研 究

円弧状の仕上げ刃を持つ旋削用チップの切削性能

和田 任弘, 中西 順

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.

Cutting Performance of a Turning Insert Having an Arc-shaped Finishing Edge

Tadahiro Wada and Jun Nakanishi

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

Received August 21, 2009

SYNOPSIS

In turning operations, it is effective to use a larger corner radius or a lower feed rate to obtain a good machined surface. However, turning at lower feed rates decreases productivity and it has a negative influence on the turning operation because of the continuous chip. In turning of a shaft having a step of specified corner R, it is important whether the corner radius of the turning insert is the same as specified corner R or lower than it. A turning tool with a large corner radius cannot adapt to cutting a shaft having a step of specified corner R. In this study, the surface roughness, cutting force, and tool wear were experimentally investigated in order to clarify the cutting performance of the turning insert having an arc-shaped finishing edge formed at the point of intersection between the corner radius and the end cutting edge. Work piece material SKD11 was turned with two kinds of turning inserts that had different radii of the arc-shaped finishing edge.

The main results obtained are as follows. (1) The machined surface of the insert having an arc-shaped finish edge was better than that of the normal insert. (2) The wear progress of the insert having an arc-shaped finish edge was slightly slower than that of the normal insert. (3) The cutting force of the insert having an arc-shaped finish edge was almost the same as that of the normal insert.

KEY WORDS

cutting performance, turning insert, arc-shaped finishing edge, surface roughness, tool wear

1 緒 言

切削仕上げ面の特性は、仕上げ面粗さ、うねり、加工変質層、残留応力などを媒体として評価できる¹⁾が、仕上げ面粗さは、摩擦、摩耗、密閉、漏洩など表面の接触問題を考える上で非常に重要となる²⁾。旋削では、理想的な仕上げ面粗さは工具刃部形状と送りSによって決まる。例えば、刃部にコーナ半径rを有する片刃バイト(横切れ刃角0°)を用い、2rより低い送りSで旋削した場合、仕上げ面粗さの理論値(最大高さRz)は、 $S^2/(8r)$ で近似できる。このため、良好な切削仕上げ面を得るには、送りを低くするか、コーナ半径を大きくすることが有効である。送りを低くすると、作業能率の低下や切りくずが薄く柔軟になるため切りくず処理性が低下する。コーナ半径を大きくすれば高送りで切削することができる。しかし、シャフトなどの段付軸は旋削によって加工される場

合も多く、隅Rを持つ段付軸を加工する場合、段差には工具刃部の円弧が転写される。このため、バイトのコーナ半径を隅Rと同じ、あるいは小さくする必要があり、コーナ半径は機械部品の隅Rから制限を受ける。そこで、横切れ刃直線部とコーナ、および前切れ刃直線部とコーナの接線部に直線状の仕上げ刃(ワイパー刃、さらい刃の名称で呼ばれている)を設けた工具が市販されている。特に、外周旋削では、前切れ刃側に設けた仕上げ刃は、高送り旋削でも良好な仕上げ面が得られる。しかし、この方法では、加工プログラムの修正や、隅R切削では加工プログラムの修正やコーナ半径の補正が必要になる。

本研究では、前切れ刃とコーナの接線部に円弧状の仕上げ刃を設けたバイト、すなわちコーナ部が2つの円弧からなるバイトを考案した。次に、このバイトで、SKD11焼なまし材

の旋削を行い、仕上げ面粗さ、切削抵抗、工具摩耗を調べた。

2 実験方法

被削材にはダイス鋼 SKD11 焼なまし材 (224HB) を使用した。被削材の化学成分および性質を Table 1 に示す。

Fig.1 に使用した旋削用チップの刃部形状を示す。ここで、S は送りの方向、a は切込みを示す。コーナ部は2つの円弧、すなわち横切れ刃側の半径 r (円弧 AB)、および前切れ刃側の半径 R (円弧 BC) から構成されている。Table 2 に、本研究で使用した刃部の諸元を示す。 r 、 α は、それぞれ 0.4 mm、 30° と一定とし、 R を変化させた。Type III は、 $r=R$ の場合で通常の刃部形状になる。すなわち、コーナ半径 0.4 mm の旋削用チップ (TNGA160404 型) を市販状態で使用した。この市販旋削用チップを $\square 25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ バイトホルダに取付けた場合、

Table 1 Chemical composition of work piece material (SKD11, 224HB).

C	Cr	Mo	Mn	Si	V
1.47	11.5	0.82	0.37	0.32	0.20

Chemical composition (mass%)

Fig.1 Configuration of cutting part.

Table 2 Geometry of cutting part.

	Type I	Type II	Type III
R (mm)	1.2	2.4	0.4
r (mm)	0.4		
α (deg)	30		

工具形状は $(-6^\circ, -6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 30^\circ, 0^\circ, 0.4\text{ mm})$ 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、コーナ半径 (ノーズ半径) である³⁾。Type I, Type II は、Type III (TNGA160404 型旋削用チップ) の刃部をダイヤモンド砥石によりコーナ部が2つの円弧になるように成形したものである。なお、3種類の工具切れ刃には $(0.03\text{ mm} \times 20^\circ)$ のチャンファホーニングを施した。また、いずれの工具材種も、超硬合金 P10 種で、コーティングを施していない状態で使用した。

使用工作機械は、無段変速装置付き高速精密旋盤 (昌運工作所製、ST5 $\times$ 1000 型、7.5/11 kW、8 $\sim$ 2500 min^{-1}) である。

Table 3 に示す切削条件で被削材の外周旋削を乾式で行い、仕上げ面粗さ、切削抵抗、および工具摩耗を調べた。仕上げ面粗さの測定には、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、最大高さ R_z を測定した。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。なお、工具摩耗を調べる実験では、送り 0.3, 0.4 mm/rev で行った。

3 実験結果および考察

3.1 仕上げ面粗さ

Fig.2 に送りが仕上げ面粗さ (最大高さ R_z) に及ぼす影響を示す。いずれのチップも理論値と測定値はよく似ており、送りの増加につれ仕上げ面粗さが大きくなる。Type II の仕上げ面粗さが最も小さい。送り 0.4 mm/rev の場合、Type I の仕上げ面粗さは Type III に対して約 1/2 倍、Type II の仕上げ面粗さは Type III に対して約 1/3 倍である。理論粗さを計算すると最大3倍程度差があるのでこの結果になるものと推測される。

Table 3 Cutting conditions.

Cutting speed (m/s) V	2.5
Feed rate (mm/rev) S	0.1 $\sim$ 0.5
Depth of cut (mm) a	0.5
Cutting method	Dry

Fig.2 Relation between feed rate and surface roughness.

このことから、円弧状の仕上げ刃を持つ旋削用チップを使用すると、高送り旋削でも良好な切削仕上げ面が得られる。

3.2 切削抵抗

Fig.3に送りが切削抵抗3分力に及ぼす影響を示す。いずれのチップも送りが高くなると切削抵抗3分力は増加するが、刃部形状による影響はほとんど見られない。この理由を次に示す。すなわち、切削抵抗3分力は、被削材、切削条件、工具形状に依存する。特に、本研究のように送りを変化させた場合、切削抵抗主分力は、切削面積に依存し、送り分力、背分力は、切削面積および切りくず流出方向に依存する。たとえば、送り0.4 mm/rev、切込み0.5 mmにおけるType II, Type IIIの切削面積を計算すると、Type IIの切削面積 0.197 mm^2 に対しType IIIの切削面積は 0.193 mm^2 で大差ない。また、Collwellの切りくず流出方向の仮定から切りくずの流出角 η_c ⁴⁾を計算すると、Type IIの $\eta_c=54.8^\circ$ に対し、Type IIIの $\eta_c=53.4^\circ$ で大差ない。

以上のことから、切削面積および切りくず流出方向に大差ないことから、切削抵抗3分力は、刃部形状の影響を受けなかったと考えられる。

3.3 工具摩耗

切削の進行に連れ工具は摩耗し、切削性能も変化する。

Fig.3 Relation between feed rate and cutting force (Fc: Principal force, Ft: Thrust force, Ff: Feed force).

Fig.4に工具の摩耗状態を示す。送りは0.3 mm/revの場合である。工具に凝着物が見られるが、いずれのチップも逃げ面摩耗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.5に工具の摩耗進行を示す。円弧状の仕上げ刃を持つチップType I, IIの摩耗進行は、Type IIIの摩耗進行に比べやや遅い。これは、前切れ刃側を円弧にすることにより、わずかながら切削に参与するすくい面の面積が増え、すくい面における熱および応力集中が軽減され、工具の摩耗進行が遅くなったと考えられる。なお、被削材が高硬度でないにもかかわらず切削距離0.6~0.8 km程度で逃げ面摩耗幅の最大値が0.2 mm程度になった。これには、次の理由が考えられる。すなわち、Table 1に示したように、SKD11には、Cが1.47 mass%、Crが11.5 mass%と、通常の炭素鋼に比べ、CおよびCrが多く含まれている。特にSKD11は極めて粗大化した炭化物 Cr_7C_3 や Fe_3C が存在し、これらは極めて硬い。従って、この炭化物が工具表面を引っかけて工具の一部が削り取られ、工具摩耗が大きくなったと考えられる。さらに、SKD11には、Crが多く含まれているため、Fig.4に示したように通常の鋼材の旋削に比べ工具に凝着物が付着しやすい。このことから、凝着物が工具から剥離・脱落するとき、工具の一部も切りくずと一緒に持ち去られ、工具摩耗が大きく

Fig.5 Relation between cutting distance and flank wear width at feed rate of 0.3 mm/rev.

Fig.4 Tool wear at feed rate of 0.3 mm/rev. (a): Type I (Cutting distance $L=0.7 \text{ km}$), (b): Type II ($L=0.8 \text{ km}$), (c): Type III ($L=0.6 \text{ km}$)

Fig.6 Relation between cutting distance and surface roughness at feed rate of 0.3 mm/rev.

Fig.8 Relation between cutting distance and surface roughness.

Fig.7 Relation between cutting distance and flank wear width.

なつたと考えられる。これらには、耐凝着性に優れた硬質物質をコーティングすることによって工具摩耗の低減が期待できる。

Fig.6に、切削距離が仕上げ面粗さに及ぼす影響を示す。Type IIIの場合、切削の進行につれ仕上げ面粗さが増加する傾向が見られる。Type I, IIの場合、切削が進行し工具が摩耗しても、仕上げ面粗さはあまり変化しない。

最後に、Type I, IIのバイトで送り0.4 mm/revで高送り旋削を行い、切削距離が工具摩耗ならびに仕上げ面粗さに及ぼす影響について調べた。なお、Type IIIのチップについては、送り0.3 mm/revの場合を示す。Fig.7に、工具の摩耗進行を示す。送り0.3 mm/revのType IIIの摩耗進行が最も遅くなっているが、これは、Type I, IIに比べ送りが低いため、切削温度が低くなり、工具の摩耗進行が遅くなつたと考えられる。逃げ面摩耗幅の最大値0.2 mmにおける被削材の除去量(=切削距離×送り×切込み)を比較すると、Type IIの除去量が最も多い。

Fig.8に、切削距離が仕上げ面粗さに及ぼす影響を示す。切削初期における仕上げ面粗さを比較すると、Type IとIIIの仕上げ面粗さに大差なく、Type IIの仕上げ面粗さが最も小さい。切削距離の増加につれ、バイトType IIIの仕上げ面粗さは大きくなるが、バイトType IとIIの仕上げ面粗さはあまり変化しない。

以上のことから、前切れ刃とコーナの接線部に円弧状の仕上げ刃を設けたバイトで旋削を行う場合、通常のバイトに比べ高送り旋削を行うことにより大きな材料除去が得られ、しかも良好な仕上げ面粗さを得ることが可能である。

4 結 言

円弧状の仕上げ刃を持つ旋削用チップ、すなわち横切れ刃側の半径 r と前切れ刃側の半径 R の2つ半径で構成される旋削用チップで外周旋削を行い、仕上げ面粗さ、切削抵抗、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) 円弧状の仕上げ刃を持つチップの仕上げ面粗さは、通常のチップに比べ小さかった。また、仕上げ面粗さは、前切れ刃側の半径 R が大きい方が小さかった。
- (2) 円弧状の仕上げ刃を持つチップの摩耗進行は、通常のチップに比べ、やや遅かった。
- (3) 前切れ刃側の円弧 R は切削抵抗に影響を及ぼさなかった。

以上のことから、円弧状の仕上げ刃を持つ旋削用チップは、送りを高くして旋削することができるので、作業能率(切りくず処理性も含めて)向上に有効であることが分かった。

謝 辞

旋削用チップの刃部成形にご協力いただきました㈱タンガロイに感謝の意を表します。

文 献

- 1) Jpn. Soc. for Precision Engineering: Handbook of Precision Machining, CORONA PUBLISHING Co., LTD., (1992)111.
- 2) O. Kouji, et al.: Riron Sesaku Kougaku, Genzaikougakusya. (1979)121.
- 3) E. Sentoku, M. Kito, and T. Nakagawa: "Research on the Surface Roughness and Friction Coefficient in Cutting of Cast Iron", J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 49(2002)290-293.
- 4) Jpn. Soc. for Precision Engineering: Handbook of Precision Machining, CORONA PUBLISHING Co., LTD., (1992)18.