

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560113

研究課題名（和文） 微細表面形状を有する切削工具技術の開発に関する研究

研究課題名（英文） Development of a Cutting Tool with Micro Structured Surface

研究代表者

榎本 俊之 (ENOMOTO TOSHIYUKI)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20403149

研究成果の概要：アルミニウム合金をはじめとする金属材料は延性に富むため工具への切りくず溶着が生じやすく、工具折損といった致命的な問題が発生してしまう。そこで耐溶着性の向上を目的に、すくい面にナノ-マイクロ構造、具体的には 100 nm 程度の溝深さと 700 nm 程度の溝間隔を有する微細周期構造を形成した切削工具を新たに提案し、開発した。その結果、通常の工具に比べ耐溶着性を飛躍的に高めることができ、潤滑性も高めることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：精密加工

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：切削加工，工具，テクスチャ，微細構造，アルミニウム

## 1. 研究開始当初の背景

アルミニウム合金に代表される延性に富む金属材料は鉄鋼系材料と比較して硬度が低いことから、切削加工において工具の機械的摩耗が問題になることは少ない。しかしながら展延性に富み、融点が低いため工具への切りくず溶着が生じやすく、その結果、工具折損による突然の加工不可、加工不良といった致命的な問題が発生してしまう。

そこで切削液やその供給方法、また工具刃先形状の最適化などが検討され、特に工具表面が極めて低摩擦な DLC (Diamond-Like Carbon) コーテッド工具はアルミニウム合金

のドライ加工への適用も試みられている。しかし実際には DLC コーテッド工具においても切りくず溶着は発生し、切削液の供給は不可欠となっている。また加工中に工具表面の潤滑性を維持することが困難な深穴ドリル加工やタップ加工などにおいては切削液を大量に使用しても切りくず溶着による工具折損が非常に生じやすく、実際の加工現場では大きな問題となっている。

## 2. 研究の目的

こうした問題を解決するために研究代表者は工具表面に微細な溝を形成することで

切削液を良好に保持し、低摩擦・高潤滑性を発現する切削工具を提案し、開発を行ってきた。そして実際に工具表面の潤滑性を高められることを明らかにした。しかしここではアルミニウム合金の切削加工で最も問題となる切りくずの溶着が発生してしまい、微細表面構造のさらなる最適化が必要とされた。

そこで本研究では、微細表面構造を新たに設計するとともに、新たな微細溝形成法を導入し、耐溶着性に極めて優れた切削工具を開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 切削加工実験方法

加工実験には、図 1 に示す立形マシニングセンタ（ヤマザキマザック製 AJV-18）を用いた。切削工具（カッタおよびインサート）の形状を図 2 に、おもな加工条件を表 1 に示す。

インサートには住友電工ハードメタル製の SEKN42M（超硬 K10 種）を用い、被削材にはアルミニウム合金 A5052（古河スカイ製）を用い、1 枚刃にて中心削りで正面フライス切削した。そしてエマルジョン切削液の通常供給（供給量 12.6 L/min）による湿式切削を行った。被削材の下には動力計（KISTLER 製 9257B）を設置し、切削抵抗を測定した。

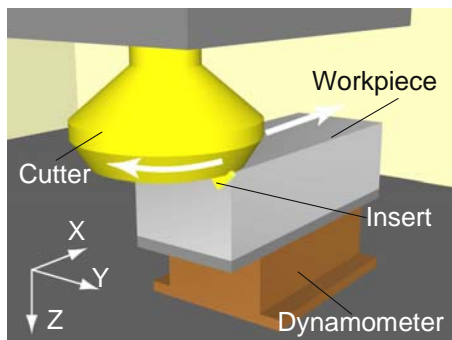


図 1 切削加工実験方法

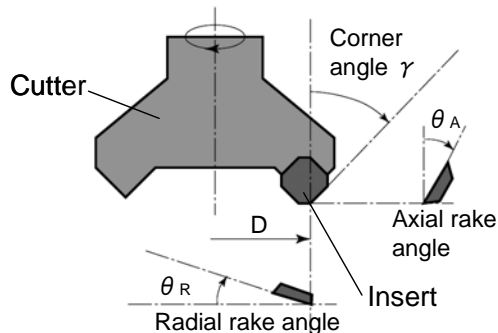


図 2 切削工具・カッタ

表 1 切削加工条件

Workpiece	A5052 W 75mm - L 210mm		
Tool (Insert)	Cemented carbide K10 SEKN42M, Sumitomo Electric Hardmetal		
Tool geometries	Axial rake angle $\theta_A$		20°
	Radial rake angle $\theta_R$		-3°
	True rake angle $\alpha$	12.4°	
	Corner angle $\gamma$	45°	
	Cutter diameter D	80 mm	
Cutting speed	380 m/min (1500 rpm)		
Depth of cut	3 mm		
Feed rate	0.12 mm/rev.		
Cutting fluid	Emulsion type (JIS A1) Finecut CFS-100, NEOS		
Supply rate	12.6 L/min		

#### (2) ナノ-マイクロ構造を表面に有する切削工具の開発

研究代表者によるこれまでの研究で、既開発の微細表面構造（溝間隔 150  $\mu\text{m}$ 、溝幅 80  $\mu\text{m}$ ）を有する切削工具でアルミニウム合金を切削加工すると、刃先近傍に切りくずが凝着することがわかっている（図 3）。そこでさらに微細幅からなる溝を狭間隔で工具すくい面に形成することが必要となり、新たにフェムト秒レーザ加工を適用することとした。フェムト秒レーザを加工閾値近傍のフルエンスで走査すると波長オーダーの溝深さと間隔を有するグレーティング状の周期構造が偏向方向に直交して自己組織的に形成される。

そして実際に、図 4 に示す切削工具を開発した。同図に示すように、予め鏡面に仕上げた超硬工具のすくい面に溝深さ 100~150 nm、溝間隔 700 nm の一方向からなる微細周期溝を工具すくい面に作製した。

さらに耐溶着性を高めるために、プラズマ CVD 法によりナノ-マイクロ構造を有する切削工具の表面に DLC コーティングを行った。なおコーティングを行うことで、溝深さが 10~20 nm 浅くなったことを AFM 測定より確認した。

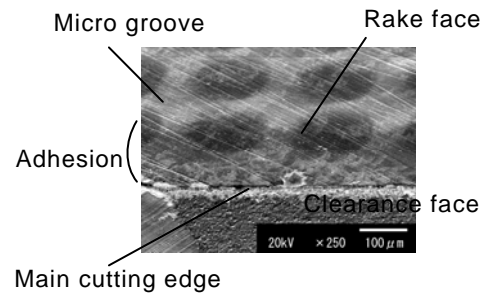


図 3 マイクロ構造を表面に有する切削工具

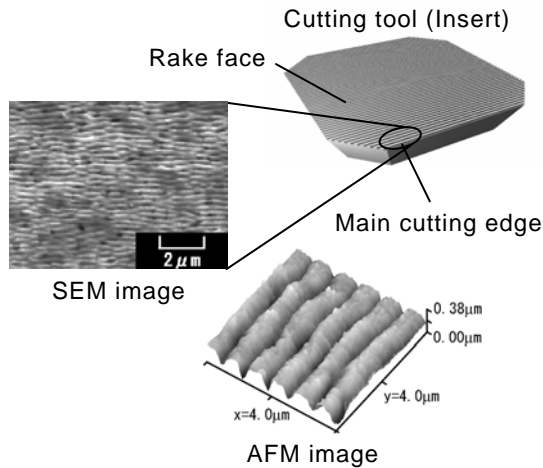


図4 ナノ-マイクロ構造を表面に有する開発切削工具

#### 4. 研究成果

##### (1) 耐溶着性の評価 (加工後)

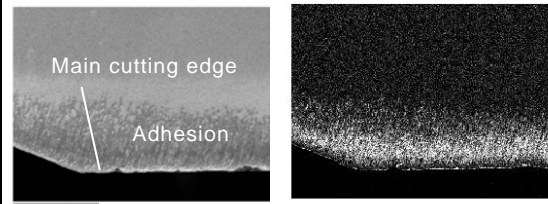
評価結果の一例として、加工後 (切削距離 1800 m) の工具すくい面の SEM 像 (日立ハイテクノロジー製 S-3400NX) およびそれと対応する EDX-AI 像 (EDX ; Energy Dispersive X-ray Spectrometry) を図 5 に示す。

(a) は比較として用いたすくい面を鏡面に仕上げた超硬工具, (b) は主切れ刃に対し平行に微細溝を形成した開発工具, そして (c) は直交方向に形成した工具である。また EDX-AI 像より求めたアルミニウムの原子数濃度を図 6 に示す。図 5, 図 6 からわかるように、工具すくい面にナノ-マイクロテクスチャを形成することで溶着量を劇的に抑制でき、特に主切れ刃に平行方向、つまり切りくず流出方向に直交方向に微細溝を形成するとほとんど溶着が生じなくなった (図 5 (b), 図 6 Developed tool – grooves parallel to edge)。

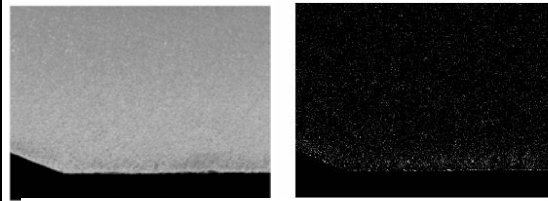
溝方向が摩擦しゅう動特性に及ぼす影響についてはすでに多くの研究がなされており、無潤滑状態や境界・流体潤滑状態においてしゅう動方向に対し溝方向を直交させると良好な特性が得られやすいとされている。本研究のような切削加工においても同様の効果が得られ、切りくずと工具すくい面との接触面積が減り、さらに溝部に加工液が保持されることで切りくず溶着を抑制できたと考えられる。また溝方向が切りくず流出方向と平行の場合は切りくずが延性にとむためサブ μm 以下の狭い幅の溝部にも入り込みやすく、その結果、直交方向の工具よりも溶着量が多くなったと考えられる。

##### (2) 耐溶着性の評価 (切削距離に対する変化)

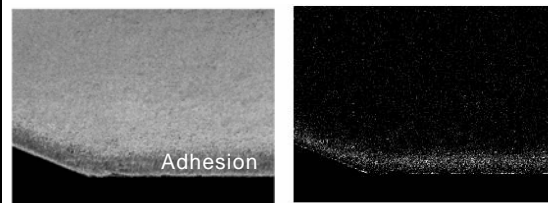
次に切削距離に対する切りくず溶着の幅および高さの変化を評価するために、光学顕



(a) Polished tool



(b) Developed tool with grooves parallel to edge



(c) Developed tool with grooves orthogonal to edge

図5 加工後の切削工具表面

(左 : SEM 像, 右 : EDX-AI 像)

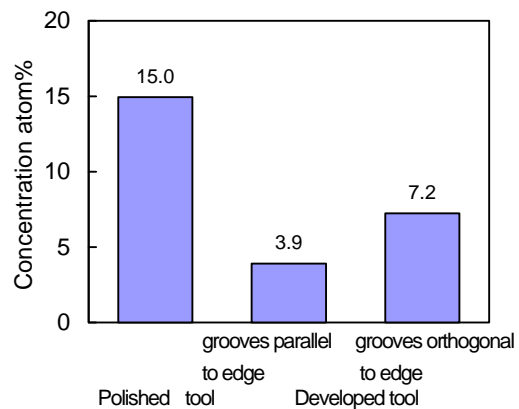
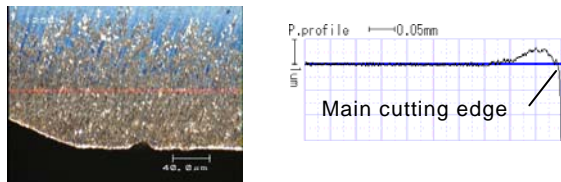


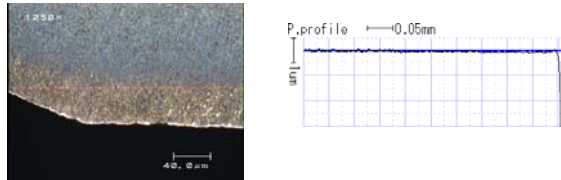
図6 切削工具表面のアルミニウム原子数濃度

微鏡 (キーエンス製 VF-7500) を用いて切削距離 180 m ごとに工具観察を行った。図 7 には切削距離 1800 m 後の工具すくい面および切れ刃稜線から主切れ刃に直交する方向に測定した断面曲線を、図 8 には顕微鏡写真から画像解析により求めた切りくず溶着面積の変化を示す。

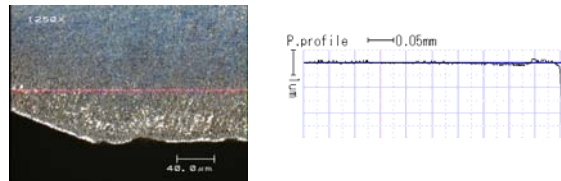
研磨仕上げした工具 ((a) Polished tool) では高さ 0.5 μm 程度、幅 130 μm 程度の溶着が生じていた。これに対し、本研究で開発した工具 ((b), (c) Developed tool) では顕微鏡観察からはごく薄く溶着していることがわかり、



(a) Polished tool



(b) Developed tool with grooves parallel to edge



(c) Developed tool with grooves orthogonal to edge

図7 加工後の切削工具表面  
(左：光学顕微鏡像，右：断面形状)

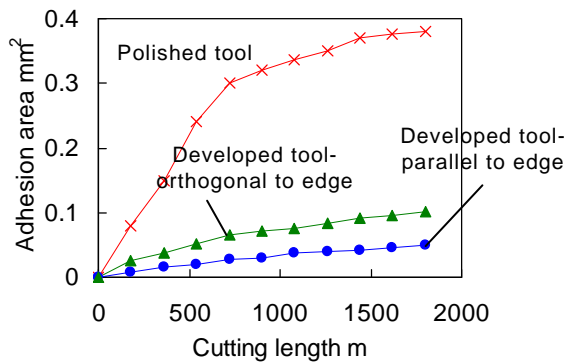


図8 工具表面における溶着面積の変化

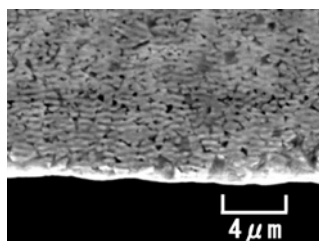


図9 加工後の工具表面における  
ナノ-マイクロ微細溝

断面曲線においては溶着部はみられなかった。そこで開発工具の加工後における切りくず溶着の程度をさらに詳細に知るためにSEM観察を行った(図9)。その結果、微細溝を明瞭に観察することができ、溶着により微細構造が覆われていないことが確認され

た。ここで溝内の溶着高さを正確に評価するために微細溝部をAFMで測定したが、加工前後での変化はほとんど認められず、その高さは数nm程度であると考えられた。そして図8からわかるように、工具すくい面にナノ-マイクロ溝を主切れ刃に平行方向に形成することで溶着面積を従来の工具に対して1/8程度にまで小さくできた。

### (3) まとめ

以上、具体的に研究成果を述べたように、従来の市販切削工具で大きな問題となっていた工具への切りくず溶着を大幅に抑制することに成功し、本研究開始時の目的を達成することができた。工具の耐溶着性向上は切削加工において国内外を問わず極めて重要な課題であり、本研究は工具表面の微細構造でその課題を解決した世界で初めての研究といえる。

今後は、本研究で得られた基礎的な知見をもとに、適用範囲の拡大をはかるとともに、微細表面構造のもたらす効果についてさらに工学的に明らかにしていく。

## 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 榎本俊之、杉原達哉、ナノ-マイクロ構造を表面に有する切削工具の開発(切りくず耐溶着性の向上)、日本機械学会論文集(C編)、74巻、pp.2315-2320、2008、査読有り

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榎本 俊之 (ENOMOTO TOSHIYUKI)  
大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：20403149

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者