適加工条件の追及などとともに、切削工具の見直しも欠かせない。

切削工具は、高速、高能率、高精度加工を実現するために、より高性能な工具が開発されており、工具母材に機能性膜をコーティングした工具が多い。コーティング膜は、TiN, TiCN, TiAlN, CrN, DLC など多種あるが、高硬度膜である VC 膜をコーティングした切削工具は見当たらない。そこで、筆者らはこれまでに VC コーティング超硬工具を製作し、鉄系の加工実験を通じて VC 膜の切削工具への適用を試みた⁽¹⁾。

一方、切削工具用材料には超硬の他にハイス、セラミック、サーメットなどがあり、サーメットの中には超硬に匹敵する硬度と抗折力を有する材種もある。サーメット工具は超硬工具よりも安価であることが多く、工具費コスト削減の観点からは、有効な選択肢となり得る。そこで、サーメット工具に VC コーティング膜を施した高性能工具の開発を目指し、VC コーティングサーメット工具の製作と切削実験を行った。

2. VC コーティングサーメット工具の製作

成膜に使用した装置は HCD 法によるイオンプレーティング装置 (不二越 SS-2-8SP) である。例えば、切削工具、機械部品、金型等のコーティング膜として広く普及している TiN 膜は、イオンビームにより金属チタンを熔融蒸発させ、プラズマ中でプラスイオン化し、マイナスイオンにイオン化した窒素と反応させて生成される⁽²⁾。

皮膜を施す基材であるサーメット工具は、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、C₂H₂ (98.0%)、V (99.9%) を用いた。また、VC コーティングサーメット工具 (以下 VC 工具) の性能を比較するため、同装置及び工具により TiN コーティングサーメット工具 (以下 TiN 工具) も製作した。TiN 膜の材料として、N₂ (99.9995%)、Ti (99.9%) を用いた。成膜条件を表 2 に示す。

サーメット工具と成膜後の TiN 工具及び VC 工具の先端部写真を図 1(a), (b), (c) に示す。膜厚はいずれも約 2 μ m である。この写真から、VC 工具は膜の剥離が生じていることがわかる。一方、TiN 工具は剥離が見られない。膜剥離は基材と膜との密着性が低いことから生じるが、密着性の影響因子としては、①基材表面の酸化膜②皮膜と基材界面の反応・元素拡散③皮膜内部応力が挙げられる⁽³⁾。本実験では、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 2 \times 10⁻⁵ m³/min) を行い、基材表面の

清浄化を行うことで酸化膜は除去されている。また、皮膜内部応力は、基材と膜の熱膨張率が異なることで生じるが、サーメット、TiN、VC の熱膨張率⁽⁴⁾の差による、VC 工具と TiN 工具の皮膜内部応力の差は小さいと考える。以上より、VC 工具と TiN 工具の膜剥離の差異が生じた要因は、皮膜と基材界面の反応・元素拡散の差異によるものと推測する。本実験で用いたサーメット工具の成分は TiCN であり、TiN 工具は TiN 膜と基材である TiCN との間で Ti イオンの元素相互拡散生じ、密着性が向上したと思われる。しかし、VC コーティングサーメットではこの現象が起きにくく、密着性が低くなったと考える。

3. VC 複合膜コーティングサーメット工具の製作

前章で述べたように、VC 工具は膜剥離が生じたことから、この課題を解決する手法を検討した。酸化膜、反応・元素拡散、被膜内部応力の観点の他に、密着性に影響を与える要因としてアンカー効果がある。アンカー効果は機械的噛み付き強度による密着性への影響のことで、基材表面の粗さにより基材と皮膜の接触面積が変わり、粗い基材ほど接触面積が増大するために密着性が高くなる⁽⁵⁾。

サーメット工具の表面を輪郭形状測定機 (テラーホブソン PGI-Plus) により測定したところ、算術平均粗さ Ra=0.0003 μ m であった。この工具は表面粗さが極めて良く、ボンバード処理により表面が荒れることを考慮しても、アンカー効果は期待できない。一方で、TiN 工具の表面粗さは Ra=0.28 μ m であった。TiN 膜上に VC 膜を重ねることで TiN 膜と VC 膜間のアンカー効果による高密着性が期待でき、結果として VC 膜をコーティングしたサーメット工具が製作できる。

そこで、TiN 膜を中間膜とし、その上に VC 膜を成膜することにより VC 膜と TiN 膜の複合膜サーメット工具 (以下 VC/TiN 工具) を製作した。成膜は VC 膜、TiN 膜の条件を基本として、TiN コーティングを 30 min 行い、続いて VC コーティングを 30 min 実施した。VC 層、TiN 層はそれぞれ約 1 μ m であり、VC/TiN 膜厚は約 2 μ m となった。VC/TiN 工具の先端部写真を図 1(d) に示す。この図より、VC/TiN 工具は、膜剥離が生じていないことがわかる。

VC/TiN 膜が適切に成膜されたかを確認するため、膜の硬度と密着性を評価した。硬度は微小硬度計 (ミットヨ HM-220D) により荷重 0.98 N で測定した。結果は表 3 のとおりである。VC/TiN 膜は、サーメットの 1.8 倍程度の高硬度膜であり、単層の VC 膜と比較しても硬度の低下は見られないことから、VC/TiN による複合膜化は膜硬度に影響していないことが分かる。密着性は、スクラッチテスト (CSM REVETEST) によるスクラッチ試験により行った。試験条件は、円すい型ダイヤモンド圧子 (円すい角度 120 $^{\circ}$ 、先端半

径 0.2 mm), 圧子最大荷重 100 N, 試料移動速度 4 mm/min, 荷重速度 200 N/min とした. 試験結果を図 2 に示す. 図 1 で外観上膜剥離が生じなかった TiN 工具は, 図 2 においても, 剥離は観察されなかった. 一方で, VC 工具は試験開始直後から膜が細かく千切れているのが分かる. VC 工具は, 圧子による荷重で膜が剥離し, それに伴う膜の変形により VC 膜が砕かれたと考える. 明確な膜剥離開始個所は不明であるが, 荷重 67 N 付近で膜が大きく剥離しており, 本研究では膜剥離臨界荷重を 67 N とした. VC/TiN 工具は, TiN 工具と同様に, 剥離が観察されず, 複合膜化により密着性が向上したことがわかる. VC/TiN 工具の膜剥離臨界荷重は 200 N 以上であることを確認しており, 密着性は良好であると言える.

4. VC 複合膜コーティングサーメット工具の切削性能

サーメット工具, TiN 工具, VC/TiN 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⁻¹) による外径旋削とした. 切削条件は, 表 4 のとおりである. 切削時間 1 分後に, マイクロスコープ (ハイロックス KH-8700) による逃げ面最大摩耗幅の測定と, 表面粗さ測定機 (ミットヨ SURFTEST301) による送り方向加工面粗さの測定を行った. 測定結果を表 5 に示す.

この表より, VC/TiN 工具は, サーメット工具, TiN 工具よりも工具摩耗が少なく加工面粗さが良好であることが分かる. これは, 表 3 のとおり VC/TiN 膜は母材のサーメット及び TiN 膜に対して 1.5 倍以上の硬さを有するため, 耐摩耗性が向上し, 切削時の工具摩耗が軽減されたと考える. さらに, 工具摩耗が少ないことから加工面粗さも良好となったと推測する. この結果より, サーメット工具, TiN 工具よりも VC/TiN 工具は切削性能が高いと考える.

5. 結言

VC コーティングサーメット工具を製作し, 切削実験を行うことにより, 次のことが分かった.

- ・サーメットへの VC 膜コーティングは, 皮膜と基材界面の反応・元素拡散やアンカー効果が期待できず, 膜の密着性が低い.
- ・VC/TiN 複合膜コーティングによりアンカー効果が高まり, VC 膜の密着性改善が可能である.
- ・VC/TiN 複合膜コーティングサーメット工具は, 工具摩耗, 加工面粗さが良好である.

Table 1 Details of the insert

Identification symbol	TNMG160408	
Material	Cermet (TiCN)	
Shape	Triangle	
Cutting edge length	16 mm	
Thickness	4.76 mm	
Clearance angle	0°	
Rake angle	5°	
Nose radius	0.8 mm	
Chipbreaker	With chipbreaker	
Coat	Uncoated	

Table 2 Coating conditions of VC film and TiN film

	VC	TiN
Bias voltage [V]	150	150
Pressure [Pa]	0.085	0.069
Gas flow ratio [$\times 10^{-6}$ m ³ /min]	90	75
Deposition time [min]	60	60
Deposition ratio [μ m/hour]	2	2
Deposition temperature [°C]	390	420

謝辞

実験に使用したマイクロスコープは, 公益社団法人 J K A の公設工業試験研究所等における機械設備拡充事業により導入した装置です. ここに感謝の意を表します.

文献

- (1) 加藤明, “炭化バナジウム切削工具の開発”, 日本機械学会講演論文集, Vol. 54, No.165-1 (2016), pp. 401-1-2.
- (2) 村上良彦, “PVD によるコーティング切削工具の現状”, 表面技術, Vol. 51, No. 3 (2000), pp. 19.
- (3) 妹尾剛士, 奥村望, 森英規, 越智文夫 “CrN コーティング量産技術の開発”, デンソーテクニカルレビュー, Vol.7, No.2 (2002), pp. 41.
- (4) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方勲, “CVD 処理熱間金型鋼の熱疲労特性 ダイカスト金型に関する研究 (第 4 報)”, 精密工学会誌, Vol. 57, 1 (1991), pp. 152.
- (5) 皆木一志, 北嶋弘一, 皆木和範, 伊澤守康, 富舎勝次, “ドライブラスト加工によるステンレス鋼表面性状の改善に関する研究 第 3 報: 加工面性状がメッキ密着性に及ぼす影響”, 砥粒加工学会誌, Vol50,8(2006),pp47.

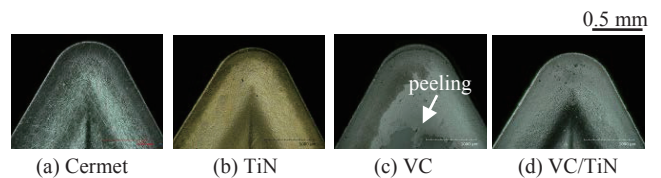


Fig. 1 Photographs of cutting tool nose

Table 3 Material and film hardness

	Cermet	TiN	VC	VC/TiN
Hardness [HV]	1721	2019	2815	3084

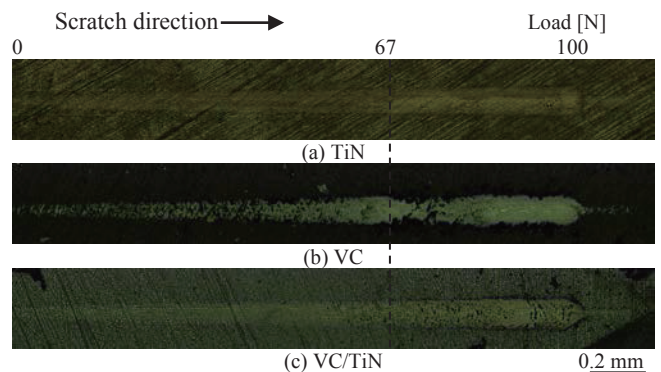


Fig. 2 Photographs of scratch channel obtained

Table 4 Cutting conditions

Workpiece	Material: A5052 (JIS) Size: $\phi 50 \times 200$ mm
Tool holder	DTGNR2525M16
Depth of cut	0.1 mm
Feed of table	0.1 mm/rev
Cutting speed	200 m/min
Cutting atmosphere	Dry

Table 5 Results of cutting experiment

	Cermet	TiN	VC/TiN
Width of maximum flank wear [μ m]	28	28	23
Surface roughness Ra [μ m]	0.64	0.63	0.53