

# 焼入れ鋼の高速ミーリング —ボールエンドミルねじれ角の影響—

High speed milling of quenched steel  
—Cutting characteristics of ball end mills with different helix angles—

○高橋一郎、安斎正博（理研）  
Ichiro TAKAHASHI and Masahiro ANZAI

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Hirosawa2-1, Wako-shi, Saitama

The high speed milling characteristics of quenched steel using fabricated ball end mills with different helix angles are investigated through geometrical simulations and cutting experiments. As a result, it is found that the flank wear width of ball end mills with helix angle 30° and 50° is smaller than 10°.

**Key Words:** high speed milling, quenched steel, ball end mill, helix angle, geometrical simulation, tool wear

## 1. はじめに

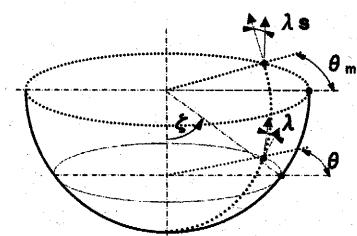
工作機械、工具をはじめとする切削加工技術の近年の動向は高速・高精度指向にあり、特に金型加工分野を中心に高速ミーリングの実用化が進んでいる。さらにこの分野では、金型焼入れ後の修正仕上げ加工や、或いは焼入れ材の直彫り加工へ高速ミーリングを適用しようとする動きが活発になっている。ここで用いられる工具の多くはコートド超硬合金製のソリッドボールエンドミルである。これらの工具も高速ミーリングを指向した切れ刃形状の最適化やコーティングの改良などが進んでいる。本研究は、筆者らが先に開発した任意形状のボールエンドミルを研削するためのCAMシステム<sup>1)</sup>を用いて、異なるねじれ角をもつボールエンドミルを自作し、焼入れ鋼 SKD11 (57HRC) を切削した際の切削特性への影響について調査している。

## 2. ボールエンドミル製作の現状と切れ刃形状定義

以前に高速ミーリング用ボールエンドミルの開発を目的に実施した切れ刃形状（すくい角とねじれ角）の異なる3種類のボールエンドミル（ノンコーティング）を用いたブリハイドン鋼の高速ミーリング実験では、その工具寿命は悪いものに比べて良いものは倍以上の差異があることが分かっている<sup>2)</sup>。このことはボールエンドミルの形状開発の重要性を示唆している。しかし、現在のボールエンドミルの形状開発の環境は十分整っているとは言えない。これは、長年運営してきた市販の工具製作システムが大量生産指向で少量多品種生産を目指すものではなく、ボールエンドミルの形状を柔軟に扱うことが難しいためである。その上、ボールエンドミルの切れ刃は入り組んだ3次元幾何形状であるため、JISの規格を含め、これまでボールエンド切れ刃の形状パラメータの指標を明確に表記する文献は見当たらない。工具メーカは長年の経験と独自の2次元工具設計ソフトウェアを利用してボールエンドミルの製作と改良をしており、工具メーカごとに形状の定義や加工方法は一致しないために、ボールエンドミル形状を定量に扱えていないのが現状である。

ボールエンドミルの形状最適化を実現するには、従来の工具製作システムの考え方から抜け出して、最新の技術を取り入れ、新しいアイディアを生み出し、新たにボールエンドミルの設計・創成・評価システムの提案と開発を行わなければならない。近年充実してきた3D-CAD技術を利用し、ボールエンドミルの幾何形状を明確に定義した上に、設計・製作するCAMシステムの開発が必要である。本研究で製作したボール

エンドミルのねじれ角は図1のように定義している。ボールエンドミルのねじれ角は、ボール先端の0°から最外周点の基準ねじれ角 $\lambda_s$ まで連続的に変化する。なお、本システム



基準ねじれ角 $\lambda_s$ 、回転角 $\theta = -k(1 - \cos \zeta)$ 、定数 $=\tan \lambda_s$   
任意の切れ刃上の点のねじれ角 $\lambda = \cos^{-1}(1/\sqrt{(R^2 \cdot \sin^2 \zeta + 1)})$

図1 ねじれ角 $\lambda$ の定義方法

2枚刃ボール形状 工具半径R=3mm, すくい角γ=0°, 逃げ角α=12°

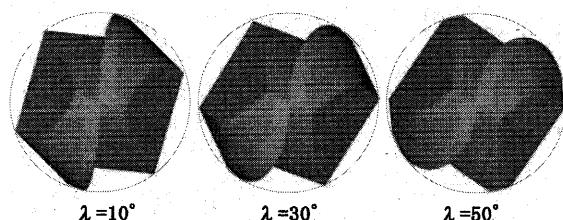


図2 製作するボールエンドミルのCAD形状

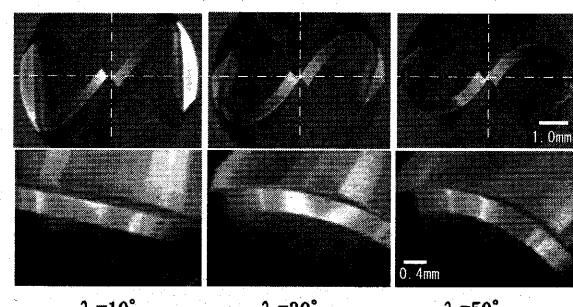
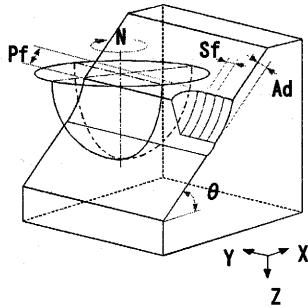


図3 製作したボールエンドミルの外観



切込量  $Ad=0.1\text{mm}$ , ピックフィード  $Pf=0.15\text{mm}$   
一刃送り量  $Sf=0.2\text{mm}$ , 回転数  $N=21,000\text{min}^{-1}$   
傾斜角度  $\theta=45^\circ$ , 工具半径  $R=3.0\text{mm}$

図4 切削モデルと加工条件

では切れ刃上のすべての点においてすくい角と逃げ角は一定値であり、一般的な市販工具と顕著に異なる点である。また、製作する工具のCAD形状を図2に、実際に製作した工具の概観写真を図3に示す。ボール部のみ切れ刃を創成している。なお、母材は超微粒子超硬合金（直径  $\phi 6\text{mm}$ 、全長  $60\text{mm}$ ）であり、工具製作後 AlTiSiN コーティング処理を施してた。

### 3. ねじれ角の違いが切りくず生成に及ぼす影響

図4に示す  $45^\circ$  傾斜平面を下から上に向ってピックフィード  $Pf$  にて単純直線ダウン切削する場合について、切り取り形状を幾何学的に求めた結果を図5に示す。製作した工具に合わせてねじれ角  $\lambda$  が  $10^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $50^\circ$  の場合について比較している。図中には切れ刃が切削に関与する範囲を10分割した時のそれぞれの切れ刃位置（切れ刃が回転する様子）を示している。また、表1に本加工条件下で切削に関与する切れ刃の位置、長さ、ねじれ角を示す。

表1 切削に関与する切れ刃の値

基準ねじれ角 $\lambda_s$	$10^\circ$	$30^\circ$	$50^\circ$
切れ刃位置（中心角）			
	$43.6^\circ \sim 59.8^\circ$		
実切れ刃長（近似値）	$0.89\text{mm}$	$0.94\text{mm}$	$1.09\text{mm}$
実ねじれ角	$4.8^\circ \sim 7.5^\circ$	$15.3^\circ \sim 23.3^\circ$	$29.5^\circ \sim 41.7^\circ$

図5および表1から、ねじれ角が大きいほど実際の切削に関与する切れ刃の長さが大きくなり、切削力の分散などの効果が期待できることが分かる。また、切れ刃が被削材へ進入・離脱する位置とその様子はかなり異なっていることが分かる。このことは切り屑に作用する切削力の方向が異なり、切り屑の排出方向にも大きく影響しているものと想される。

### 4. 切削実験

#### 4-1 実験方法

前項の幾何学的考察で用いた加工条件と同様の切削条件で焼入れ鋼を切削し、工具摩耗などを調査した。図4に示した以外の実験条件を表2に示す。

表2 切削実験条件

工具回転数（切削速度）	$N=21,000\text{min}^{-1}$ ( $V=273 \sim 342\text{m/min}$ )
被削材 緒元	SKD11相当品、焼入れ焼戻し、硬度 57HRC
組成	C Si Mn Cr Mo V % 1 1 0.4 8 2 0.28

その他  
工具保持方式：コレットホルダ BT40-90  
工具突出し量 25mm、乾式切削

#### 4-2 工具摩耗曲線の比較

工具摩耗は本切削条件では正常摩耗を呈しており、主に逃げ面側に摩耗が進行している。図6と図7にねじれ角の異なる3種の工具の逃げ面摩耗幅の進行を比較した結果を

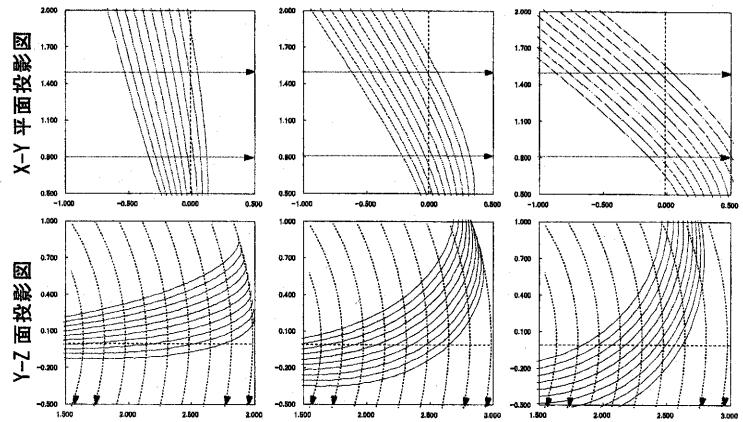


図5 幾何学的に求めた切り屑形状と切れ刃の進入・離脱の比較

示す。この結果は僅か1回の実験結果ではあるが、初期の摩耗に大きな差異はないものの、最終的にはねじれ角が大きいほど逃げ面摩耗幅が小さく抑えられた。前項で予想した効果が得られたものと考える。

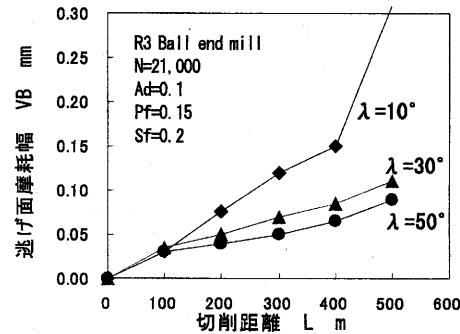


図6 工具摩耗曲線

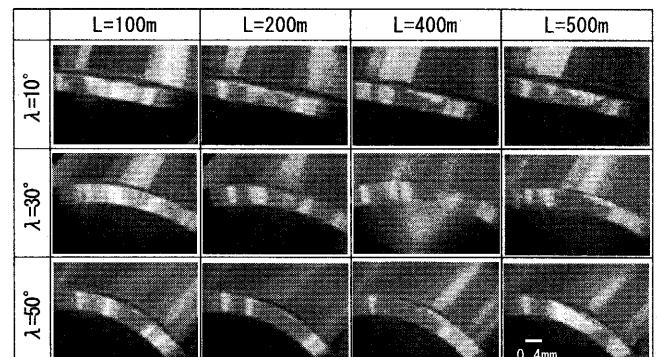


図7 工具摩耗の顕微鏡写真

#### 5. おわりに

高硬度材加工用のスクエアエンドミルにおいて強ねじれ角が推奨されているように、ボールエンドミルにおいても大きなねじれ角が工具寿命の点において優位であった。一般に市販されているボールエンドミルのねじれ角は  $15^\circ$  前後であること、また工具先端の  $0^\circ$  から最終部基準ねじれ角まで連続的に変化するという制限があることを考慮して、ボールエンドミルのねじれ角の最適化は重要であろう。

#### 参考文献

- 芦、他：高速ミーリング用ボールエンドミルの創成とその切削特性、精密工学会誌、68, 3 (2002) 451.
- 芦、他：高速ミーリング用ボールエンドミルの創成とその切削特性-異なるねじれ角・すくい角をもつボールエンドミルの実験的・幾何的評価-、精密工学会誌、69, 4 (2003) 530.