

NACHI-BUSINESS

Machining news

Vol. **3** A3
May/2004

マシニング事業

コーティング

■ 論文・報文・解説

環境負荷の低減と高能率加工を追求する

「MQL加工について」

Aspects of MQL Cutting Technology---
Negative Influence Reduction
on The Environment & High Efficiency

〈キーワード〉 セミドライ加工・ミスト加工・MQL加工・
構成刃先

機械工具事業部／コーティング技術部

安岡 学

機械工具事業部／マシナリー技術部

清都 俊之

要 旨

環境問題の高まりから、「エコ&ECO」のコンセプトの下、ドライ加工を指向した切削工具の開発を行ってきた。その中でも深穴加工などのアプリケーションで、僅かなクーラント量しか使用しない「MQL加工」が実用化され効果を上げている。しかしながら、MQL加工のメカニズムの解明は進んでないのが現状である。切削加工におけるクーラントとコーティングの作用ならびに切削現象の潤滑作用の特異性を示すことにより、MQL加工のメカニズムを推察し、基礎実験により効果を確認した。

Abstract

Since the rising numbers of the environmental issues, we have been developing the cutting tools for dry process from the viewpoints of economy and ecology.

Among the various machining methods, the MQL machining method that uses a small amount of coolant is used for deep hole drilling, producing good results.

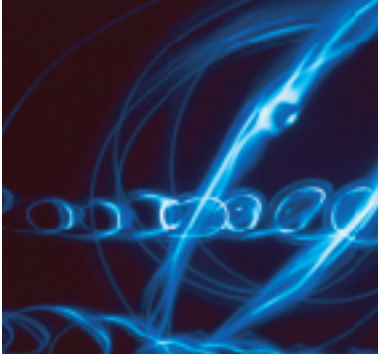
However, the progress is slow for elucidating the mechanism of the MQL machining method. We infer the mechanism of the MQL machining from the basic testing and verify the effects of it by demonstrating the functions of coolant and coating in cutting and the uniqueness of lubrication effects.

1. セミドライ加工に向けて

機械加工、とくに切削加工の分野においては、クーラント(切削油剤)を用いない「ドライ加工」が注目されている。しかし、まだクーラントを使用せざるを得ない分野も数多く存在している。

こうした背景から、最近、深穴加工やブローチ加工において「MQL加工」が注目されている。MQLとはMinimum Quantity Lubricationの略でNDM(Near Dry Machining:準ドライ加工)や、セミドライ加工とも言われる。これらは、従来「ミスト」加工と呼ばれたものではあるが、クーラントの極少量・最少量のいう意味を含んでいる。加工に使用されるMQLは2cc/hr～数10cc/hrであり、目に見えない量である。

切削加工における新しいクーラント法として、例えば^{※1}冷風加工、^{※2}高圧クーラントあるいは^{※3}窒素ブロー加工などのアプローチが、ここ数年にわたり提案されてきた。また、コスト・品質問題から環境問題などの高まりから、切削におけるクーラントの効果について、そのメカニズムの見直しが行われている。



2. 切削加工におけるクーラントの作用

1883年にF.W.Taylor¹⁾が、注水することで工具刃先の切削速度を向上させる作用を明らかにして以来、切削におけるクーラントの作用として、潤滑、冷却ならびに構成刃先の抑制など、切削現象に対する研究が進んできた。これらの摩擦、潤滑と摩耗の現象を扱う学問体系は、“Trybology”といわれる。Bowden&Taber “The Friction and Lubrication of Solids” (Oxford 1954) から始まった。切削現象の工具上の挙動は、図1に示すように被加工物が塑性変形を起こし、せん断されて切りくずを排出するものであり、このせん断と流動した切りくずの排出過程で、潤滑が大きい効果を与えることが知られている²⁾。

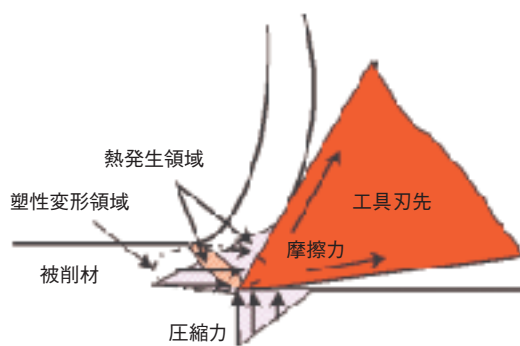


図1.工具刃先による塑性域での変形

切削に関して、従来から2つの考え方があった。1つは、摩擦熱による被加工物材料の温度上昇によって剪断を容易にする。もう1つは、冷却作用を高めて、工具損傷を防ぐ意味で工具の材料強度を維持させる。

工具の切削速度と摩耗の関係を図2³⁾に示す。低速域における凝着摩耗^{※4}は、被加工物の凝着と冷却によって生ずる硬化からもたらされる摩耗であり、いわゆる構成刃先(BUE)の形成による損傷である。従って、従来の考え方は構成刃先を制御してメルिटを出そうとする考え方と、構成刃先を形成させないとする考え方ともいえる。クーラントはこの構成刃先を防ぐ作用として働き、工具のすくい面に対する作用が大きい。

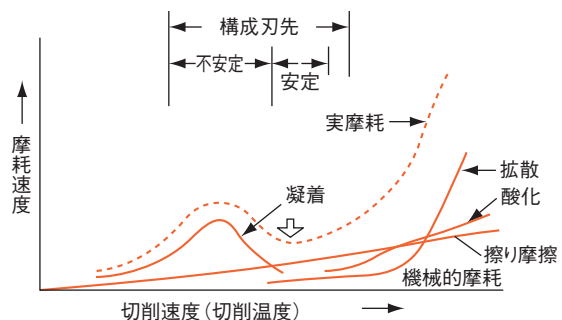


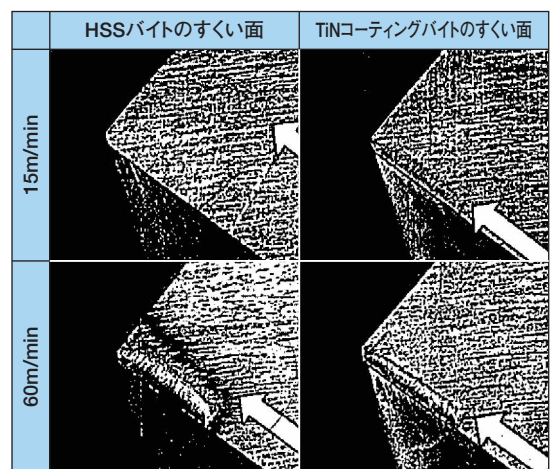
図2.切削速度と摩耗速度

3. 切削におけるコーティングの作用

ここ数十年、コーティング工具が一般化し、機械加工に大きく影響を及ぼした。高速度工具鋼を中心としたコーティング工具に加え、超硬合金コーティング工具が普及した。コーティングで主体となっている技術は、物理蒸着 (PVD:Physical Vapor Deposition) であり、イオンプレーティング (溶解、アーク、スパッタ) 法によるTiN、TiCNあるいはTiAlNというような硬質膜の被覆である⁴⁾。これらの被覆材はセラミックスであり、高速化して温度上昇があっても、工具基材との反応を抑制するので、切削速度を上げることが可能となった。

コーティングには、クーラントと同じような効果があり、工具すくい面の切りくずの接触長さを変える働きで、構成刃先を形成させない。図3に示すとおり、無処理バイトでは切りくずの接触長さが長く、切りくずの凝着による摩耗が進展する。これに対し、TiNバイトでは、切りくずの接触長さは短く、凝着がほとんど発生していない。

しかし、ミクロ的に見ると、コーティング工具の刃先には、被削材の凝着があり、この凝着が工具の性能に影響を及ぼす⁵⁾。コーティング工具の凝着性の低減と、基材との熱的遮断が、今日の高速加工とドライ加工を可能にした。また、工作機械の性能も向上し、高速スピンドルが一般化して切削加工の能率が一段と高まった。



(模式図)

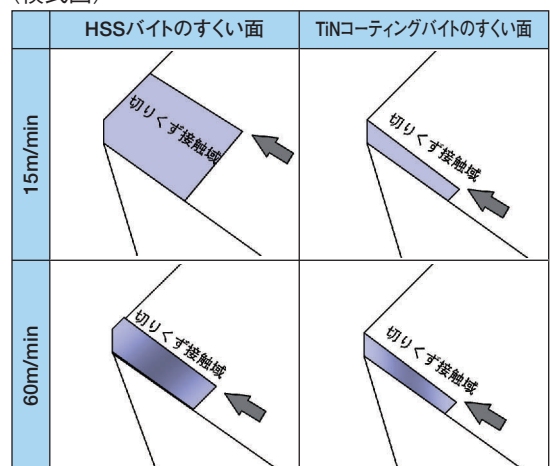


図3.無処理バイトとTiNバイトとのすくい面切削条痕の違い
(矢印位置まで切りくずが接触)

4. MQLの潤滑作用とその適用

クーラントの作用を表1に示す。切削加工の基本的なクーラントの作用は、冷却作用に比べて潤滑作用が大きい。そして、ドライ加工が難しい分野で、さらに切削工具性能を向上する場合に、MQL加工が用いられる。

表1.切削油剤の効果

項 目	油材による効果
潤滑	切りくずと工具すくい面間での摩擦抵抗を減少させ、二次的に切削熱の上昇を抑制。
冷却	発生熱による工具強度の劣化を抑え、被削面を劣化させない。
切りくず排出	切りくず詰まりを圧力により抑え、滞留切りくずを除去する。
仕上げ面保護・防錆	錆も含めた酸化などを発生。

クーラントの潤滑作用は、先に示した工具すくい面上に潤滑膜を形成させ、クレータ摩耗を軽減し、切りくずの接触長さを減少させて切削抵抗を軽減する。この他に、図4に示すように“Hardness Reduction”効果（レビンダー効果）により、切削抵抗を軽減する作用がある。これは、極性化合物の影響といわれ、被削材の塑性変形時やせん断時に生じるマイクロクラックの影響と考えられている。

潤滑効果

- ・真空引込みによる切削点への最小限の潤滑油剤の供給

Rehbinder効果

- ・極性物質による表面エネルギーの低減作用と亀裂拡大の抑制

Kramer効果

- ・極性物質の被覆による表面酸化の抑制（転位移動障壁の削減）

電気化学的作用

- ・油膜の絶縁作用による電気化学的作用の低減（亀裂の抑制）

気化冷却効果

- ・蒸発潜熱による冷却（代表例:Oil on Water法）

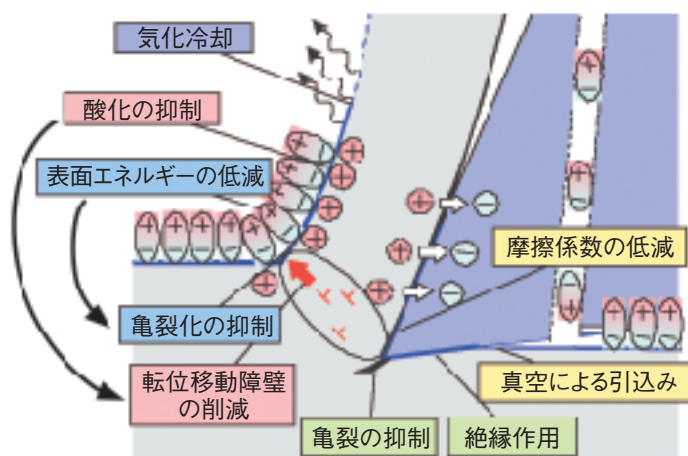
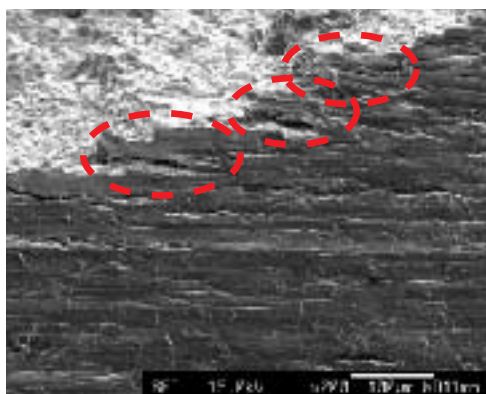


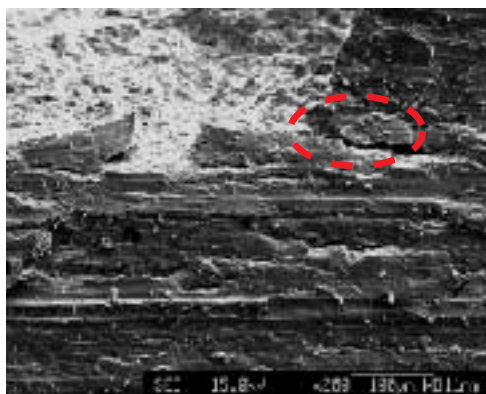
図4.MQLによる効果の推察メカニズム

S50C鋼の引っ張り試験時において、MQLのクーラントを塗布した場合と、しない場合に現れる亀裂発生の違いを図5に示す⁶⁾。破断面のマイクロクラックは表面エネルギーの相違を示し、結果的に、工具の寿命等に影響を及ぼすものと推察される。

MQLは、クーラントの潤滑ならびに冷却という二大作用のうち、潤滑作用を最大限利用した効果的な手法ともいえる。



(a)ドライでの破断面とマイクロクラック



(b)潤滑条件下での破断面とマイクロクラック

図5.引っ張り試験時のマイクロクラックの相違

ブローチ加工の例を図6に示す。湿式(油性)に比較して工具性能が向上するものもある。

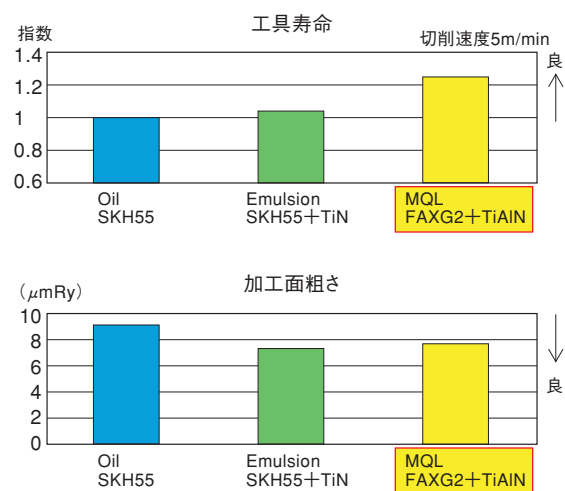


図6 a.MQLブローチによる切削性能



ブローチ諸元:m2xPA30xNT16
被削材:S45C

図6 b.MQLブローチの外観

5. MQL加工技術の商品化に

切削油剤の効果からMQLのメカニズムを推察し、実験により検証を行なった。潤滑効果による破壊エネルギーの低減は確認できたが、わずか数CC/hrの切削油剤で大きな効果を出せる解析は、まだ緒に着いたばかりである。

実用面では、すでに大きな効果が確認され、ライン稼働もしているが、さらに基礎的なメカニズムを解明することが、最適な加工システムの構築につながる。

今後も、基礎的テストを継続し、そのメカニズムについて解明するとともに、MQL加工を適用した工具や工作機械を商品化していく。

用語解説

※1 冷風加工

−20℃程度に冷却したエアを吹付けて加工する方法。

※2 高圧クーラント

7MPa程度の圧力でクーラントを吹付けて加工する方法。

※3 窒素ブロー加工

窒素ガスを吹付けて加工する方法。

※4 凝着摩耗

2つの物体が擦り合うとき、互いの原子が相互作用を及ぼす摩擦。

※5 構成刃先

被削材の一部が加工硬化によって母材より硬い変質物となって刃部に堆積したもの。

※6 極性化合物

化学的に安定していない状態で化合した物質。

参考文献

- 1) F.W.Taylor:ASME, New York 1906
- 2) F.P.Bowden,D.Taber:“The Friction and Lubrication of Solids” (Oxford 1954)
- 3) (財)機械振興協会:「切削技術データファイル」基礎編 切削加工 p17
- 4) 安岡:精密工学 66(4),2000 p527-530
- 5) 加藤、安岡:新素材 (10),1993 p37-41
- 6) 栗田、清都:2004年精密工学会講演会予定

本 社	本社・富山事業所	富山市不二越本町1-1-1	〒930-8511	Tel.076-423-5111	Fax.076-493-5211
	東京本社	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F	〒105-0021	Tel.03-5568-5111	Fax.03-5568-5206
		http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/			
生産拠点	富山事業所	富山市不二越本町1-1-1	〒930-8511	工具 マシナリー ロボット ベアリング	Tel.076-423-5100 Fax.076-493-5221 Tel.076-423-5140 Fax.076-493-5242 Tel.076-423-5135 Fax.076-493-5251 Tel.076-423-5120 Fax.076-493-5231
	東富山事業所	富山市米田町3-1-1	〒931-8511	マテリアル 油圧機器	Tel.076-438-4411 Fax.076-438-6313 Tel.076-438-8970 Fax.076-438-8978
	滑川事業所	富山県滑川市大掛176	〒936-0802	プレジジョン カーハイドロリクス クリーンサーモ コーティング 精密成形	Tel.076-471-2101 Fax.076-471-2630 Tel.076-471-2320 Fax.076-471-2324 Tel.076-471-2981 Fax.076-471-2987 Tel.076-471-2985 Fax.076-471-2989 Tel.076-471-2991 Fax.076-471-2992
	水橋事業所	富山市水橋伊勢屋193	〒939-3524	ベアリング	Tel.076-478-2098 Fax.076-479-1081
	営業拠点	東日本支社 北関東支店 北海道営業所 東北営業所	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F 群馬県太田市下浜田町1087-7 札幌市東区本町1条10-4-10 福島県郡山市桑野2-33-1 ワン・ブリッジビル2F	〒105-0021 〒373-0821 〒065-0041 〒963-8025	Tel.03-5568-5280 Fax.03-5568-5290 Tel.0276-46-7511 Fax.0276-46-4599 Tel.011-782-0006 Fax.011-782-0033 Tel.024-991-4511 Fax.024-935-1450
海外	中日本支社 東海支店 北陸支店	名古屋市名東区高社2-120-3 ナチ名古屋ビル 浜松市砂山町353-3 大協土地ビル7F 富山市石金2-3-60 ナチ北陸ビル	〒465-0095 〒430-0926 〒930-0966	Tel.052-769-6811 Fax.052-769-6830 Tel.053-454-4160 Fax.053-454-4845 Tel.076-425-8013 Fax.076-493-5215	
	西日本支社 中国四国支店 広島営業部 九州支店	東大阪市本庄西2-73-14 ナチ大阪ビル 岡山市西古松2-2-30 広島市安佐南区西原8-25-10 福岡市博多区山王1-10-30	〒578-8522 〒700-0927 〒731-0113 〒812-0015	Tel.06-6748-2510 Fax.06-6748-1955 Tel.086-244-0002 Fax.086-243-4346 Tel.082-832-5111 Fax.082-832-5114 Tel.092-441-2505 Fax.092-471-6600	
	国際営業部	東京都港区東新橋1-9-2 汐留住友ビル17F	〒105-0021	Tel.03-5568-5240	Fax.03-5568-5236
	生産拠点 Overseas Manufacturing Companies	AMERICA EUROPE ASIA and OCEANIA	Indiana, Michigan / U.S.A. SPAIN CZECH SINGAPORE THAILAND TAIWAN KOREA CHINA		
	営業拠点 Overseas Sales Companies	AMERICA EUROPE ASIA and OCEANIA	U.S.A. CANADA MEXICO GERMANY SPAIN U.K. ITALY SINGAPORE VIETNAM MALAYSIA INDONESIA PHILIPPINES CHINA TAIWAN THAILAND KOREA AUSTRALIA		