CVD 被覆超硬合金の性質に及ぼす母材合金の性質の影響

府川 敦

東芝タンガロイ(株), 〒210 川崎市幸区塚越1-7.

Properties of CVD-coated Cemented Carbides Affected by those of Substrate

Atsushi Fukawa

Toshiba Tungaloy Co., Ltd., 1-7 Tsukagoshi Saiwai-ku, Kawasaki 210.

Received August 2, 1993

Recently, CVD-coated cemented carbides have become to be applied for milling tools as well as turning tools, and these tools are increasingly required to be more excellent in cutting performance. This paper is a summary of recent studies of the present author on the improvement of cutting performance of CVD-coated cemented carbides for milling tools, in close relation to the properties, such as composition and microstructure, etc., of cemented carbide substrates.

1 緒 言

化学蒸着 (CVD) 法により, 炭化チタン (TiC) などの硬質物質を表面に被覆した超硬合金は, 耐摩耗性に優れるため主に旋削工具に用いられていたが, 近年はフライス切削工具にも使用されるようになり, 工具として求められる性能も益々厳しいものとなりつつある。よって, CVD被覆超硬合金の強度および切削性能に及ぼす母材合金の組織, 組成の影響を明らかにするために, 以下のような研究を行った。

2 研究結果

2.1 CVD被覆超硬合金の強度と母材組織との関係¹⁾

母材としては, WC-(0, 13, 44)vol% β_1 -11.3vol%Coの低および高炭素合金 (以下, β_1 量の少ない方から, K合金, M合金, P合金という。 β_1 :WC/TiC/TaC固溶体) を

用い, 焼結温度を1380~1500℃の範囲で変えて炭化物粒度を変化させた (焼結後の各合金の炭化物粒度は, K, M, P合金についてそれぞれ1.3~1.5 μm , 1.2~1.4 μm , 1.1~1.4 μm)。試料表面はすべて研磨仕上げし被覆処理は, この面上にCVD法により2および6 μm 厚さのTiCを被覆した。

Fig.1(a, b)に被覆前の各合金の硬さ (Hv) と焼結温度の関係を示した。同一組成の合金では焼結温度が高い (粗粒合金) ほど, また高炭素合金ほど, よく知られているようにHvは小となる。また β_1 量が少なくなるほどHvは小となる。

Fig.2 (a, b) には, それぞれ被覆処理前後の各合金 (HIP合金) の平均抗折力 ($\bar{\sigma}_t$) を示す。被覆前の各合金の $\bar{\sigma}_t$ は β_1 量が少なくなるほど, 焼結温度が高い (粗粒合金) ほど低くなる。一方被覆合金の $\bar{\sigma}_t$ は膜厚

Fig.1(a,b) Vickers hardness (Hv) of WC- β_t -11.3vol%Co specimens affected by sintering temperature. (a) low and high carbon P alloys (44vol% β_t), (b) low carbon M (13vol% β_t) and K (0vol% β_t) alloys.

Fig.2(a,b) Average transverse-rupture strength ($\bar{\sigma}_m$) of HIP-treated P (LC, HC), M and K (LC) of alloys before and after coating. Thickness of coated layer, indicated. (a) P alloys, (b) M and K alloys.

が大になるほど著しく低下するが、同一膜厚下では焼結温度が高い粗粒合金ほど $\bar{\sigma}_m$ は上昇の傾向を示す。そこで、被覆処理前後の強度を考えると、被覆処理前の $\bar{\sigma}_m$ は、研削による残留応力を除去した研磨試料の値であるので母材の表面強度を示し、さらには被膜/母材の界面部の強度に一致する²⁾と思われる。しかし、破面観察の結果によると、研磨試料の場合でも表面から破壊することではなく、表面近傍の内部欠陥から破壊した。また被覆試料の場合は、被膜/母材界面近傍の母材内部(界面から10 μm以内)の組織的欠陥から破壊した。すなわち被覆合金の強度を $\bar{\sigma}_m$ 、研磨母材の強度(界面強度ではない)を $\bar{\sigma}_s$ とすると、

$$\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_s (1 + 2\sqrt{d/\rho}) \quad (1)$$

の関係が得られる。ここでd:膜厚(η 相の厚さを含む²⁾)、 ρ :母材中における亀裂先端部の有効曲率半径である。特に ρ の値は靱性に対応し、靱性が大(Hv

が小)となるほど ρ の値も大となる。これより、被覆合金の強度が同一組成において焼結温度が高い(粗粒合金)ほど上昇の傾向を示したのは、粗粒合金ほどHvが低いため、(1)式における ρ が大になったことに主因があると考えられた。

Fig. 3に、P合金を母材に用いた被覆合金の鋼(SCM440)フライス切削における耐欠損性を調べた結果を示した。被覆合金の耐欠損性は合金炭素量によらず焼結温度が高い粗粒合金ほど優れ、強度とは必ずしも対応しなかった。そこでPhoto. 1に、欠損に至らない試料の刃先の垂直断面組織例を示したが、既にすくい面から亀裂が生じていることが分かる。このことは、刃先に亀裂が生じて直ちに欠損せず、それが大ききまで成長したときに欠損することを示唆して

いる。したがって刃先の欠損に対しては、粗粒合金の方が ρ が大のため疲労亀裂の進展が抑えられ、耐欠損性に優れると考えられた。

2.2 TiC被覆超硬合金工具の諸性質に及ぼす主として母材の組成の影響³⁾

Fig.3 Resistance to fracture of coated low and high carbon P alloys in milling tests. Thickness of coated layer, 2μm. Work: SCM440(HB=273), V=1.68m/s(101m/min), d=1.5mm, f=0.149mm/tooth, Insert: SNGN120408.

Photo.1 Microstructure of cross-section vertical to the flank face of P alloy, showing the crack growth during milling test.

試料としては、Co量を体積率で11.3%一定とし、 β_t 量を0, 9, 18, 36mass%と変化させ、さらに粒度の異なるWC粉末を用いて、WC粒度を変化させた高炭素合金を調製した(合金中のWC粒度はそれぞれ約0.7, 1.2, 1.7μm)。被覆処理はCVD法により2および6μm厚さのTiCを被覆した。母材のHvは、図を略したが、よく知られているように β_t 量が増加するほど、またWC粒度が小となるほど上昇する。

被覆処理前後の各試料の $\sigma_{\perp}$ をFig.4に示した。被覆前試料(母材)では、 β_t 量が増加するほど、WC粒度が大となるほど $\sigma_{\perp}$ は低下し、被覆試料では被膜厚さの増加により $\sigma_{\perp}$ は著しく低下し、 β_t 量の増加によっても低下する。一方、WC粒度の影響は被覆前とは逆になり、粗

Fig.4 Average transverse-rupture strength of WC- β_t -11.3vol%Co specimens before and after TiC-coating. F, M and C show that WC grain size is fine, medium and coarse, respectively. Thickness of coated layer, indicated.

粒となるほど $\sigma_{\perp}$ は上昇の傾向を示した。これらの結果は既述の結果と同様である。

Fig.5には2μm厚さのTiCを被覆した合金の鋼(SCM440)フライス切削による耐欠損性を調べた結果を示した。同一WC粒度では β_t 量が減少するほど、また同一 β_t 量では既述と同様、WC粒度が大となるほど耐欠損性は向上する。

Fig.6には、同じく2μmTiC被覆合金について、Fig.5の場合より実用条件に近く、欠損にくい形状(SNGN120408)を用いて、SCM440のフライス切削による寿命試験を行った結果を示した。図中(a)を付した試料は欠損によって、(b)を付した試料は摩耗によって寿命に至ったことを示し、無印のものは未だ寿命に至っていないことを示す。高 β_t または微粒合金(ρ :小)は欠損により、低 β_t または粗粒合金(ρ :大)は摩耗によって寿命となっている。

一般にフライス切削の場合は、耐欠損性を重視し、旋削用の被覆合金(膜厚:10μm前後)に比べて膜厚を薄くしている(通常2~5μm)。そうするとフライス切削では、旋削の場合より早期に被膜が摩耗し、母材が露出する。このとき母材の耐摩耗性が不足すると、母

Fig. 5 Cutting length to the fracture of $2\mu\text{m}$ TiC-coated specimens in milling tests.
Work: SCM440 (HB=260), $V=2.68\text{m/s}$ (161m/min)
 $d=1.5\text{mm}$, $f=0.20\text{mm/tooth}$,
Insert: SPGN120308.

Fig. 6 Result of another milling test of $2\mu\text{m}$ TiC-coated specimens. (a) and (b) indicate that the specimens reached to thier tool life by fracturing and wearing, respectively.
Work: SCM440 (HB=300), $V=2.52\text{m/s}$ (151m/min),
 $d=2.0\text{mm}$, $f=0.244\text{mm/tooth}$,
Insert: SNGN120408.

材露出後の摩耗が急速に進行し短寿命となる。故に母材自体の耐摩耗性が被覆合金の耐摩耗性に影響する。したがって母材の耐摩耗性（主に β_t 量および H_v に依存）と被覆合金の耐欠損性（本質的には ρ ）との関係で、 β_t 量および WC 粒度を適切にすれば、長寿命のフライス切削用被覆合金が得られることになる。

2.3 鋳鉄フライス切削用被覆超硬合金工具の特性と母材組織との関係⁴⁾

2.2では鋼のフライス切削の場合について述べたが、最近では、被覆超硬合金工具は鋳鉄のフライス切削にも用いられるようになってきた。そこで、ダクタイル鋳鉄 (FCD600) 切削の場合について、長寿命工具を得るために、TiCを $2\mu\text{m}$ 被覆した工具について工具寿命に及ぼす主として母材合金 ($\text{WC}-\beta_t-11.3\text{vol}\%\text{Co}$) の組成 (β_t 量)、組織 (WC 粒度) の影響を調べた。

Table 1には用いた試料の、母材の組成、WC 粒度、 H_v 、母材および被覆合金の σ_m などを一括して示した（母材はすべて高炭素合金）。微粒合金ほど H_v が大となるのは当然であるが、被覆処理による合金の σ_m の低下量は、既述のように微粒合金の方が粗粒合金に比べて大きくなる。

Fig. 7には母材の組成と組織の異なる各種被覆合金工具について切削試験を行った結果を示した。母材が微粒合金の場合ほど逃げ面摩耗量 (V_B) が小となるが、WC 粒度一定の場合は β_t 量の影響はほとんど認められなかった。そこで次に微粒合金ほど耐摩耗性が優れる理由について検討した。

Photo. 2は、WC-6.8mass%Co合金を例に、WC 粒度が0.7および $1.2\mu\text{m}$ （それぞれ微粒、中粒）の場合の合金組織と被膜の表面状態を示したものである。WC 粒度が大となると、被膜表面の凹凸が大となるが、この現象は WC- β_t -Co系でも同様であった。これより、粗粒合金ほど被膜表面の凹凸が大となり、この凹凸が耐摩耗性に影響したものとも思われる。故にこの点を明確にするため、同一組成 (WC-9% β_t -7%Co) の微粒および中粒母材を用い、表面状態を種々変化させた場合について切削試験を行った。結果はFig. 8の通りとなり、母材の粒

Table 1 The composition, carbide grain size, hardness and strength (σ_m) of substrate. The σ_m of coated substrate, also shown. (fine, $0.7\mu\text{m}$; medium, $1.2\mu\text{m}$; coarse, $1.7\mu\text{m}$)

Composition	carbide grain size (WC)	H_v (490N)	σ_m (GPa)	
			substrate	$2\mu\text{m}$ coated
0% β_t	fine	1560	3.7	1.8
	medium	1380	3.4	2.1
9% β_t	fine	1600	3.3	1.7
	medium	1400	3.2	1.9
18% β_t	fine	1600	3.1	1.6
	medium	1420	3.0	1.8
	coarse	1360	3.0	1.9
36% β_t	medium	1440	2.8	1.6
	coarse	1400	2.8	1.6

Fig.7 Results of cutting tests of different coated tools, showing cutting performance of tools was superior, when the substrates having fine grain size were used.
Work: FCD600(HB=300), $V=2.52\text{m/s}$ (151m/min),
 $d=2.0\text{mm}$, $f=0.247\text{mm/tooth}$,
Insert: SNGN120408.

	surface state	
	substrate	coated layer
A	ground	as-CVD
B	polished	as-CVD
C	ground	polished after CVD

Fig.8 Cutting performance of coated tools as a function of unevenness of coatings.
WC-9mass% β_t -7mass%Co substrate, used.

Photo.2 An example of surface unevenness of TiC coatings ($2\mu\text{m}$) affected by carbide grain size of substrate. Coated on the polished surface.
WC-6.8mass%Co substrate with fine and medium carbide grain size, used.
(a) polished surface of substrate, (b) surface unevenness of coatings.

度の影響は明瞭に表れているが、母材粒度一定下での被膜表面の凹凸の影響は認められなかった。また、切削ごく初期の刃先の損傷状況は母材の粒度に関係せず、微粒合金も中粒合金も同様であった。以上により、本試料の範囲内では、被膜の性状は切削性能にはほとんど影響しないと見なせた。

そこで、被覆なしの母材 (WC-9% β_t -7%Co) による切

削試験を行った。その結果は被覆合金の結果 (Fig.7) とよく対応し、粗粒合金ほど V_B が著しく大きくなった。したがって被覆合金においては、被膜が摩耗または剝離して消失し、母材が直接被削材と接するようになった時の母材自体の耐摩耗性が V_B に影響したものと考えられる。

そこで切削試験後の被覆合金の損傷状況を詳しく観

Photo.3 Structures on cross-section of coated tool after cutting test of $l=3\text{mm}$, showing coated layer was removed and work materials adhered to the substrate. (b) is higher magnification of flank in (a).

察した。Photo.3に、被覆した中粒の9% β_1 合金の切削後（切削長:3mm）の刃先の断面組織を示した。低倍率の(a)を見ると、逃げ面およびすくい面の刃先近傍では被膜が消失し、この部分に被削材が凝着していることが分かる。(b)は逃げ面部の高倍率組織であるが、これによると、被削材は母材表面の結合相に圧入または拡散浸入した結果と思われるが、炭化物が表面部で移動し、脱着し易い状況になっていることが示されている。この傾向は粗粒合金ほど顕著であった。すなわち被覆合金工具では、粗粒母材の場合ほど結合相の厚さが大であるため、被膜が消失した後に、軟質な被削材が母材表面に凝着し易くなり、その凝着被削材が分離する時の損傷により耐摩耗性が低下したものと思われた。

以上より、ダクタイル鋳鉄のフライス切削に対しては、耐摩耗性の優れる微粒合金を母材とすることが必要ことが明らかとなった。

3 結 言

以上、CVD被覆超硬合金の機械的性質およびフラ

イス切削における性能と母材合金の組成、組織との関係などについての研究の概略を述べた。これらの知見が長寿命のフライス用被覆超硬合金工具を得るための一助となれば幸いである。

最後に、上記の一連の研究に対し、ご指導を頂いた鈴木寿東京大学名誉教授に深甚の謝意を表します。また、東芝タンガロイ（株）の関係各位に厚く謝意を表します。

文 献

- 1)小堀 景一, 植木 光生, 府川 敦, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, 36 (1989), 385.
- 2)鈴木 寿, 林 宏爾: 粉体および粉末冶金, 28 (1981), 257.
- 3)小堀 景一, 植木 光生, 府川 敦, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, 36 (1989), 130.
- 4)小堀 景一, 植木 光生, 府川 敦, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, 37 (1990), 546.