

油膜付水滴加工液を用いた高硬度材のエンドミル加工

河田 圭一^{*1}、佐藤 豊^{*1}、水野和康^{*1}

Performance of Oil Film on Water Fog Cutting Fluid in End-Milling of Hardened Die Steel

Keiichi KAWATA, Yutaka SATO and Kazuyasu MIZUNO

Technical Consulting Division, AITEC^{*1}

油膜付水滴加工液を用いて、高硬度材を加工し、工具摩耗、切削抵抗、仕上げ面粗さについて調べた。加工法は、立形マシニングセンタによるボールエンドミル加工で、工具は、TiAlN コーティング工具である。油膜付水滴加工液を用いた実験のほか、水溶性切削液（エマルジョン）、オイルミストおよび極微量潤滑法を用いた同様の実験を行い、その結果を比較した。油膜付水滴加工液および水溶性切削液を用いた場合、逃げ面境界部にチッピングが生じ、オイルミストを用いた場合よりもはやく工具寿命に達した。切削抵抗、仕上げ面粗さについては、切削液間の相違は小さかった。

1. はじめに

環境に配慮した切削液として、油膜付水滴加工液（以下 OoW: Oil Film on Water Fog）を用いた加工方法を継続的に研究している。昨年度は、樹脂金型に使用されるブリハードン鋼の加工に応用し、油膜付水滴加工液が有効であることを示した¹⁾。しかし、最近の金型加工は、コストダウンと製作時間の短縮を目的に、従来放電加工や研削加工で製作されてきた HRC53 程度の高硬度材を切削加工で加工する方法が採用されつつある²⁾。さらに、HRC60 程度の高硬度材についても検討され始め、加工工具や加工法が模索されている段階にある^{3) 4)}。

そこで本年度は、OoW による HRC60 程度の高硬度材の加工への可能性を検討するためにボールエンドミルによる切削加工を行った。従来の多量の水溶性切削液、オイルミストおよび環境対策技術として注目されている極微量潤滑法（以下 MQL: Minimal Quantity of Lubricant）を用いて同様の加工実験を行い、OoW の性能と比較した。工具摩耗のほか、切削抵抗や仕上げ面粗さについても検討した。

2. 実験方法

2.1 実験装置と加工法

本実験では、金型加工を想定し、立形マシニングセンタによるボールエンドミル加工を行った。加工方法を図 1 に示す。切削速度がほぼ 0m/min となる工具中心付近では工具の摩耗状態が複雑となるので、その影響をさけるために、被削材を 20 度傾けて加工を行った。加工条件を表 1 に示す。- X 方向を工具の送り方向としたので、

切削はダウンカットである。- X 方向に 1 ライン加工された後、+ Y 方向に一定ピッチ送られるので、斜面を下から順に上へと加工される。被削材は冷間加工用の金型材としてよく使用されるダイス鋼（大同特殊鋼 DC53、SKD11 相当）を使用した。焼き入れ焼きもどしを行い、ダイス鋼の硬さは HRC58 とした。

2.2 切削液の種類と供給法

切削液の種類と供給法を表 2 に示す。OoW は、表に示す量の油と蒸留水から油膜付水滴を形成し、加工部に噴射するもので、油膜付水滴の形成と油膜の噴射に圧縮空気を使用する。オイルミストは、OoW 供給装置を用いて、蒸留水の供給を止めたものである。水溶性切削液および MQL はマシニングセンタの付属装置を用いた。

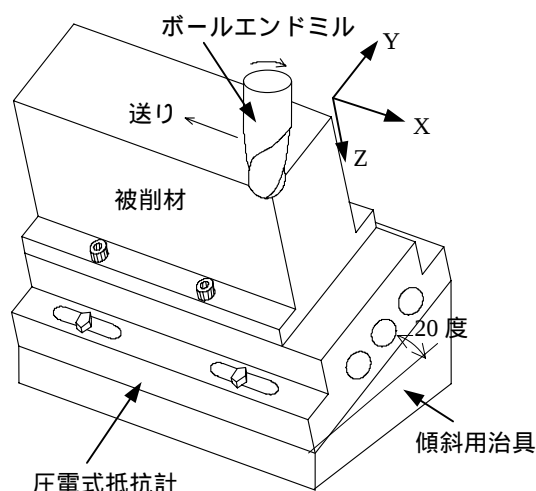


図1 加工方法

^{*1} 技術支援部 機械電子室

表 1 加工条件

工具	超硬ボールエンドミル TiAlN コーティング 径：R5 刃数：2 枚
加工条件	主軸回転数：6000 rpm 送り：1200 mm/min (0.1mm/刃) 600 mm/min (0.05mm/刃) 切込み：0.5 mm ピックフィード：0.5 mm
被削材	DC53 (SKD11 相当) HRC58

OoW、オイルミストおよび水溶性切削液は、外部からノズルによって加工点に供給される。MQL はセンタースルー方式であるため、主軸内部を経由して、エンドミルを把持しているコレットの小さな開口部から、加工部に油剤が供給される。

2.3 工具摩耗、切削抵抗および仕上げ面粗さの測定

切削開始後、切削距離が 15m までは 5m 切削することに、それ以降は、切削距離が 15m 増すごとに工具摩耗量とチップングを測定した。それと同時に、切削抵抗と仕上げ面粗さを測定した。

工具摩耗量は、逃げ面における摩耗幅を工具顕微鏡により観察し、逃げ面摩耗量として評価した。併せて、チップングなどによる工具欠損について観察した。

切削抵抗は、圧電式切削抵抗計により F_x 、 F_y 、 F_z の 3 成分を測定した。抵抗計も 20 度傾けられており、測定される力の方向は図 1 に示した方向になる。

仕上げ面粗さは触針式粗さ計により測定した。フィルターはガウシアンフィルタ、カットオフは 0.8mm、評価長さは 5 カットオフとした。工具の送り方向 (X 方向) および垂直方向であるピックフィード方向 (Y 方向) の 2 方向を測定した。それぞれ、5 カ所ずつ測定し平均値を比較に用いた。

3 . 実験結果および考察

3.1 送り 0.1mm/刃の場合

3.1.1 逃げ面摩耗

高硬度材の切削加工では、工具の寿命は、逃げ面摩耗幅とチップングなどの工具欠損によって決まる。現在のところ、工具寿命の実用的な目安は、150～200m 程度とされている。今回の 4 種類の切削液による加工では、逃げ面摩耗幅は、図 2 に示すように変化した。

この条件では、オイルミストのみが正常摩耗の形態を示し、150m まで問題なく切削が可能であった。OoW、

表 2 切削液と供給条件

切削液	油剤	供給量	供給方法
OoW	合成 エステル	油：10 ml/h 蒸留水：20 ml/min 空気：150 Nl/min	外部 ノズル
オイル ミスト	合成 エステル	油：10 ml/h 空気：150 Nl/min	外部 ノズル
水溶性 切削液	エマル ション	20 倍希釈液 7 l/min	外部 ノズル
MQL	専用油	油：4ml/h 空気：150 Nl/min	センタース ルー

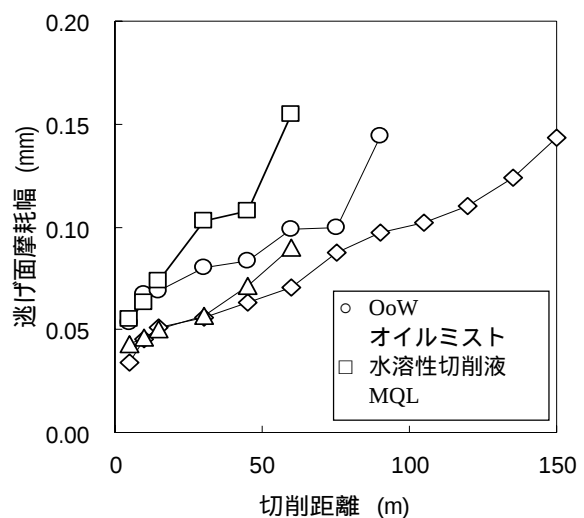


図 2 逃げ面摩耗幅

水溶性切削液、MQL は途中で大きな欠損が発生し、加工の続行が不可能になった。なかでも水溶性切削液は、初期摩耗が急増するとともに、比較的早い時期に欠損が発生して工具寿命に達している。OoW は、水溶性切削液とよく似た挙動を示し、切削 90m で寿命となった。MQL は、切削初期の摩耗では、オイルミストとほぼ同様であるが、60m の切削距離で寿命となった。原因は不明であるが、高速回転におけるセンタースルー方式では、加工部に油剤が十分供給されていないことが推測される。

各条件で、工具が寿命に達したときの逃げ面の様子を図 3 に示す。オイルミストを使用した工具は、極端な欠損が認められず、工具外周側に向かって逃げ面摩耗幅が漸増している。OoW と水溶性切削液を使用した工具は、切削部分の右端の境界部分で、熱疲労による大きな欠損が見られる。これは、前年加工したブリハードン鋼で観察された状況と同じであるが、今回の被削材はブリハードン鋼に比べ硬度が大きいため、切削距離が少ない時点で発生している。

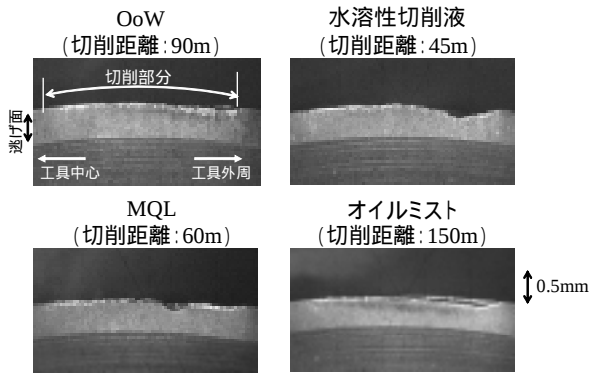


図3 工具摩耗の状況

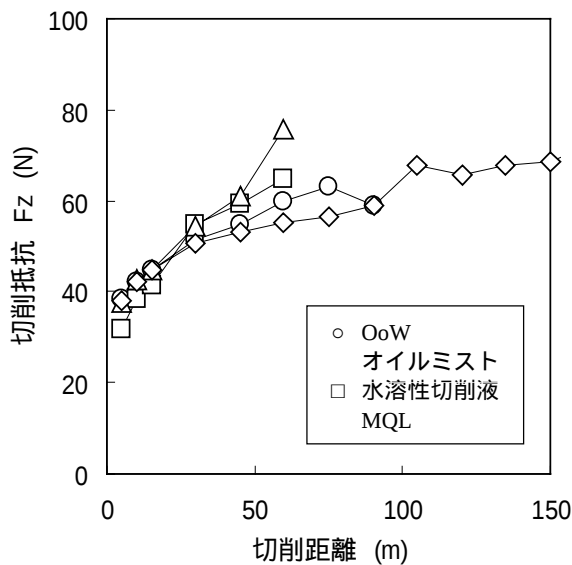


図4 切削抵抗

3.1.2 切削抵抗

各切削液について、切削抵抗 F_z の推移を図4に示す。オイルミストは摩耗と同様に漸増傾向を示す。他の3種類の切削液では、初期抵抗値はオイルミストと同じであるが、切削距離が30mを超えると上昇率が増加し、欠損が大きくなって、加工不能に至る。

3.1.3 仕上げ面粗さ

各切削液について、定常状態（切削距離30mから欠損の直前まで）における仕上げ面粗さを比較した。切削液による大きな違いは認められず、送り方向の仕上げ面粗さは $0.8 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 、ピックフィード方向のそれは $6 \sim 8 \mu\text{m}$ の範囲であった。

3.2 送り 0.05mm/刃の場合

3.2.1 工具の摩耗

HRC58 の硬度を持つ被削材に対して、一刀あたり0.1mmの送りは過酷な条件と考えられるので、送りのみを1/2の0.05mmにして、同様な実験を行った。この条件での逃げ面摩耗幅の推移を図5に示す。

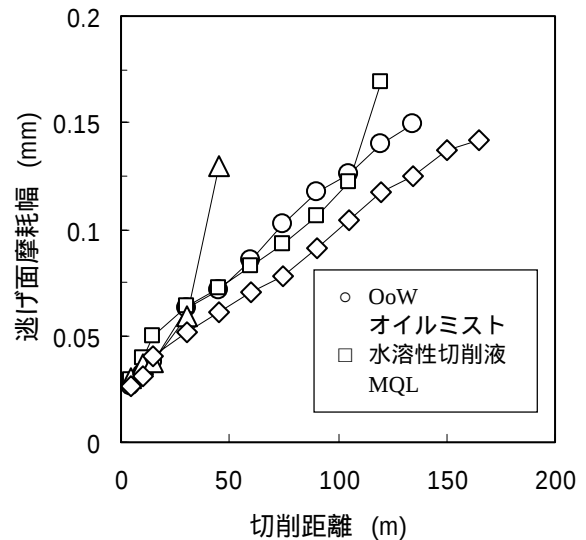


図5 逃げ面摩耗幅

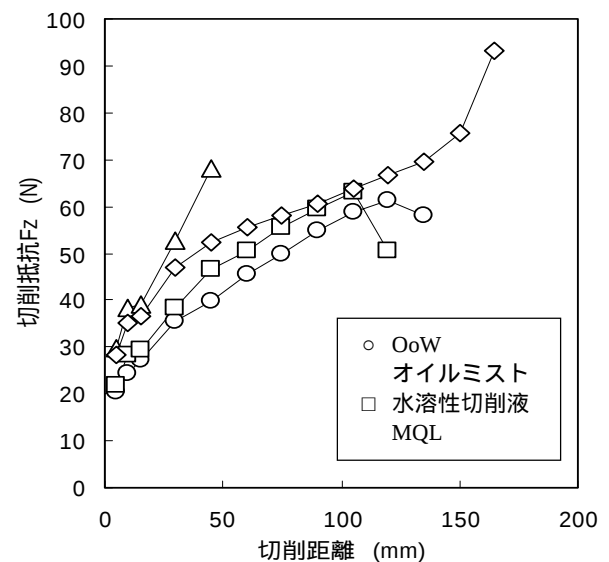


図6 切削抵抗

図より OoW と水溶性切削液では、工具寿命の延長が認められた。OoW では 135m、水溶性切削液では 100m が工具の寿命となっている。MQL では、送りを下げた効果は現れなかった。

3.2.2 切削抵抗

送りが 0.05mm/刃における切削抵抗 F_z を図6に示す。全体として、送り 0.1mm/刃の場合と同様に、切削距離30mまでの初期の増加率が大きく、それ以降は、増加率が低下し、曲線の傾きが小さくなる。切削抵抗が次第に増加し、欠損が生じると抵抗が増加する場合と低下する場合があるが、これは欠損の形態の違いによるものと考えられる。

3.2.3 仕上げ面粗さ

各切削液を用いたときの仕上げ面粗さは、送り 0.1mm/刃

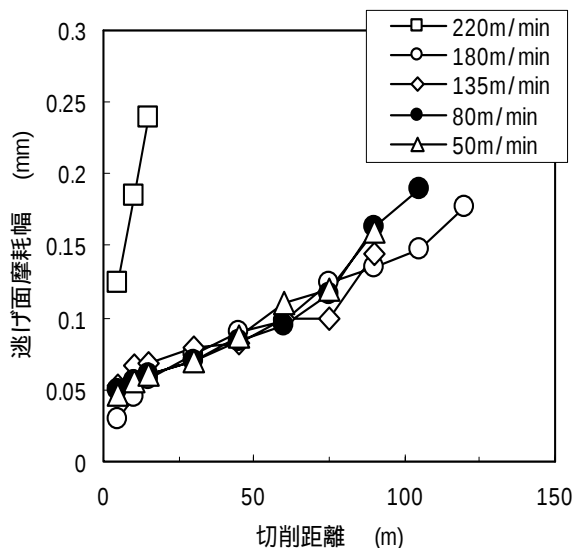


図7 逃げ面摩耗幅

における仕上げ面粗さと大差はなかった。

3.3 切削速度の影響

3.3.1 逃げ面摩耗

OoWにおいて切削速度を50～220m/minの範囲で変化させ、逃げ面摩耗幅を測定した。図7にその結果を示す。50～180m/minの工具の逃げ面摩耗は、切削距離が増えるとともに増加した。しかし、切削速度の違いによる影響はほとんどあらわれなかった。一方、切削速度が220m/minと高速になると、工具摩耗幅は切削初期から大きくかつ急激に増加し、すぐに切削が行えなくなった。

3.3.2 切削抵抗

図8に切削抵抗 F_z の測定結果を示す。切削速度220m/minの場合、加工初期から明らかに他の切削速度よりも切削抵抗が高かった。このことが、他の切削速度の場合と異なり、加工初期に工具刃先を欠損させる原因になったものと推測できる。

切削速度50m/minの場合、加工初期では他の切削速度の場合とあまり大きく切削抵抗は変わらなかったが、切削抵抗の上昇割合は最も大きくなった。

切削速度ごとに切削抵抗を比較すると、切削速度

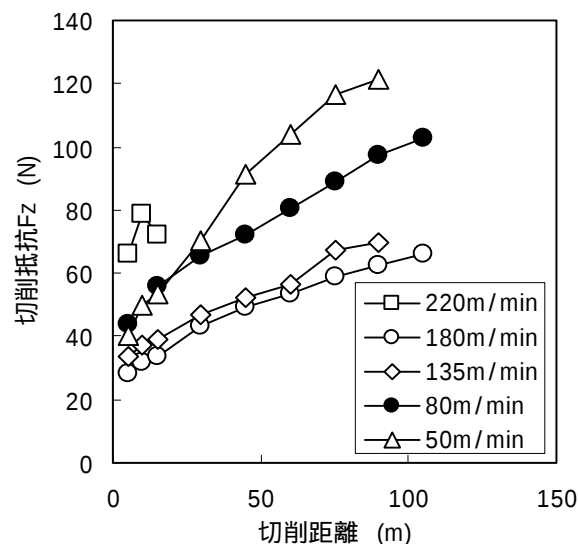


図8 切削抵抗

180m/min の場合に最も切削抵抗が低いことから、DC53を本実験条件で加工する場合、180m/minの切削速度が最適と思われる。

4 . 結び

油膜付水滴加工液を用いて高硬度材を切削加工し、コーティング工具の逃げ面摩耗、切削抵抗、仕上げ面粗さを検討した。高硬度材の加工では、水滴の冷却効果のためオイルミストを用いた場合に比べ、工具寿命は短くなった。しかし、送りや切削速度を適正に選択することにより、実用レベルに近い工具寿命になる。切削抵抗、仕上げ面粗さには、オイルミストと差がなく、冷却が必要な高精度金型への適用が可能である。今後は、冷却効果が有効な研削加工に適用し、油膜付水滴加工液の応用拡大を図っていく予定である。

文献

- 1) 河田ほか：愛知県産業技術研究所研究報告，1，33(2002)
- 2) 垣野ほか：精密工学会誌，66，730(2000)
- 3) 小泉勇二：機械と工具別冊，104(1998)
- 4) オーエスジカタログ 2002～2003,702(2002)