

# 高硬度材料の切削加工に関する研究

米山 陽・藤原 和徳・寺澤 章裕・狩野 勝吉

## Study on Cutting of High Hardened Steel

Akira YONEYAMA, Kazunori FUJIHARA, Akihiro TERASAWA, Katsuyoshi KARINO

### 要 約

焼入れ処理した金型用合金工具鋼 (50HRC) を対象とし、超硬合金製エンドミルを用いて切削加工を行う際の、適正加工条件の把握とデータベース化を図ることを目的として、切削加工実験を行った。その結果、切削速度や工具切れ刃形状、冷却方法によって、加工面の表面粗さや残留応力が異なる値を示すことが判明し、高硬度材料の切削加工における基礎データが得られた。

### 1. 緒 言

金型等の熱処理された高硬度材料の加工は、材料の硬度が高く、切削加工が困難であることから、放電加工による方法が一般的である<sup>1)</sup>。しかし、放電加工では電極の作製や磨き工程などが必要となるため、仕上がりにまで長時間を要しており、更なる加工時間の短縮化、強いでは低コスト化が要求されてきている。そこで、高硬度材料に対して切削加工を適用できれば、放電加工工程比率の低減、作業工程の省略化が可能となり、加工能率の向上が期待できる。

一方、近年の加工機の高速、高回転化、切削工具の高性能化が進んできたことから、高硬度材料を用いた金型等に対して、直彫切削加工を適用する試みが行われてきている。しかしながら、高硬度材料は難切削性を有するため、最適な工具選択や切削条件、サーフェス・インテグリティ (加工面の健全性) などの点で不明確な点が多く、最適な加工条件が見出されていない状況である。

そこで本研究では、焼入れ処理した金型用合金工具鋼 (50HRC) を対象として切削加工を行い、切削速度や切削工具の切れ刃形状、冷却方法の違いが、加工後の表面状態に及ぼす影響について評価し、適正加工条件の把握とデータベース化を図ることを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2-1 被削材および工具

実験に用いた被削材は、熱間金型用合金工具鋼 (SKD61, 30×50×50mm) で、焼き入れ焼き戻し処理を行い、表面硬さを50HRCに調質したものを使用した。

切削工具は、市販のコーティング超硬エンドミルとし、2種類のコーナRの異なる工具を使用した。表1に使用し

た工具の詳細を、図1に実験に用いた2種類のエンドミル刃先形状についてそれぞれ示す。

表1 切削工具

工具材種	超硬合金 (超微粒子タイプ)
コーティング	(Al,Ti) N
工具径	φ 8mm
ねじれ角	$\alpha = 30^\circ$
刃数	4 枚
刃先コーナR	0 (無し), 0.5mm



刃先コーナR (無し)      刃先コーナR (0.5mm)

図1 工具刃先形状の比較

#### 2-2 実験装置および加工条件

使用した加工機は、3軸縦型マシニングセンタ (三井精機工業(株)製, VU50A) である。

加工条件は、切削速度を25, 40, 63, 100m/minの4条件とし、一刃当りの送り量を0.028mm/tooth, 軸方向の切り込み量を0.2mmに設定した。加工送りとしては、Y軸方向のみの一軸送りによる加工を行った。切削部の冷却は、大量の水溶性切削液を使用したウエット方式と1時間に10cc程度の微量な不水溶性油を噴霧するセミドライ方式 (MQL), また、完全ドライである冷風方式とエアブロー

方式の4種類について、それぞれ加工実験を行った。工具ホルダは、一般的なコレット方式に比べ、剛性が高く芯振れの少ない焼きバメ方式とし、工具ホルダからの切削工具突き出し量は25mmとした。表2に加工条件の詳細について示す。

表2 切削加工条件

切削速度	Vc=25, 40, 63, 100m/min
刃当り送り量	Sz=0.028mm/tooth
軸方向切込み量	Ad=0.2mm
切削幅	Rd=8mm
冷却	水溶性切削液, MQL (10cc/hour) 冷風 (-30℃), エアブロー
工具ホルダ	焼きバメ方式

2-3 切削抵抗の測定

加工中の切削抵抗について、切削動力計(キスラー, 9172B)を用いて測定を行った。図2に示すように、加工機テーブル上に切削動力計を取り付け、その上に被削材を固定し、測定を行った。

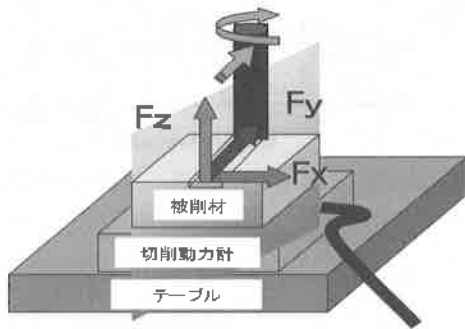


図2 切削抵抗の測定

2-4 表面粗さ測定

切削後の表面粗さは、触針式の表面粗さ計(榊小坂研究所製 DSF1000)を用いて測定を行った。測定箇所は切削工具通過箇所の中央とし、測定方向は工具送りと同方向とした。

2-5 X線応力測定

切削面の残留応力測定には、X線応力測定装置(楨リガク製MSF-2M)を使用し、並傾法により測定を行った。回折線は、一般的な鉄鋼材料の応力測定に用いられる $\alpha$ Fe211を利用した。表3にX線応力測定条件を示す。残留応力の測定位置は、切削上面中央部とし、測定方向は、工具送り方向と、送り方向に対して直交した2方向の測定を行った。

表3 X線応力測定条件

回折面	$\alpha$ Fe211
ターゲット	Cr
管電圧	30kV
フィラメント電流	8mA
測定手法	$\sin^2 \psi$
応力定数	-297MPa/deg.

3. 結果および考察

3-1 切削抵抗について

図3に刃先コーナR 0.5mmの、図4に刃先コーナR無しの工具を用いた時の切削速度と切削抵抗値を示す。図中の切削抵抗の値は、Fx, Fy, Fzの3方向の分力を合計した値を示している。

切削抵抗は、どの切削工具においても、切削速度に関わらず50Nから100Nの間ではほぼ一定の値を示し、コーナRを有する切削工具の切削抵抗は、コーナRの無い切削工具に対して全般的にやや高めの値を示した。また、冷却方法が異なることによる影響としては、コーナRを有する切削工具を用いた場合にはエアブローが最低値を示し、コーナRの無い切削工具においてはMQLが最低値を示す結果となった。MQLはどちらの切削工具においても50N前後の一定値を示し、他の冷却方法に比べて安定した切削抵抗が得られている。

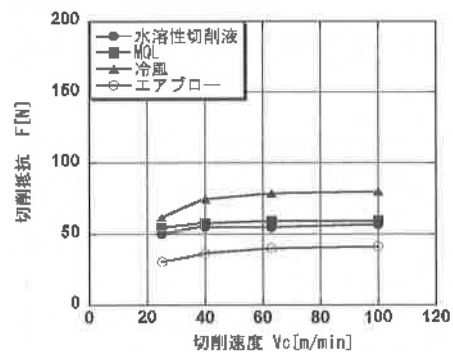


図3 切削抵抗値(コーナR有り)

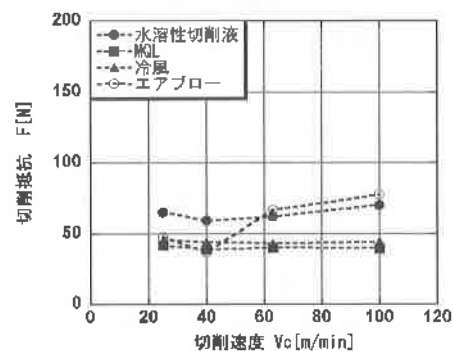


図4 切削抵抗値(コーナR無し)

### 3-2 表面粗さについて

図5に刃先コーナR 0.5mmの工具を用いた時の、図6に刃先コーナR無しの工具を用いた時の、切削速度と表面粗さの値を示す。

表面粗さは、切削速度が高まるにつれて低下する傾向を示し、最大でも $1\mu\text{mRa}$ 程度の良好な値であった。コーナRを有する切削工具では、切削速度が25m/minに比べ、100m/minでは平均して $0.2\mu\text{mRa}$ ほど低い値となった。また、コーナRの無い切削工具においても、表面粗さの値が低くなる傾向は見られるが、切削速度によって、値にばらつきが見られた。このことは、コーナRの無い切削工具では、切れ刃先端が鋭いため、切れ刃の信頼性がコーナRを有する切削工具より低く、微小なチッピングや異常損傷等が生じている可能性が考えられる<sup>2)</sup>。冷却法の違いによる表面粗さへの影響は、各工具により傾向が異なり、最適な冷却法についての判断は難しいが、水溶性切削液を用いた場合の表面粗さは、他に比べてやや高めな値になり易いと考えられる。

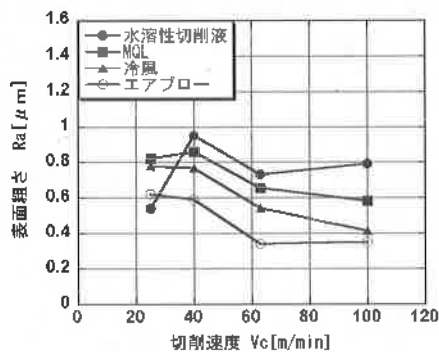


図5 加工面の表面粗さ (コーナR有り)

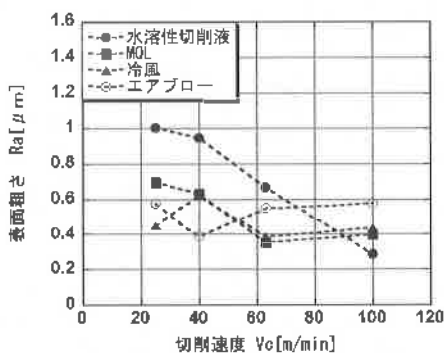


図6 加工面の表面粗さ (コーナR無し)

### 3-3 残留応力について

図7～図10に、加工面の残留応力値を示す。なお、図7および図9は切削工具送り方向、図8および図10は送り方向と直交する方向で測定した結果である。

残留応力の値は、全般的に一部を除いて圧縮の傾向を示し、水溶性切削液を用いた加工面がほとんどの加工条件において最も高い圧縮残留応力値を示した。逆に冷風

を用いた加工面は、最も低くなる傾向を示した。全加工条件を共通して最も高い値となったのは、コーナRの無い切削工具と水溶性切削液を用いて切削速度100m/minで加工した面であり、切削工具の送りと同方向に測定した結果では約-700Mpaであった。また、コーナRを有する切削工具では、切削速度が高まるにつれて圧縮残留応力値が低下する傾向を示したのに対し、コーナRが無い切削工具では、切削速度が60m/min付近で最も低くなり、更に切削速度が高まると増加に転じる傾向を示した。

一般的に、ダイカスト用金型などでは、使用過程における金型表面のクラックを防止する観点から、表面の残留応力は圧縮であることが望ましいとされている<sup>3)</sup>。以上の結果は、残留応力を考慮した切削加工を行う際に適用することが可能である。

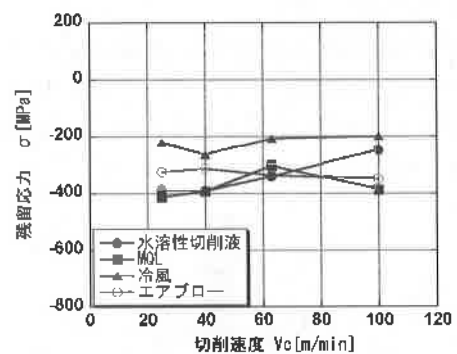


図7 残留応力値 (コーナR有, 工具送り方向)

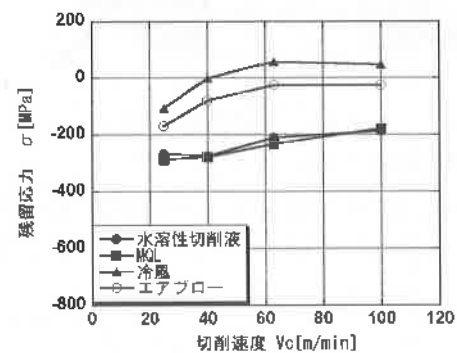


図8 残留応力値 (コーナR有, 工具送りと直交方向)

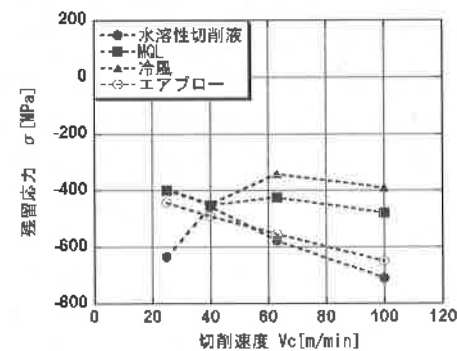


図9 残留応力値 (コーナR無, 工具送り方向)

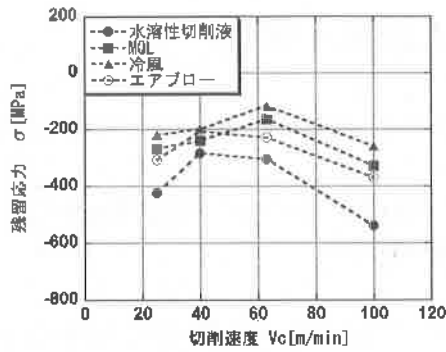


図10 残留応力値（コーナーR無，工具送りと直交方向）

## 5. 結 言

焼入れ処理した金型用合金工具鋼（50HRC）を対象とし，切削加工を行う際の適正加工条件の把握とデータベース化を図ることを目的として，切削加工実験を行った。以下に得られた結果を示す。

- (1) 切削抵抗は，切削速度の高低による影響を受けにくく，冷却方法ごとにはほぼ一定の値を示した。
- (2) 表面粗さは，切削速度が高まるにつれて低下する傾向を示し，最大でも $1\mu\text{mRa}$ 程度の良い面が得られた。
- (3) 切削面の残留応力値は，全般的に圧縮の残留応力となる傾向を示し，コーナーRの無い工具と水溶性切削液を用い，切削速度 $100\text{m/min}$ にて加工した面が最大となり，その値は $-700\text{MPa}$ であった。
- (4) 高硬度材料（SKD61，50HRC）をコーティング超硬エンドミルで切削加工する際の基礎的データが得られた。

## 参考文献

- 1) 松岡甫篁，安齋正博，高橋一郎：はじめての切削加工，工業調査会，P.11（2002）
- 2) 狩野勝吉：切削加工のトラブルシューティング，工業調査会，P.88-89（1996）
- 3) 型技術協会熱間金型の寿命改善委員会編：熱間金型の寿命対策，日刊工業新聞社，P.187（2001）