研 究

特殊曲面工具 (H. F. T.) による切りくず制御*

谷 戸 勉** 竹 山 秀 彦*** 村 田 良 司**

Chip Control by Means of Specially Designed
Helicoidal Faced Cutting Tool (H. F. T.)Tsutomu YATO, Hidehiko TAKEYAMA
and Ryoji MURATA

In order to effectively control chip disposal in finish turning, a specially designed tool, Helicoidal Faced Cutting Tool (H. F. T.) of which side rake angle is continuously varied from positive to negative towards the tool point, has been developed. The twisted face makes tightly curled chips in a definite direction which are easily broken in a

desirable length. Firstly, the mechanism of chip formation with the twisted face has been studied in two-dimensional cutting of copper alloy tube. In finish turning of low carbon steel with H. F. T., it has been clarified that the effect of twisted face is highly emphasized at a larger rake angle gradient than 20 deg/mm, and the tool effectively works even in the combination of feed rate lower than 0.05 mm/rev and depth of cut smaller than 0.5 mm.

Key words: helicoidal faced cutting tool, chip control, finish turning, chip formation.

1. ま え が き

機械加工工場の自動化、高速化を進めるに当たって、切りくず処理技術の高度化が強く要求されている。切りくずの面からは適当な長さごとに折れる流れ型切りくずが望まれ¹⁾、切りくずが折れる条件についての研究²⁾や薄い削りくずを破碎する方法³⁾が発表されている。また、内外の工具メーカは、切りくず処理用工具の開発に努めている。しかしまだ鋼系材料の仕上切削における切りくず処理対策は解決されていない。すなわち、切込み 0.5 ~ 0.1 mm 程度、送り 0.1 mm/rev 以下において有効な切りくず処理方法がない。

ここでは、鋼系材料の仕上加工における切りくず処理のために、工具すくい角を連続的に変化させた切りくず制御用特殊曲面工具 (H. F. T. : Helicoidal Faced Cutting Tool)⁴⁾⁵⁾を試作し、生成される切りくず形態および工具の適用範囲、すなわち切込み、送り、切削速度およびコーナ半径についてのデータを実験的に求め検討した結果を報告する。

2. 特殊曲面工具

図 1 に切りくず制御用特殊曲面工具 (以下曲

面工具と呼ぶ) の概略図を示す。この曲面工具は刃先近くのすくい面が常らせん面 (Right helicoidal surface) となっている。すなわち図 1 に示すように、横切れ刃に沿って刃先から遠ざかるにつれて比例的に横すくい角が大きくなるように形成されている。このすくい面により切りくずは極めて小さい直径で強く巻いたコイル状に形成される。このような特殊すくい面を製作する方法としては、NC 研削、焼結、電解加工などの方法がありうるが、研削加工は原理的に連続した曲面を得ることが困難であり、段階的な疑似曲面となる。焼結する場合には精度の高いモールドと収縮補正に関するデータが必要であるが連続した曲面を得ることができ、また量産すればコスト面でも有利となるので、実用化の見込みがある。本報ではこの意味で主に焼結成形による工具によって実験

Fig. 1 Schematic illustration of helicoidal faced cutting tool

* 原稿受付 昭和 57 年 5 月 21 日。昭和 53 年度
精機学会春季大会学術講演会 (昭和 53 年 4 月
2 日) にて発表。

** 正 会 員 機械技術研究所 (茨城県新治郡桜村
並木 1-2)

*** 正 会 員 東京農工大学工学部 (小金井市中町
2-24-16)

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of copper alloy seamless pipes (JIS C 2600 T)

Cu %	Pb %	Fe %	Zn %
68.5-71.5	Less than 0.07	Less than 0.05	Rest
Outer diameter mm	Wall thickness mm	Tensile strength N/mm ²	Elongation %
75	5	More than 275	More than 45

を行った。

図1の(a)において、 γ は曲面工具の横すくい角の変化範囲、 L はすくい角変化領域の切れ刃長さ(mm)、 R はコーナ半径を表している。また、 a, b, c および d は切りくず排出方向を示したものである。

3. 実験方法

曲面工具により生成される切りくずの流出形態、形状および切りくず処理性のデータを求めるため、下記の項目について実験を行った。

3.1 準二次元切削による切りくずと流出形態の検討

使用機械、装置および切削諸元は次の通りである。

使用機械：昌運カズヌーブ旋盤 HB 500 型 (15 PS 整流子電動機付き)、測定器：津上 L 型万能工具顕微鏡およびツールスコープ(中央精機製)、工具材種：高速度鋼 SKH 4、工具形状：逃げ角 6° 、切れ刃角 0° 、通常工具の横すくい角： $-15^\circ, -5^\circ, 0^\circ, +5^\circ, +15^\circ$ の 5 種類、曲面工具の横すくい角の変化範囲 γ ： $-15^\circ \sim +15^\circ, -20^\circ \sim +20^\circ$ の 2 種類、曲面工具におけるすくい角変化領域の切れ刃長さ L ：1.0, 2.0 (mm)、被削材：銅合金継目無し管 C 2600 T、切削条件：切削速度=25 m/min、送り=0.009, 0.013 および 0.025 mm/rev、切削幅=1.0, 2.0 mm の 2 種類、ただし図4の実験では γ ： $-20^\circ \sim +20^\circ$ 、 L ：1.0, 2.0 mm、切削速度=6 m/min、送り=0.075 mm/rev、切削幅=0.6, 1.0 (mm)。

表1は実験に用いた被削材の化学成分および機械的性質を示す。

3.2 長手旋削による切りくず処理性と適用範囲の検討

使用機械および測定器は3.1節に同じである。工具材種：超硬 P 10、工具の刃部形状：(横切れ刃稜付近のバックレーキ 0° 、横すくい角の変化範囲 γ ： $-15^\circ \sim +15^\circ$ 、前逃げ角 6° 、横逃げ角 6° 、前切れ刃角 15° 、横切れ刃角 15° 、コーナ半径 0.4 および 1.0 mm)、 L ：1.5 mm、工具ホルダ：P 11 R-33、被削材：機械構造用炭素鋼 S 25

Table 2 Chemical and mechanical properties of work material (JIS S 25 C)

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Ni %	Cr %
0.24	0.20	0.44	0.012	0.014	0.14	0.04	0.11
Yield stress N/mm ²		Tensile strength N/mm ²		Elongation %		Hardness H _B	
More than 265		More than 441		More than 27		137-140

Fig. 2 Illustration of chip flow with H.F.T. in orthogonal cutting

C(焼きならし)、切削条件：切削速度=120, 150, 200 および 250 m/min、送り=0.009~0.05 mm/rev の範囲で7段階、切込み=0.1, 0.3 および 0.5 mm、以上の実験はいずれも乾式切削で行った。

表2は実験に用いた被削材の化学成分および機械的性質を示す。

4. 実験結果と考察

4.1 準二次元切削による切りくずと流出形態の検討

図2に準二次元切削に対する切りくず流出形態とその形状を示す。切りくずは、すくい面の負のすくい角側に向かって回り込みつつ、きつくカールして小さい直径のコイル状となる。このコイルの軸線は切れ刃とはほぼ直角である。このような切りくずが生成する理由としては次のように考えられる。① 切れ刃稜付近における切りくず速度は切削比によって影響をうけるが、この曲面工具では切れ刃に沿ってすくい角が変化しているため、主切れ刃に沿って切削比の変化が発生し、切りくず両端で図2に示すように切りくず速度が異なる。したがって切りくずはまず負のすくい角側に向かって曲がる。② この曲がりの発生によって、切りくずは負のすくい角側の曲面をよじ登ることになる。③ この結果、曲面から強いねじれ、あるいはひねり効果をうけるのでコイル状になる。

図3に横すくい角の変化と切削比の逆数の関係を示す。通常工具と曲面工具を用いて、同一切削条件によって流出した切りくず各10個を抽出し、コイル状切りくずの両側各々60か所を測定し、その平均厚さ t を求め、横

Fig. 3 Relationship between reciprocal cutting ratio and rake angle

Fig. 4 Relation between gradient of rake angle and chip formation

すくい角と切削比の逆数 t/s との関係求めた。曲面工具では切りくずの両端（負のすくい角の側と正のすくい角の側）について各々切削比の逆数を求めた。この値は、切りくず両端部に対応するすくい角をもった通常工具のそれにほぼ匹敵する。すなわち、この切削条件ではすくい角によって切削比が大幅に変化する（したがって切りくず速度も変わる）。

図4にすくい面のひねりの度合と生成した切りくずの形態を示す。準二次元切削した時に生成された切りくずの直径 ϕ 、ピッチ p および直径とピッチの積 $\phi \cdot p$ はすくい角の変化率が大きくなるにつれて、前記曲面すくいの効果により急速に減少し、切りくず処理性が良好になることを示している。

特にすくい角変化率が $20^\circ/\text{mm}$ 以上においては $\phi \cdot p$

Fig. 5 Comparison of chip control capability of H. F. T. and conventional chip breaker

Work material; S 25 C (normalizing), Tool material; P 10, Effective cutting edge length; 1.5 mm, Corner radius; 0.4 mm, Depth of cut; 0.5 mm, Feed; 0.0125 mm/rev, Cutting speed; 120 m/min, Cutting fluid; dry

Fig. 6 Effect of depth of cut on chip formation

の値は約 $1/10$ 以下になり、すくい面のひねり効果が著しい。

4.2 長手旋削による切りくず処理性と適用範囲の検討

図5に低炭素鋼 S 25 C（焼きならし）を仕上外周旋削した時の曲面工具と市販ブレイカ付き工具（SPGF-421-ER）による切りくず形状の例を示す。図5に示すようにこの切削条件において、市販ブレイカ付き工具では良好な切りくずを得ることができないが、曲面工具の切りくずは、コイル状でほぼ一定長さ $20 \sim 50 \text{ mm}$ で切断されていて処理しやすい形状となる。

図6に、曲面工具における切込みおよび送りと切りく

Fig. 7 Effect of corner radius on chip formation

ずの処理性の関係を示す。ここでコイル直径とピッチのデータは切りくず各 10 個の平均値である。0.1~0.6 mm の切込みの範囲では切りくずは小さい直径 (0.5~1.2 mm) で強く巻いた長さ 15~70 mm のコイル状となって排出される。しかし切込みが増大すれば大勢として切りくずのカル直径 ϕ およびピッチ p は増大する。これは切込みが小さいほど、負のすくい角領域が実際の切れ刃となる割合が大きくなるためである。すなわち、準二次元切削の結果図 3 からわかるように、刃先に近い負のすくい角領域ほど切削比の変化が大きいことと対応している。ただ送り量が 0.025 mm/rev より大きい場合に変則的結果となるのは、同一工具で低送りから各送りを通して切削したため、刃先近傍の曲率が変化 (精度, 摩耗, 付着物など) したためと思われる。本報の実験範囲では摩耗は比較的軽微であるが、それでも摩耗の進行に伴って切れ刃後および境界部付近に溶着物が付き、切りくずカルに影響を及ぼす可能性がある。しかしながら逃げ面摩耗幅が仕上削りにおける寿命判定基準以下であれば切りくずカルに及ぼす影響はさして大きくない。

図 7 にコーナ半径および送り量と切りくずの処理性の関係を示す。ただし、この場合の切削速度は 150 m/min, 切込み 0.5 mm である。それぞれの場合の切りくず各 10 個を測定し、 $\phi \cdot p$ の値を求めてプロットした。コーナ半径 $R 1.0$ mm のときの切りくずは、ほぼ 2~3 巻き ($\phi 1 \sim 2$ mm) で、一部強く巻いたコイル状となり 15~20 mm のものが排出される。一方、コーナ半径 $R 0.4$ mm では、長さ 20~70 mm のコイル状 ($\phi 1 \sim 1.5$ mm) となる。

Fig. 8 Effect of cutting speed on chip formation

図 8 に切削速度の切りくずの処理性に及ぼす影響を示す。ただし、この場合の送りは 0.0125 mm/rev, 切込み 0.5 mm である。それぞれの切りくず各 10 個を測定し、 $\phi \cdot p$ の値と切削速度との関係を調べた。各切削速度の切りくずは、連続曲面のねじれ作用により一定長さ 15~70 mm のコイル状 (切りくず直径はほぼ 1 mm) となる。切りくずの流出方向は、低速域側では工具シャンク側 (図 1 (a) の c 方向) に、高速域側では、横切れ刃に対してほぼ直角となる (図 1 (a) の b 方向), 切削速度 120~200 m/min の範囲では、 $\phi \cdot p$ の値は十分小さく切りくずの処理性は良いといえる。

5. 特殊曲面工具の製造法

5.1 特殊曲面工具の製造法

上記のように試作した曲面工具はほぼ目論見通りの切りくずひねり効果をもち、実際の仕上旋削においても十分使用しうる特性を有することが確認できた。しかし切りくず処理性からみてこの曲面工具が優れていたとしても、実用的な曲面製造方法が確立できなければ無意味であろう。この意味でここでは焼結成形によるスローウェイ曲面チップの製作を試みた。

図 9 に曲面工具チップの押型装置の概略図を示す。超硬粉末挿入環 ⑤ の中央キャビティ ④ に下側から超硬チップの刃部側モールド棒 ⑥ を挿入し、超硬粉末を装てんする。次に ② 超硬チップの底部側モールドが挿入され、⑥ と ② を介して粉末が圧縮され成形される。⑤ 挿入環と ⑥ および ② のはめあい公差 ⑦ は 0.01 mm である。④ の寸法 ③ は $\square 15.62$ mm である。この数値は焼結時の

Fig. 9 Schematic drawing of molding set of helicoidal faced cutting tip

収縮を考慮した寸法で製作される。実用化を目的にピンロック軸用穴抜き棒①を設け、穴チップのロック穴を加工できる。この装置は20t複動クランク(油圧兼用)で使われた。

今回の実験にはこの方法でコールドプレスされたチップ(P10)を水素炉で焼結したもの素材とし、両逃げ面、コーナ部分のみを研削仕上して使用した。ただし、刃先チャンファ量は焼結面で0.03 mm程度である。この方法では、精度の高いモールドが必要であるが、連続した曲面を得ることができ、量産すればコストも低減し、実用化の見地から有利であろう。

5.2 焼結チップの曲面精度の測定

この工具の切りくず制御機能は切れ刃近傍のわずか1~2 mm²以下の部分の特殊曲面の形状に依存している。すなわち曲面の形状が切りくず処理性に微妙に影響する。5.1節の方法で製作した切れ刃曲面の形状精度を測定するため、立てフライス盤の主軸端に形状検出器(東京精密製サーフコム100A使用)を取り付けて、テーブルを定速送りとし、切れ刃から曲面部のプロファイルをX-Yプロッタに描かせた。

図10に焼結チップの刃部プロフィールの一例を示す。

この図の例では曲面の粗さは約10 μm、曲面の形状精度において20~30 μm程度であり、必ずしも満足すべき精度ではないが、焼結法によって得られた結果としては比較的良いものである。また切削試験結果も前述のように一応良好な結果を得た。

Fig. 10 Profile of sintered H. F. T. tip

6. 結 論

切りくず処理が困難な鋼系材料の仕上加工において、工具すくい角を連続に変化させた切りくず制御用特殊曲面工具を開発した。曲面工具は、刃先付近のすくい面が切れ刃に沿って刃先から遠ざかるにつれ、すくい角が大きくなるよう形成されている。この工具を用いて、銅合金継目無し管による準二次元切削試験を行い、切りくずの流出形態を調べ、低炭素鋼S25C(焼きならし)を仕上旋削し、生成された切りくず形状を調べ、それぞれの切りくずを定量的に測定し、切りくずコイルの直径×切りくずコイルのピッチ($\phi \cdot p$)の値を処理性の目安として検討した。以下結果を要約する。

- (1) 曲面工具による切削比 s/t は、対応するすくい角において、ほぼ通常工具のそれに匹敵する。
- (2) 曲面工具のひねりの効果は、すくい角変化率が $20^\circ/\text{mm}$ 以上で強い。
- (3) この曲面工具は仕上外周旋削においても、実用上十分な切りくず処理性を有する。
- (4) この曲面工具の適用範囲は、S25C(焼きならし)の仕上旋削に対して、切込み0.5 mm以下、送り0.05 mm/rev以下、切削速度120~200 m/minの範囲条件である。この範囲では、コイル直径0.5~2.0 mm、長さ15~70 mmの形状で排出する。また切りくず排出方向が比較的一定しているので、容易に切りくずの吸引採集装置が利用できよう。
- (5) コーナ半径 $R(0.4 \text{ mm})$ の小さい方が、すくい面の曲率効果が向上し、密なコイル状の切りくずが排出され、その処理性は良くなる。
- (6) 曲面工具(焼結チップ)は、型作りに精度が必要であるが、連続した曲面を得ることができ、量産すればコスト面も低減し、実用化の見地から有利であろう。

終わりに、本研究を行うに際し、曲面工具の焼結に当たり、御便宜をはかれた東芝タンガロイ株式会社に対

し、深甚なる感謝の意を表し、また実験その他に協力を頂いた機械技術研究所の糟谷梅太郎技官、宮坂金佳技官、澤井信重技官、栃木県県南工業指導所の川田議一郎技師に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 中山一雄: チップブレイカによる切りくずの切断, 精密機械, **26**, 8 (1960) 482.
- 2) 中山一雄: チップブレイカの研究, 日本機械学会論文集, **27**, 178 (1961) 833.
- 3) K. Nakayama, M. Arai, T. Kondo & H. Suzuki: Cutting Tool with Curved Rake Face—A Means for Breaking Thin Chips, CIRP Ann. (CHE), **30**, 1, (1981) 5.
- 4) 竹山秀彦, 谷戸 勉: 切屑制御用切削工具, 特許出願, 48-063142 号.
- 5) H. Takeyama et al.: Cutting Tool for Controlling Chip, U.S. Patent, March 9, 1976, Sheet 2 of 2, 3,942,229.
- 6) 谷戸 勉ほか: 試作した特殊切屑処理用切削工具について, 昭和 53 年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1978) 441.

情 報

(p.364 より続く)

●自主技術開発の必要性和状況

これまで導入技術依存を支えてきた環境は、ここにきて大きく変わりつつある。それは「海外からの技術導入の困難化」「新たな先導的・基盤的科学技术に対する要望の高まり」「国際的貢献の必要性増大」などによるもので、わが国としては今後、創造的な研究開発を早急に強化していくことが課題である。ここで先導的・基盤的の7つの科学技術分野におけるわが国の状況をみえる。

▽核融合＝トカマク型(ソ連方式)試験装置の研究開発がここ数年の間に急速に進歩し、全体として世界的水準に達しているなど炉心技術ではすぐれているが、炉工技術(材料、装置の耐久性・経済性、燃料の製造・補給、エネルギーの取出し)についてはやや立ち遅れている。

▽宇宙開発＝地上施設関連技術では世界最高水準に達しているが、飛しょう体(ロケット、人工衛星)では技術的業績がまだ十分でない。しかし、ロケットのエンジン技術、誘導制御技術では、自主技術による開発が行われており、また人工衛星の姿勢制御における自主技術の確立に向けて研究が進められている。

▽海洋開発＝有人潜水技術による潜水作業技術では、世界的な水準から大きく遅れているが、深水調査船開発技術では自主技術により「しんかい 2000」を開発し、先進国の仲間入りをしつつある。

▽ライフサイエンス＝わが国の組替え DNA 研究は、欧米先進国に数年遅れて開始されたこともあり、現在、特に米国に対して後れをとっているが、徐々に水準を向上させており、ここ 2,3 年では世界的にすぐれた成果も上げている。

▽極限科学技術＝極低温科学技術では、超電導材料の研究開発にみられるように欧米先進国と肩を並べる水準になり、また超高圧科学技術では他の先進国よりかなり遅れて研究開発を開始したが、超高圧発生技術の進歩は目覚ましい。

▽材料科学技術＝ファインセラミック、新高分子材料、複合材料などについて活発な研究開発が行われており、また新金属材料ではわが国はおおむね米国と並んで世界最高水準にある。

▽情報・電子技術＝光ファイバ、半導体レーザなどの光技術では米国と並んで世界最高水準にあり、また半導体などの素子技術では超 LSI に代表されるように既存技術の改良または高度化について高い水準にあるが、ジョセフソン素子などの将来の新しい素子については、総合的にみると米国に後れをとっている。

●創造的科学技术への課題

わが国の研究費は最近 10 年間、欧米先進国を上回る勢いで伸び、昭和 55 年度は対国民所得比で 2.42% と過去最高の水準となったが、この水準は依然として米、英、西独に及ばず、長期的に対国民所得比 3% の水準に引き上げる努力が必要である。研究関係人材についても創造性、総合性に富む人材の育成と研究環境の整備が必要である。

一方、研究開発分野の面では、長期間を要し、リスクも大きい革新技術のシーズの探索・育成に国として力を入れていくことが重要である。

そのほか、先導的・基盤的科学技术の充実・強化、産・学・官の有機的連携の強化、国際協力の積極的展開などが重要と考えられる。
(服部 敏夫)