

機関番号：13903

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010 年

課題番号：20560131

研究課題名 (和文) 最適工具潤滑のための工具表面設計

研究課題名 (英文) Tool surface design for optimum lubrication of tool and chip

研究代表者

糸魚川 文広 (ITOIGAWA FUMIHIRO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20252306

研究成果の概要 (和文)：

次の 3 点が知見として得られた。1)すくい面の等方的表面粗さは、エステル油の工具/切り屑間への浸透を助け摩擦を低下させる。一方、極性の無い鉱油では酸素を遮断するため、酸化膜が潤滑性を持つ場合は摩擦が増加する。2)パルスレーザーにより TiN バインダ cBN の表面加工を行うと、粒界欠陥が減少しチッピングが減少する。また、TiN バインダで焼結された CBN では hBN, TiB<sub>2</sub> が最表面に生成され低摩擦を発現する。3)刃先ネガランドのサイズと角度を最適化することで、力学的に安定な切れ刃状のデッドメタルを維持でき、制限工具となり摩擦力が低下する。

研究成果の概要 (英文)：

Effects of surface roughness, shaping method and edge geometries on lubrication were experimentally investigated for optimum tool lubrication. Following results were obtained: Firstly, isotropic roughness on the rake face decreased tool-chip friction to facilitate infiltration of lubricant into the interface if lubricant with ester group was employed. However, if mineral oil was employed, the isotropic roughness increased the tool-chip friction as the adsorbed lubricant suppresses formation of oxide film with low surface energy. Secondly, tool sharpening with short pulse laser can suppress occurrence of micro chipping on tool edge to decrease defects of grain boundaries and voids. In addition, if PcBN bounded with TiN is sharpening by pulse laser grinding, a surface layer with low friction can be formed by transition from cBN to hBN and TiB<sub>2</sub> formation. Finally, it was found that equilibrium state to stabilize dead metal behaving tool edge exists to optimize negative land width and angle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：切削加工

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：切削加工, 潤滑, 表面粗さ, パルスレーザー, 極性, デッドメタル

## 1. 研究開始当初の背景

切削における微量油の効果については、例えば Wakabayashi らの油剤蒸気による潤滑

効果の研究がある。また、切り屑自由表面などでの塗布効果やレビンダー効果に関する報告も数多い。これらは実切削加工での測定

ではあるが、ミリングなどの断続切削での効果を説明するものではない。断続旋削では加工抵抗から工具すくい面に存在する油剤の効果が示される。また、工具表面の粗さと油膜厚さの効果、および高圧下での油剤の摩擦転移温度について調べた研究から工具表面の微細テクスチャーと油剤の吸着能や浸潤性を最適化すれば、効果的な工具潤滑ができる可能性が示されている。すなわち、工具表面の微細構造と材料の微視的な流動状態・移着状態および油剤の潤滑機構を明らかにすれば、さまざまな加工条件における最適工具設計・潤滑設計が可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目指すところは、加工条件、被削材料、工具材料を考慮した最適表面設計手法を確立することにある。そのために、

(1) 工具すくい面に単純な微細構造を形成し、油剤種とその供給量を変化させた場合の切削摩擦特性を詳細に調べることで、潤滑メカニズムとその影響因子を明らかにする。

(2) 各影響因子と摩擦係数、および凝着量の定量化を行い、工具表面および潤滑設計の最適化の可能性を示す。

(3) 単純パターンによる摩擦および潤滑性の定量化の結果から、一般の工学表面(研削面、ポリッシング面)の統計的特徴量(例えば RMS 高さ, RMS 曲率, フラクタル次数など)と摩擦・潤滑特性の関係について考察することで、工具表面粗さが切削時の摩擦に及ぼす影響を一般化することを試みる。

## 3. 研究の方法

(1) 切削工具の表面の設計パラメータである粗さを微細放電加工、レーザー加工により付与した工具を用いて摩擦試験および実切削試験を行うことで、すくい面摩擦を評価する。特に粗さ突起の形状、統計的性質、サイズと油剤のすくい面への浸透性がすくい面の摩擦に影響すると考えられるため、油剤の種類と摩擦を別途摩擦試験により調査し、切削試験における結果と比較することで、粗さの効果の定量化する。

(2) パルスレーザーを用いて刃先を成形することで、自己潤滑性を有する微細構造を付与することで、潤滑性を向上させる。レーザー照射条件と粗さおよび刃先形状の関係を明らかにすることで、最適加工条件を見出す。また、その工具の潤滑性を摩擦試験および実切削試験により明らかにする。

(3) 被削材料の凝着(構成刃先)が切削に及ぼす影響、特に加工抵抗と工具損傷について定

量評価することで、最適刃先形状を見出す。また、その形状をレーザー加工により創製する。

## 4. 研究成果

### (1) 表面粗さと潤滑効果

工具すくい面の表面に短パルスレーザーを用いて幅約 10 $\mu\text{m}$ 、深さ数 $\mu\text{m}$ の溝状規則粗さを付与した。切れ刃稜線に平行方向および垂直方向の粗さを付与した両工具ともに、潤滑条件(Synthetic ester: ISO VG32)における中炭素鋼の旋削において短時間で溝内に被削材が凝着し、潤滑効果の向上は得られなかった。

一方、微細放電加工による等方的なクレター状粗さ(最大粗さ 2~4 $\mu\text{m}$ 、直径約 10 $\mu\text{m}$ )を付与した工具は凝着がほとんど生じなかった。また研削仕上工具(最大粗さ 1 $\mu\text{m}$ )の場合も切削温度の低い低速切削では凝着がほとんど見られなかった。

同じ微細放電加工で粗さを付与した工具において無添加パラフィン系鉱油(ISO VG32)を供給した場合、工具刃先には大きな構成刃先の生成が確認され切削条件によっては、無潤滑の場合より凝着が激しい場合があった。研削仕上工具も程度は小さいが、同様な結果であった。

これらの結果から、表面粗さ突起の形状および分布と潤滑油の組み合わせにより潤滑性能が影響されることが予想された。単に工具表面粗さと切り屑が作る隙間形状が油剤の浸透性を決めているのであれば、油剤粘度と表面粗さが潤滑状態を決めることとなるが、必ずしも粘度と潤滑性には相関がみられなかった。そこで、温度上昇が著しく小さく油剤の浸透性の影響が大きく表れる低速微細切削(切削幅 0.3 $\mu\text{m}$ 、切込 2.5 $\mu\text{m}$ 、切削速度

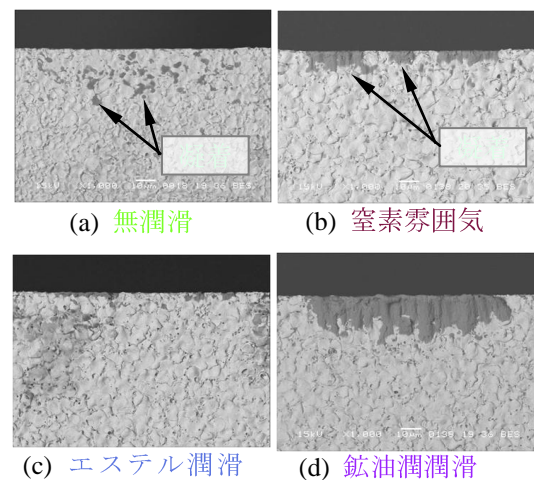


図 1 潤滑条件の相違による工具刃先への被削材凝着の相違

0.1mm/sec)を油剤に浸漬する形式で行った。この結果、図1に示すように、エステル(ISO VG32)では、工具刃先に凝着は見られず、加工抵抗も小さくなった。一方、無極性パラフィン系鉱油では、温度上昇が無いにも関わらず、無潤滑、ないしは窒素吹付け条件以上の大きな凝着が生じ、切り屑表面には大きな凝着痕が多数観察された。この結果から、切削で生成される新生面と工具の摩擦では、無極性鉱油の吸着膜は大気中酸素により形成される酸化被膜より潤滑効果が低く、液相で工具/切り屑間に浸潤すると、酸素を遮断し負の潤滑効果を示すことが示された。

### (2)短パルスレーザーによる切削工具の自己潤滑表面創成

短パルスレーザーによる刃先近傍の仕上加工は、高速度工具鋼・超硬に対しては、除去により発生するデブリーが工具表面に付着し、アルミ合金、鋼の切削では凝着を促進する結果となった。これは溶融金属相の再凝固によるものと考えられる。そこで、金属相の無いTiNバインダのcBN工具(粒子率55vol%, 2 $\mu$ m)を対象として、ナノ秒パルスレーザー(波長: 349nm, パワー密度: 4.9GW/cm<sup>2</sup>, パルス幅: 5ns, 1KHz)による刃先近傍の形状成形を行った結果、図2に示すようにダレやcBN粒子の脱落の無いエッジの形成が確認された。

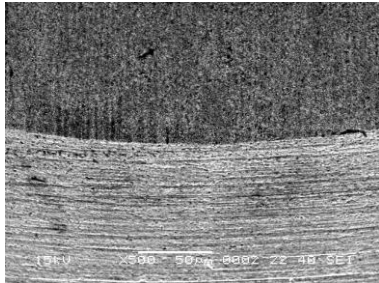
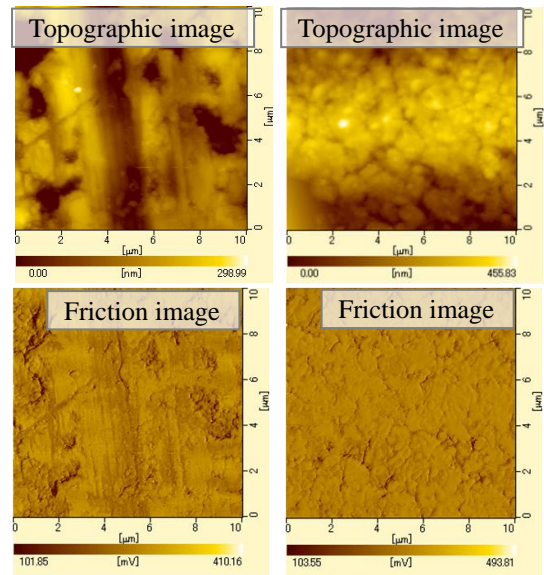


図2 ナノ秒パルスレーザーにより成形されたPcBN切削工具刃先

また、この工具表面をAFMで観察すると、図3に示すように、焼結材特有のポイドや粒子の脱落に起因する凹凸は観察されなかった。また、LFMによる観察から、低摩擦面が形成されていることがわかった。

ナノ秒レーザーによる表面仕上により低摩擦面が得られるメカニズムは、cBN粒子表面のみならず面のいたるところで摩擦が小さくなっていることから、レーザーより除去されたcBNがhBNに相転移し、表面に再付着したのと考えられる。レーザー仕上表面をFT-IRで観察すると、cBNとhBNの存在が確認された。

また、XPS測定により、TiNバインダとcBNを起源とするTiB<sub>2</sub>の生成が認められた。TiB<sub>2</sub>



(a)研削仕上工具 (b)レーザー仕上工具

図2 研削仕上とナノ秒パルスレーザーによる表面仕上の比較

は高温で潤滑性を示すことが知られており、hBNおよびTiB<sub>2</sub>の存在により、高温域まで摩擦の小さい状態が維持される可能性が見出された。さらに、表面付近のマイクロビッカース硬度は約10~20%向上しており、表面だけでなく、数 $\mu$ mの深さまでの欠陥が消失している可能性があることがわかった。この工具を用いて焼入れ鋼の精密旋削を行うと、表面粗さは研削仕上工具に比較して平均値で約20%、標準偏差で約50%改善されており、すくい面の潤滑性の向上と硬さの向上による大きな改善が得られた。

### (3)刃先形状の最適化による工具損傷の抑止

正のすくい角と切込より僅かに大きいネガティブランドを組み合わせることで、図4のように、ネガティブランド部に力学的に安定なデッドメタルが生成される。このデッドメタルの組織は微細化し硬くなっており、構成刃先として安定な切削が実現される。この時、デッドメタルの大きさ(高さ)が、ある高さになると側方へ徐々に押し出されて、一定の大きさを保持するようになる。結局これは、

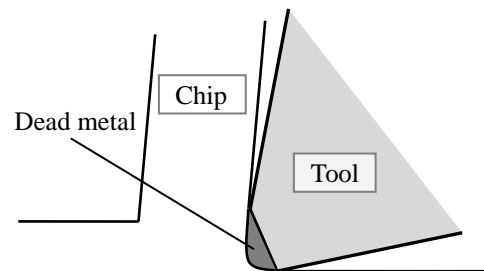


図4 安定生成されるデッドメタル

制限工具と同じ切削状況であり、すくい面摩擦力は接触長さが制限されるため、小さくなり、切り屑は薄くなる。

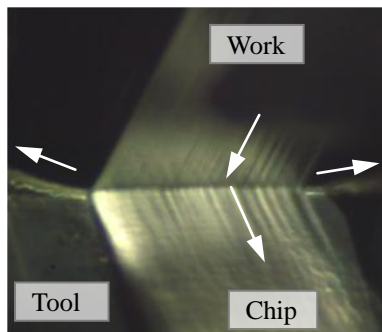


図4 安定生成されるデッドメタル

図4のようにデッドメタルの押し出しが生じると、前回仕上時のバリが切削境界部へアタックすることにより発生する境界のノッチ摩耗を抑制するようになる。

したがって、このデッドメタルを安定生成させることが必要となる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Hiroki Kiyota, Fumihito Itoigawa, Atsushi Kakihara, and Takashi Nakamura, Prevention of Depth-of-Cut Notch Wear in CBN Tool Edge by Controlling Built-up Edge, International Journal of Automation Technology, 査読有, 5巻, 3号, 2011, pp. 324-328

[学会発表] (計8件)

- ① Daisuke Suzuki, Keiichi Kawata, Fumihito Itoigawa and Takashi Nakamura, Application of laser grinding to form smooth cutting edge for high-precision turmin, JSME International Conference of Machine Design and Tribology, 2011年4月27日, 蒲郡
- ② 永津宏輝, 糸魚川文広, 仲村和聡, 中村隆, 微細切削加工における工具摩擦に及ぼす加工雰囲気の影響, 精密工学会, 2010年10月27日, 名古屋
- ③ 鈴木大輔, 河田圭一, 糸魚川文広, 中村隆, ナノ秒パルスレーザーを用いた超砥粒焼結工具材の形状創製, 精密工学会, 2010年10月27日, 名古屋
- ④ Atsushi KAKIHARA, Fumihito ITOIGAWA, Hiroki KIYOTA and Takashi NAKAMURA, Stability of BUE in Cutting of Inconel 718 and Restrain Effect on Tool Wear, CIRP HPC, 2010年9月27日, 岐阜
- ⑤ 糸魚川文広, 河田圭一, 則久孝志, ロータ

リー切削における工具表面テクスチャーの潤滑効果, トライボロジー学会, 2010年9月14日, 福井

- ⑥ 河田圭一, 糸魚川文広, 則久孝志, 石川和昌, MQLを用いたロータリ切削における潤滑効果, 機械学会, 2010年9月6日, 名古屋
- ⑦ 永津宏輝, 糸魚川文広, 仲村和聡, 中村隆, 微細切削工具の表面性状とトライボロジー特性, 機械学会, 2010年9月6日, 名古屋
- ⑧ 清田大樹, 糸魚川文広, 中村隆, 柿原淳史, CBN 切削工具の刃先形状およびチャンファ面性状の最適化による構成刃先挙動制御と境界摩耗抑止, 機械学会, 2010年9月6日, 名古屋

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

糸魚川 文広 (ITOIGAWA FUMIHIRO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20252306