研 究

超硬合金切削におけるダイヤモンド焼結体の工具摩耗

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 Polycrystalline Diamond Compacts in Cutting of a Cemented Carbide

Tadahiro Wada

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

Received September 5, 2006

SYNOPSIS

In a cutting cemented carbide using a polycrystalline diamond compact (PCD) cutting tool, cutting forces, surface roughness and tool wear were experimentally investigated to understand tool machining characteristics. WC-16 mass%Co was turned with the various kinds of PCD cutting tools that had different diamond particle sizes and different diamond contents. The following results were obtained: (1) The wear of PCD cutting tool with rake angle 0° was slower than that with -6° . (2) The tool wear decreased with increase of the diamond particle size. (3) In case of short cutting distance, the surface roughness decreased with decrease of the diamond particle size. However, when the tool wear was larger, the surface roughness increased with decrease of the diamond particle size. As mention above, it was considered that a PCD with both the rake angle 0° and the diamond particle size $30\mu\text{m}$ was the most effective tool material in cutting of WC-16mass%Co from the standpoint of the surface roughness and the tool wear.

KEY WORDS

cutting, polycrystalline diamond compact, cemented carbide, tool wear, surface roughness

1 緒 言

超硬合金は切削工具用材料として開発されたものである¹⁾が、高硬度、高圧縮強度など優れた諸特性を有するため、耐摩耗性が要求される機械部品や圧延ロールなど切削工具以外の用途にも多く使用されている。このような超硬合金部品の最終工程の多くは研削が行われている。このため、研削に費やす時間が多大となり非能率的であるだけでなく、生産コストが高くなるという問題点が生じている²⁾。超硬合金の切削に関する研究は、古くから行われており、工具材としてダイヤモンド焼結体(以下、PCD: Polycrystalline Diamond Compact)が適している³⁾。PCDはダイヤモンド粒径やダイヤモンド含有量によって機械的性質が異なるため、被削材に適したPCD工具を選択する必要がある⁴⁾。このため、PCD工具で超硬合金を切削する場合、ダイヤモンド粒径やダイヤモンド含有量を変化させたPCD工具で超硬合金の切削を行い、超硬合金切削に適したPCD工具を選択する必要がある。

そこで本研究では、ダイヤモンド粒径の異なるPCD工具で

超硬合金を乾式切削し、切削抵抗、表面粗さおよび工具摩耗を調べた結果について報告する。

2 実験方法

被削材にはWC-16mass%Co超硬合金を用いた。Table 1に物性値を示す。超硬合金の密度は 14.0Mg/m^3 、硬さはHRA87である。

切削工具には工具形状の異なる2種類のバイト(すくい角が 0° と -6°)を用いた。すなわち、 $\square 16\text{mm} \times 16\text{mm}$ バイトホルダに、TCGW16T308型チップを取付けたバイトで、この場合の工具形状は($0^\circ, 0^\circ, 7^\circ, 7^\circ, 29^\circ, -1^\circ, 0.8\text{mm}$)となり、すくい角が 0° である。もう一つは、 $\square 25\text{mm} \times 25\text{mm}$ バイトホルダに、TNGA160408型チップを取付けたバイトで、この場合の工具形状は($-6^\circ, -6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 29^\circ, -1^\circ, 0.8\text{mm}$)となり、すくい角が -6° である。なお、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。また、工具切れ刃は、市販のま

Table 1 Characteristic values of WC-16mass%Co work piece.

Density	Hardness	T.R.S.	Compressive strength	Young's modulus	Thermal conductivity
(Mg/m ³)	(HRA)	(GPa)	(GPa)	(GPa)	(W/(m·K))
14.0	87.0	3.3	4.0	520	82

T.R.S.: Transverse Rupture Strength

Table 2 Particle size and diamond content of Polycrystalline Diamond Compacts (PCDs).

	PCD A	PCD B	PCD C	PCD D
Particle size (μm)	4.5	12.5	28	45
D.C. (Vol.%)	88.0	91.0	94.0	96.5

D.C.: Diamond content

Table 3 Cutting conditions of WC-16mass%Co by various PCDs.

Cutting speed	V (m/s)	0.25, 0.15 ~ 0.37*
Feed rate	S (mm/rev)	0.015, 0.05*
Depth of cut	a (mm)	0.1, 0.2*
Cutting method		Dry

*: Face turning

まの状態で使用した。

工具材はダイヤモンド粒径の異なる4種類のPCDを使用した。使用したPCDのダイヤモンド粒径とダイヤモンド含有量をTable 2に示す。なお、2種類のバイトいずれについてもこれら4種類のPCDを準備した。

使用旋盤は、無段変速装置付き高速精密旋盤である。Table 3に示す切削条件で超合金の外周旋削(一部、端面切削)を乾式で行い、切削抵抗、表面粗さおよび工具摩耗を調べた。端面切削の場合、内径40 mm、外径100 mm、厚さ20 mmの円板状の被削材を内径部から外径部に向かって切削を行った。このため、切削速度は内径部で0.15 m/s、外径部で0.37 m/s、平均の切削速度 V_m は0.25 m/sである。切削抵抗は、共和電業社製TD型工具動力計、動的ひずみ測定器にて測定し、レコーダに記録させた。表面粗さの測定には、東京精密社製サーフコム1800A型触針式表面粗さ測定器を用い、送り方向の仕上げ面のプロフィールを記録した。

Fig.1 Tool wear of PCD B with (a) TNGA: Rake angle -6° and (b) TCGW: Rake angle 0° in cutting of WC-16mass%Co (L: Cutting distance).

3 実験結果および考察

3.1 工具摩耗

工具形状、すなわちすくい角の異なる2種類のPCD工具で超合金を外周旋削し、工具摩耗を調べた。Fig.1にPCD工具の摩耗状態を示す。なお、Lは切削距離、工具材はPCD Bである。いずれの工具形状のPCD工具においても、すくい面に比べ、逃げ面が主な工具損傷となっている。

次に、工具形状の異なる2種類のPCD工具について、逃げ面摩耗幅の最大値 VB_{max} と切削距離Lの関係を調べ、その結果をFig.2に示す。工具形状TCGWの摩耗進行は、工具形状TNGAに比べやや遅い。これは、すくい角の違いによるものと考えられるので切削抵抗を調べた。Fig.3に、切削面積あたりの切削3分力を示す。ここで、(切削面積)=(切込み)×(送り)とした。Fig.3に示すように工具形状TCGWの切削面積あたりの切削3分力、すなわち主分力 f_c 、背分力 f_t 、送り分力 f_f は、工具形状TNGAに比べ小さい。このことから、工具形状TCGWのPCD工具で超合金を切削した場合、切削3分力が小さくなり摩耗進行がやや遅くなったと考えられる。なお、超合金切削においては、背分力 f_t が主分力 f_c に比べ大きくなる。また、切削面積あたりの切削3分力、たとえば主分力

Fig. 2 Relation between cutting distance and flank wear width of PCD B (TNGA: Rake angle -6° , TCGW: Rake angle 0° , V: Cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

Fig. 3 Specific cutting forces of PCD B in cutting of WC-16mass% Co (TNGA: Rake angle -6° , TCGW: Rake angle 0° , fc: Principal force, ft: Thrust force, ff: Feed force).

の場合、 f_c は8GPaとなり、金属切削の場合に比べかなり大きくなるのが特徴であると考えられる。

以上のことから、工具形状の異なる2種類のPCD工具で超硬合金を乾式切削すると、工具形状TCGWのPCD工具の方が摩耗進行は遅かった。そこで、工具形状TCGWのPCD工具において、ダイヤモンド粒径の異なるPCD工具で超硬合金を外周旋削し、工具摩耗を調べた。Fig.4にPCD工具の摩耗状態を示す。なお、Lは切削距離である。4種のPCD工具においても、逃げ面が主な工具損傷となっている。

Fig.5に逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxと切削距離Lの関係を示す。ダイヤモンド粒径の大きいPCD Dの摩耗進行が最も遅い。このことから、ダイヤモンド粒径が大きくなるほど、摩耗進行が遅くなることが分かる。そこで、この理由を調べるために、PCDの機械的性質を調べた。その結果をTable 4に示す。硬さ測定にはマイクロヌーブ硬さ試験機を使用した。測定条件は、測定荷重5N、測定荷重保持時間15sである。なお、ビッカース硬さ表示が一般的のため、ヌーブ硬さをビッカース硬さに換算して示した。このTable 4より、ダイヤモンド粒

Fig. 4 Tool wear of (a) PCD A, (b) PCD B, (c) PCD C and (d) PCD D in cutting of WC-16mass% Co (L: Cutting distance, V: Cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

Fig. 5 Relation between cutting distance and flank wear width of various PCDs in cutting of WC-16mass% Co (V: Cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

Table 4 Mechanical properties of PCDs.

	PCD A	PCD B	PCD C	PCD D
Hardness (HV)	9000	10000	11000	12000
T.R.S (GPa)	1.8	1.7	1.6	1.5

T.R.S.: Transverse Rupture Strength

(a) PCD A
(L=130m) (b) PCD B
(L=130m) (c) PCD C
(L=130m) (d) PCD D
(L=130m) $V_m = 0.25 \text{ m/s}$, $S = 0.05 \text{ mm/rev}$, $a = 0.2 \text{ mm}$ Fig.6 Tool wear of (a) PCD A, (b) PCD B, (c) PCD C and (d) PCD D in face turning of WC-16mass%Co (L: Cutting distance, V_m : Mean value of cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

径の増加につれて、抗折力は低下しているが、硬さは増加している。これは、Table 2に示したようにダイヤモンド粒径の大きい工具ほどダイヤモンドの含有量が高くなるので、工具

Fig.7 Relation between particle size and flank wear width in face turning of WC-16mass%Co at cutting distance 130m (V_m : Mean value of cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

の硬さが上昇するためである。したがって、ダイヤモンド粒径が大きくなるにつれて、工具の硬さが上昇し、摩耗進行が遅くなったと考えられる。

3.2 表面粗さ

上述のことから、WC-16mass%Co 超硬合金を PCD 工具で切削する場合、すくい角は -6° よりも 0° の方が適しており、さらにダイヤモンド粒径の大きい PCD 工具が適していることが分かった。次に、ダイヤモンド粒径の異なる PCD 工具で超硬合金の端面切削を行い工具の摩耗を調べた。

Fig.6 に工具の摩耗状態を示す。なお、切削距離 L は 130 m の場合である。4 種の PCD 工具においても、逃げ面が主な工具損傷となっている。

Fig.7 に逃げ面摩耗幅の最大値とダイヤモンド粒径の関係を示す。なお、切削距離は 130 m の場合である。ダイヤモンド粒径の大きい工具材 PCD D の工具摩耗が最も小さい。このことから、端面切削においてもダイヤモンド粒径が大きくなるほど、工具摩耗が小さくなることが確認できた。

次に、PCD 工具のダイヤモンド粒径が被削材の表面粗さに及ぼす影響を調べた。Fig.8 に被削材の送り方向の断面曲線を示す。工具材は PCD C の場合を示す。なお、図中の S, M, E は表面粗さの測定箇所を示し、S 部は被削材の内径部付近、M 部は中心部付近、E 部は外径部付近である。図中の断面曲線より下側が、被削材超硬合金である。切削の進行に連れ工具は摩耗するが、(a), (b), (c) にそれぞれ示すように切削が進行しても、送り 0.05 mm をピッチとする送りマークが見られ、送り方向の断面曲線に大きな変化は見られない。

Fig.9 に表面粗さとダイヤモンド粒径の関係を表す。この図より、工具摩耗が小さい S 部、M 部においてはダイヤモンド粒径の小さい工具の方が表面粗さも小さい。しかし、ダイヤモンド粒径の小さい工具では、切削が進行し、工具摩耗が大きくなると、表面粗さも大きくなる。なお、PCD A および PCD

$V_m=0.25\text{m/s}$, $S=0.05\text{mm/rev}$, $a=0.2\text{mm}$

Fig.8 Surface profile curve of PCD C in face turning of WC-16 mass% Co (Ra: Average surface roughness, Ry: Maximum height, V_m : Mean value of cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

Bでは、PCD工具の移動距離が30mm(切削距離130m)で表面粗さが大きくなっている。これは、Fig.7に示したように工具摩耗が増大するためである。このことから、PCD工具の寿命を延長させる方法が必要と考えられる。PCD工具の寿命を延長させる方法として、ダイヤモンドは、常温では非常に高硬度であるが、400 $^{\circ}\text{C}$ から硬さが急激に低下する⁹⁾。さらに、700 $^{\circ}\text{C}$ から酸化し始める⁹⁾。このため、湿式で切削を行うことが有効な方法であると考えられる。

Fig.9 Relation between particle size and surface roughness in face turning of WC-16mass% Co (Ra: Average surface roughness, V_m : Mean value of cutting speed, S: Feed rate, a: Depth of cut).

4 結 言

WC-16mass%Co超硬合金を、工具形状の異なる2種のPCD工具(すくい角0 $^{\circ}$, -6 $^{\circ}$)、ダイヤモンド粒径の異なる4種のPCD工具(粒径4.5 μ m~45 μ m)で乾式切削し、切削抵抗、表面粗さ、工具摩耗を調べた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) すくい角0 $^{\circ}$ のPCD工具の切削抵抗は、すくい角-6 $^{\circ}$ のPCD工具に比べ小さかった。
- (2) すくい角0 $^{\circ}$ のPCD工具の摩耗進行は、すくい角-6 $^{\circ}$ のPCD工具に比べ遅かった。
- (3) PCD工具の摩耗進行は、ダイヤモンド粒径が大きいほど遅かった。
- (4) 表面粗さは、工具摩耗が少ない切削初期では、ダイヤモンド粒径の小さいPCD工具の方が小さかった。しかし、切削の進行に連れ工具摩耗が大きくなると、ダイヤモンド粒径の小さい切削工具の方が表面粗さは大きくなった。

以上のことから、超硬合金をPCD工具で切削する場合、すくい角が大きい方が工具の摩耗進行がやや遅くなる。また、ダイヤモンド粒径を小さくすると、切削初期の表面粗さは小さくなるが、切削が進行し摩耗が大きくなると、表面粗さは大きくなる。このため、ダイヤモンド粒径については、表面粗さおよび工具摩耗の点で最適な粒径が存在し、本実験の範囲内では、ダイヤモンド粒径30 μ mのPCD工具が最適と考えられた。

謝 辞

被削材超硬合金をご提供いただきました三菱マテリアル㈱に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) K.Karino: Nannsakuzai, Sinnsozai no Sessakukakou

- Hanndobukku, Kougyoutyousakai, (2002)375.
- 2) S.J.Heo, T.Miyamoto, S.Hanasaki and J.Fujiwara: "Study on Cutting of Cemented Carbide", J. Jpn. Soc. Precision Engineering, 69(2003)1724-1728.
 - 3) H.Kiso, M.Suzuki and T.Taguchi: "Turning of High Hardness Materials", Tungaloy, (1986)9-23.
 - 4) T.Wada, J.Fujiwara and H.Koizumi: "Wear Characteristics of Diamond Tool in Cutting of Al-17mass% Si Alloy", Proceedings of The 1st International Con. on Design Engineering and Science, Vienna, Jpn. Soc. Design Engineering, (2005)181-185.
 - 5) Daiyamondo kougyou Kyoukai: Daiyamondo Kougou Manyuaru, Kogyo Chosakai Publishing, (1979)33.
 - 6) Daiyamondo kougyou Kyoukai: Daiyamondo Kougou Manyuaru, Kogyo Chosakai Publishing, (1979)34.