

## 難削材の微量油加工における動粘度の影響

Effect of dynamic viscosity on small amount of lubricant machining of difficult-to-cut materials

名工大（正）糸魚川 文広 名工大（正）前川 寛

Fumihiro Itoigawa, Satoru Maegawa

Nagoya Institute of Technology

### 1. 緒言

切削加工液は工具・被削材間の摩擦低減，加工点近傍の温度上昇抑止，さらには切りくずの溶着防止など，切削加工における製品品質担保に重要な役割を果たしている．しかしながら，急速に進む生産現場のカーボンニュートラル化は廃棄物の低減，消費エネルギー削減の観点から加工液の使用法としてこれまでと同様の大量給液・大量消費を許容しないであろう．切削加工液を供給しないドライ切削は難削材，特にチタン合金や Ni 系耐熱合金のように温度拡散率が小さいことに起因する著しい工具温度上昇が生じる材料，の加工では困難でありカーボンニュートラル化を達成するには温度上昇を抑止するためのブレークスルーが必要となる．筆者らはチタン合金のミリング加工では，一刃が切削する時間を極端に短くすることで高速切削であっても温度上昇を抑止し油性効果のみで潤滑効果を得ることが可能であることを示した<sup>(1)</sup>．また，Ni 基耐熱合金のボールエンドミル加工における工具中心部付近の凝着抑止に対し，僅かな量のエステル油の油性効果のみで十分な効果を発揮できることを示した<sup>(2)</sup>．

低温度拡散率が難削性を示す材料加工では工具/切りくず，および工具/仕上面の摩擦熱がほぼ工具に流入し刃先温度が上昇することで早期摩耗や異常摩耗を生ずる．したがって対策は大量の加工液供給による工具冷却，ないしは摩擦発熱量の低減となるが，前者のような熱伝達による手法は加工液流速に頼ることとなり，大きなエネルギーを使って冷却せざるを得ない．

一方，後者は摩擦力低減により直接的に温度を低減できる（内部冷却）であり，工具／被削材摺動界面にのみ僅かな量が存在すればよく，圧倒的に少量の加工液で摩擦低減を達成できる可能性を有する．したがって，工具/被削材界面に如何に潤滑液を必要量供給するかが重要となる．また，切削加工における工具すくい面の摩擦力低減は切りくず生成を容易にするため，切りくず温度を低下させるフィードバック作用を持つ．すなわち，摩擦面温度が低温であるほど摩擦低減効果の大きい潤滑油は大きな発熱抑止効果を生む．そこで，ここでは油性に富んだ合成エステルを加工油として選び，微量塗布のみでチタン合金・Ni 基耐熱合金のミリング加工する潤滑法について紹介する．特に工具/被削材界面への潤滑加工液の侵入性・浸透性が加工液動粘度に与える影響を実切削試験により評価した例を示す．

### 2. 試験装置および実験方法

**2.1 チタン合金高速切削実験** 圧電型動力計に固定したチタン合金 Ti6Al4V の 4.0mm 厚プレートの側面をエンドミルにてダウンカットで加工した．図 1 に示すように外周刃のみの加工になるようプレートを固定治具から水平方向に突き出し，プレート側面に潤滑油を予め薄く塗布した．使用した工具は TiAlN コートされた 30° の据りれ角を持つ 2 枚刃スクエアエンドミルで直径は 10mm である．切削加工条件は切削速度 400m/min，半径切込み 0.177mm，一刃送り 0.07mm/tooth で，この条件で切削弧長は 1.33mm，切削／非切削のデューティ比は 0.044，一刃の切削時間 0.2ms，最大切り厚さ 0.07mm となる．潤滑油は表 1 に示す粘度の異なる 2 種類のエステル油と合成基油 PAO 数種類をブレンドして，都合 5 種類を準備した．

**2.2 インコネル 718 ボールエンドミル加工** ボールエンドミルによる凹面加工では切削速度が小さく加工液の侵入が容易でない工具中心付近は，切れ刃のトロコイド運動も相まって切りくず生成が難しく被削材凝着による工具損傷や仕上面悪化が生じる．ここでは Ni 基耐熱合金インコネル 718 に対しボールエンドミルで溝加工を行い，工具中心部付近の凝着の程度と摩耗を評価した．工具は直径 8mm の 4 枚刃ボールエンドミルで軸方向切込み 0.2mm，ピックフィード 0.4mm，送り 0.32mm/rev とし，工具回転数を 1273, 3820, 5730rpm の 3 水準とした．加工液は表 1 内の B0 の

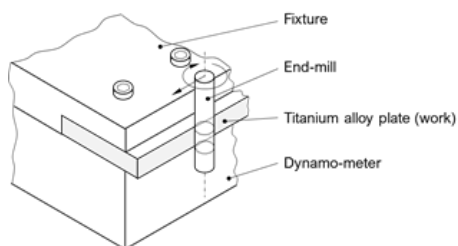


Fig. 1 Schematic view of milling-test setup

Table 1 Sample oils

Sample oil name	Type of lubricant	Concentration of non-polar composition	Kinematic viscosity mm <sup>2</sup> /s
A0	ester	0%	65.08
A1		60%	26.6
A2		60%	9.4
B0	Highly viscous ester	0%	185.5
B1		60%	64.5

高粘度エステルを合成基油により希釈することで動粘度が 6.5, 13, 26, 52, 104 mm<sup>2</sup>/s の 4 水準のサンプルを準備した (エステル体積分率はすべて約 40%とした)。加工液はピックフィード毎に加工位置に薄く刷毛塗りすることで微量供給した。

### 3. 動粘度の影響

図 2 にチタン合金の低送り高速ミリングにおける工具すくい面の摩擦係数と塗布した潤滑油の動粘度の関係を示す。動粘度と摩擦係数は正の相関を示している。また、分子量の大きくバルキーなエステルである B0 のサンプルが低摩擦を示した。これよりチタン合金の高速加工であっても切削条件の工夫と油性に富んだエステルを低動粘度基油等で希釈するなどし、狭小空間への浸透性を向上すれば、十分な潤滑効果が得られることが分かる。図 3 はそれぞれのサンプル油による実験後の工具損傷の様子であり、低粘度油の浸透効果が工具損傷にも表れている。

図 4, 5 にはそれぞれインコネル 718 のボールエンドミルの溝加工時の工具中心部凝着の様子と逃げ面摩耗と動粘度の関係を示した。工具中心部の凝着は明らかに動粘度が大きくなると増加する傾向にあり、加工油が中心まで浸透し難くなっていることが分かる。工具摩耗も同様に動粘度の増加に伴い増加しており、工具中心部への加工液の供給能は被削材表面に存在する油剤の動粘度に強く影響を受けていることが分かる。

### 4. 結言

切削加工液の使用量削減を実現するためには、単にドライ加工化を進めるよりも微量油で高い潤滑性を確保し摩擦エネルギー損失を低減する手法が現実的である。油剤の動粘度の最適化は微量油切削加工の潤滑性を向上させる。これを積極的に生産現場で利用する手法開発が望まれる。

### 文献

- 1) 中村 義輝, 糸魚川 文広, 早川 伸哉, 前川 寛, 劉 曉旭, “チタン合金高速切削における微量潤滑の効果”, 第 13 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 2019.13 巻 (2019), ID D05.
- 2) 今掛・前川・糸魚川, “ボールエンドミルを用いた難削材凹部加工における刃先損傷に対する潤滑効果の研究,” 2023 年度精密工学会秋季大会 予稿集, (2023) 148.

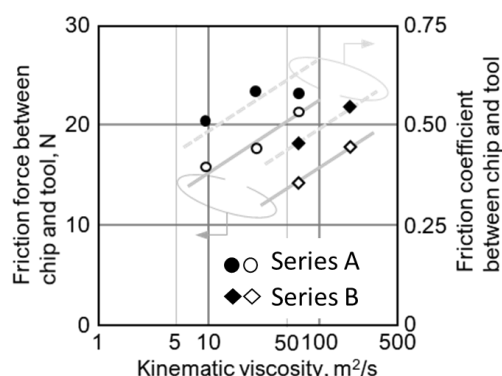


Fig. 2 Variation of friction between chip and tool with kinematic viscosity

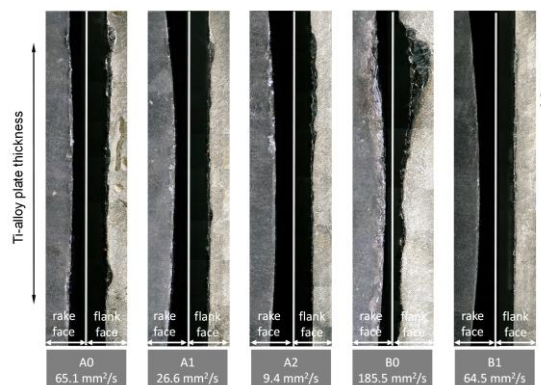


Fig. 3 Photomicrographs of tool edge after machining of 7cc in removal volume

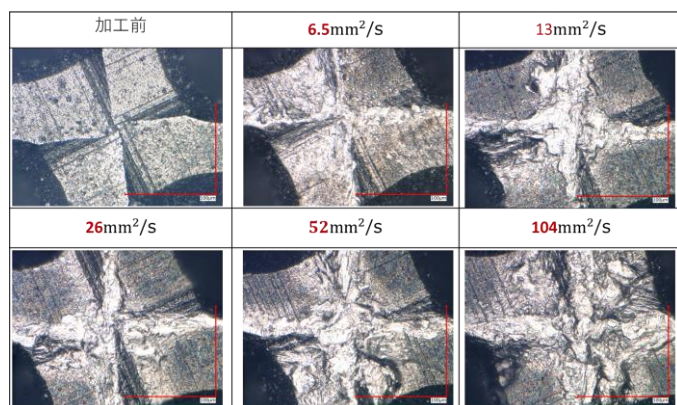


Fig. 4 Effect of kinematic viscosity on work material adhesion on chisel tip of ball-endmill

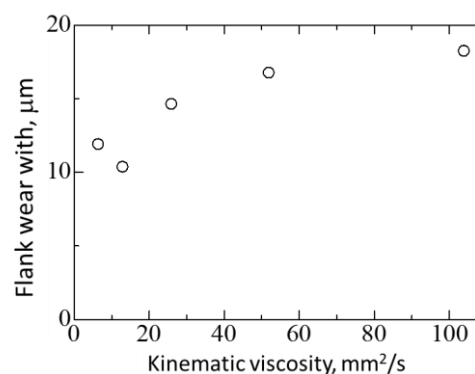


Fig. 5 Variation of flank wear width with kinematic viscosity