

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：83205

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760107

研究課題名（和文） 機能性表面を有する切削工具の開発と応用に関する研究

研究課題名（英文） A study on development and application of cutting tools with functional surface

研究代表者

川堰 宣隆（KAWASEGI NORITAKA）

富山県工業技術センター・中央研究所・主任研究員

研究者番号：30443419

研究成果の概要（和文）：本研究は、工具表面にマイクロ・ナノメートルオーダーの微細なテクスチャを作製し、そこで発現する摩擦係数の低下の作用を応用することで、優れた加工性を持った切削工具を開発することを目的としている。テクスチャによる化学的な影響について検討するため、ガスを吹きかけながらの切削実験および雰囲気を変化させた状態での摩擦摩耗試験を行った。その結果、テクスチャによって摩擦が減少する要因の一つとして、酸化の作用が存在することがわかった。さらにテクスチャを微細加工用工具へ応用するため、小径エンドミルへの適用について検討した。その結果、レーザによるデブリの少ない条件でテクスチャを作製することで、その効果が得られることがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed novel cutting tools that had either microscale or nanoscale textures on their surfaces. Cutting and friction experiments were conducted in various atmospheres to investigate the chemical effect on textured cutting tools. It was found that oxidation is an important factor in determining the texture effect for machining aluminum alloy. In addition, machining experiments using small diameter end mill was conducted to apply this technique to micromachining tools. As a result, it was found that the texture effect can be observed by fabricating the texture without laser induced debris.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：精密加工学

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，機能性表面，マイクロ・ナノテクスチャ，フェムト秒レーザ，摩擦，アルミニウム合金

1. 研究開始当初の背景

現在、生産加工分野では、セミドライ加工や難削材の加工など、工具に対して厳しい条件下での加工技術が求められている。これら

の加工では、切削油の供給不足や加工材料の特性などから工具に大きな負荷がかかり、著しい工具摩耗が生じやすい。また工具摩耗や被削材の凝着などによって、表面性状は悪化

しやすい傾向にある。一方、 μ -TAS などをはじめとしたマイクロデバイスの作製において、小径ドリル、エンドミルなどを用いた機械加工技術への要求が高まっている。しかし微細工具ではその工具剛性の低さから、切りくずの凝着や切削抵抗の増加にともなう工具の折損や加工精度などの問題が顕著に表れる。これらの問題を解決するためには、工具・被削材間の摩擦低減、切削温度上昇の抑制等を著しく改善する技術が必要であると考える。

本研究ではこれらの課題を解決する方法として、固体表面にマイクロ・ナノメートルオーダーの微細なテクスチャを作製することで、表面の機能を制御することができる“機能性表面”に着目した。なかでもトライボロジー的な機能に着目すると、表面に微細なテクスチャを作製することで、摩擦を低減させることができる。また、これらの効果はテクスチャの大きさによって異なり、大きさをマイクロ・ナノメートルオーダーに設計することで著しい効果が現れるとされている。これを切削工具に適用することで、工具の加工性を改善できると考える。

2. 研究の目的

本研究では、表面にマイクロ・ナノメートルオーダーの微細なテクスチャを作製し、そこで発現する摩擦の低下の作用を応用することで、優れた加工性を持った切削工具を開発する。さらに本工具を小径工具等の各種工具へ応用するとともに、その現象が発現するメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) テクスチャの化学的な要因

① テクスチャの作製

本研究では、工具表面にマイクロ・ナノメートルオーダーのテクスチャを作製する手法として、フェムト秒レーザーを利用した微細加工方法を提案している。フェムト秒レーザーは、パルス幅が数百 fs の超短パルスレーザーであり、熱影響の極めて小さな微細加工を行うことができる。レーザー照射ではビーム径を十数 μm に設定し、一定間隔で走査することでテクスチャを作製する。その結果、レーザーの入射光と表面散乱光の干渉によって、大きさが数百 nm オーダーの周期構造が作製される。同時に、レーザーの走査間隔ごとに、深さ数百 nm ~ 数 μm のうねり状のテクスチャが作製される。これによって、図 1 に示すような表面にマイクロ・ナノメートルオーダーの微細なテクスチャを持った切削工具の作製が可能となる。これまでの研究では、後者のうねり状のテクスチャが加工性の改善に有効であることを示した。そこで旋削工具へのテクスチャの作製では、前者の大きさ数百 nm オーダーの

テクスチャの方向を切りくず排出方向および摩擦方向に対して垂直に固定し、うねり状のテクスチャの方向のみを変化させて実験を行った。

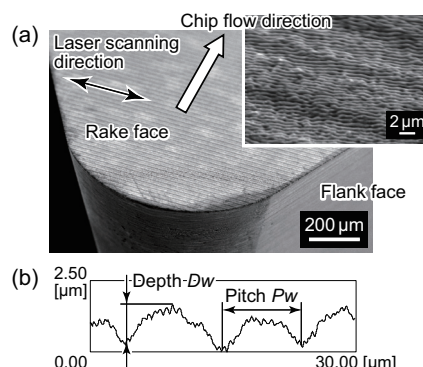


図 1 テクスチャを有する切削工具

② 旋削加工実験の条件

テクスチャの効果の化学的な要因について検討するため、ガスを吹きかけながらの加工実験を行った。ガスには空気、酸素、アルゴンを使用し、工具すくい面、逃げ面の 2 方向から供給した。テクスチャの方向は、切りくず排出方向に対して垂直とした。

③ 摩擦摩耗試験の条件

つぎに、雰囲気が摩擦現象に及ぼす影響について詳細に検討するため、ボールオンディスク型摩擦実験を行った。図 2 は、試作した摩擦試験機の概略図である。試料には、 0.15° の傾きを与えてある。まず、接触子を試料表面に接触させる。この状態で試料を回転させると、接触子と試料は接触・非接触を繰り返す。その際の垂直力と摩擦力を板ばねに貼り付けたひずみゲージにより測定することで、摩擦係数を算出できる。また試験機を雰囲気調整チャンバ内に設置することで、雰囲気を变化させた実験が可能である。テクスチャは、ディスク表面に作製した。

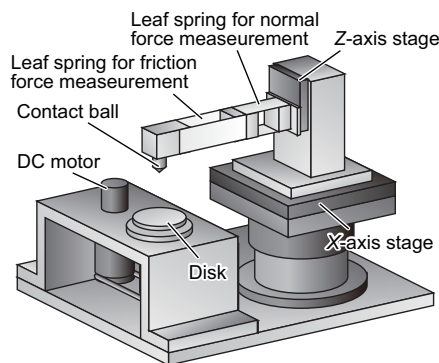


図 2 試作した摩擦摩耗試験機の模式図

(2) 小径エンドミル加工

① テクスチャの作製

テクスチャの作製には、旋削工具と同様にフェムト秒レーザーを用いた。使用した工具は、直径 0.5 mm の 2 枚刃の超硬エンドミルである。本研究では、2 種類の方法を用いてテクスチャを作製した。一方は、レーザーの焦点を工具の表面に合わせ、アブレーションにより溝状のテクスチャを作製する方法である。他方は、レーザーの焦点をずらし、広い領域にレーザーの干渉によるテクスチャを作製する方法である。図 3(a)は、前者の手法を用いて作製したテクスチャの SEM 観察像である。照射部に深さ 0.3 μm、幅 3.7 μm の溝状のテクスチャが観察できる。同図(b)は、後者の手法を用いて作製したテクスチャである。同図(a)でみられた溝状のテクスチャは観察されず、レーザーの干渉によって、大きさ約 200 nm のテクスチャが一様に作製されていることがわかる。

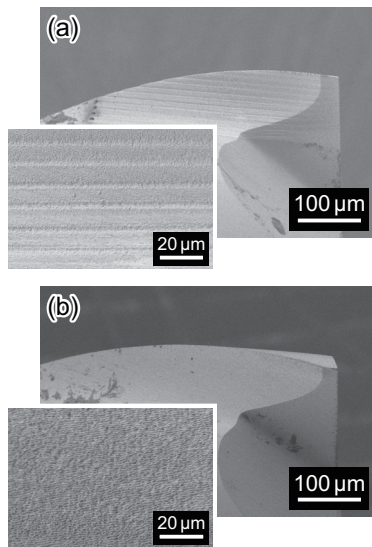


図 3 テクスチャを作製した小径エンドミル；(a) 溝形状テクスチャ；(b) 干渉によるテクスチャ

② 実験条件

作製したテクスチャの効果について検討するため、加工実験を行った。実験には、精密マシニングセンタ（コマツ NTC(株)社製、Zμ1500)を用いた。被削材には、アルミニウム合金 A5052 を使用した。切込み量 100 μm、加工距離 5 mm、切削速度を 75 m/min とし、送り量を変化させて実験を行い、テクスチャや切削液の種類の影響について検討した。切削抵抗は、工具の刃先の接線方向分力と半径方向分力とした。

4. 研究成果

(1) テクスチャの化学的な要因

まず、テクスチャの効果の化学的な要因に

ついて検討するため、ガスを吹きかけながらの加工実験を行った。図 4 は、雰囲気ガスを変化させたときの送り分力である。テクスチャのない工具を比較すると、酸素、空気、アルゴンの順に切削抵抗は減少した。この傾向は、酸素濃度の高い順と一致している。図 5 は、テクスチャのない工具の加工後の SEM 観察像である。これより、酸素濃度の高い場合に被削材の凝着が多く見られる。すなわち、ガス中の酸素の存在が工具すくい面の凝着を促し、酸素濃度の高い場合に凝着の存在によって切削抵抗が大きくなることを示唆している。この傾向は酸素減圧下での加工において、比較的高圧側で観察される傾向と類似している。

テクスチャの有無による切削抵抗の変化を比較すると、酸素濃度の高い酸素、空気の場合にテクスチャを作製した工具の切削抵抗の減少量が大きいものに対し、アルゴンの場合にその効果は小さい。この傾向は、テクスチャの存在による切りくず表面の酸化のしやすさに起因していると考えられる。酸素濃度の高い条件では、テクスチャの存在により切りくず新生面に酸素が供給されやすい。これによって酸化層が形成されやすく、摩擦が小さくなったと考える。一方、アルゴン中では切りくずの新生面は酸化しにくく、切りくず新生面と工具すくい面との摩擦となる。これによって、摩擦が減少しにくくなったと解釈できる。これらの結果は、テクスチャによる効果が生じる要因の一つとして、化学的な要因が存在することを示唆している。

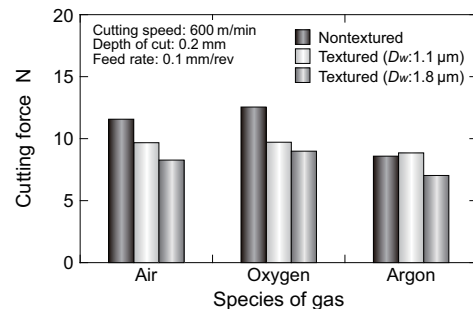


図 4 各種雰囲気化における切削抵抗の変化

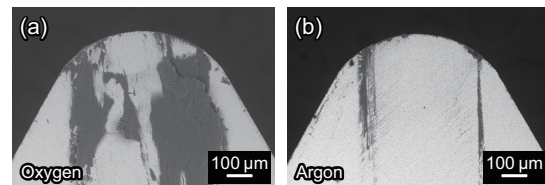


図 5 各種雰囲気化で加工後の工具の SEM 観察像

(2) 摩擦摩耗試験

つぎに、雰囲気が摩擦現象に及ぼす影響について詳細に検討するため、ボールオンディ

スク型摩擦実験を行った。図6は、各種雰囲気中での垂直荷重に対する摩擦係数の変化である。雰囲気がいずれの場合でも、テクスチャがない場合の摩擦係数は、テクスチャがある場合のそれよりも小さくなった。本摩擦試験では、接触子と試料との接触領域は小さい。このため、テクスチャが接触領域に対して相対的に大きくなる。また、本実験における摩擦速度は、切削加工時の切削速度と比較して小さい。このため、接触子がテクスチャ内部へ侵入しやすい傾向となり、テクスチャが存在する場合に摩擦係数が大きくなったと考える。

雰囲気の影響を比較すると、摩擦係数は空気、酸素のときに小さく、窒素の場合に大きくなった。酸素中および大気中では、接触面に酸素が介在し、酸化膜が形成しやすくなる。これによって、摩擦係数が小さくなったと考える。一方、窒素中では、摩耗時に生じる新生面と試料との摩擦となる。このため、摩擦係数が大きくなったと考える。

テクスチャがない場合、雰囲気による摩擦係数の差は小さい。テクスチャを作製することで、その差は大きくなるのがわかる。テクスチャを作製した場合、テクスチャが雰囲気ガスとの供給を促しやすくなる。このため、その影響が強く表れるようになり、酸素の場合に摩擦係数が大きく減少したと考える。以上の結果より、テクスチャを作製することで、雰囲気の影響が強く表れることがわかった。

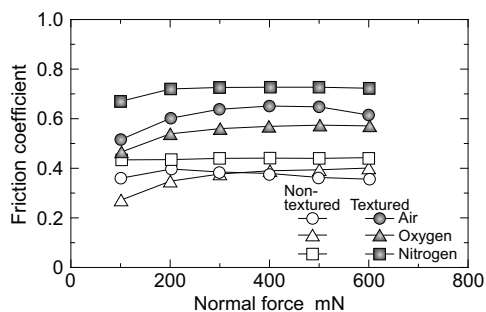


図6 各種雰囲気中での摩擦係数の変化

(2) 小径エンドミル加工

まず、小径エンドミルを用いて加工したときの、切削油の種類の影響について検討した。図7(a)と(b)はそれぞれ油性切削油のミストと水溶性クーラントを用いて加工した時の、工具すくい面のSEM観察像である。切削油の違いによって、加工特性に違いが見られた。水溶性クーラントを使用して切削した場合、加工部のテクスチャ全体に凝着が見られる。またテクスチャの有無による切削抵抗の差も見られなかった。一方、油性切削油を用いてミスト加工を行った場合、刃先の凝着量が減少した。また、テクスチャを適用することで、切削抵抗の減少の効果が現れており、

本実験条件下では油性切削油のミスト加工が有効であると考えられる。

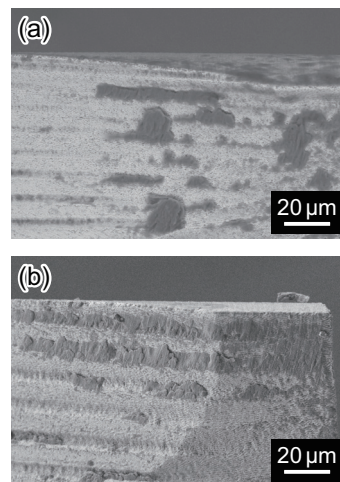


図7 切削液による凝着量の変化;(a) 油性ミスト; (b) 水溶性切削液

つぎに、テクスチャの形状による影響について検討した。表1は、作製したテクスチャの形状である。工具1と2は、焦点をずらすことで、主にレーザの干渉によるテクスチャをすくい面全体に作製した工具である。照射部ではわずかにうねり状のテクスチャが作製され、その深さはそれぞれ、0.3 μmと0.5 μmであった。工具3は、焦点を工具表面に合わせ、ビーム径約10 μmで溝状のテクスチャを作製した工具である。工具4と5は、ビーム径をさらに絞り、深さを変化させてテクスチャを作製した工具である。

表1 作製したテクスチャの形状

Tool No.	Pitch (μm)	Depth (μm)	Width (μm)	Focused type
1	30	0.3	-	Defocused
2	30	0.5	-	Defocused
3	10	0.6	14.5	Focused
4	10	0.3	3.7	Focused
5	10	0.6	5.1	Focused

図8は、各種工具で加工した際の切削抵抗である。干渉によるテクスチャを作製した工具では、テクスチャによる効果が見られない。これらのテクスチャでは、その大きさが小さすぎるためと考える。溝状のテクスチャを作製した工具では、テクスチャの幅が3.7 μmの工具で、切削抵抗が小さくなった。一方、テクスチャが深い場合または広い場合には効果が見られない。これらのテクスチャでは、テクスチャの周辺部に微小なデブリが生じるとともに被削材の凝着が観察できた。これが加工に悪影響を及ぼし、テクスチャによる効果が得られなかったと考える。すなわち、適切な形状でテクスチャを作製することで、その効果が得られることがわかる。

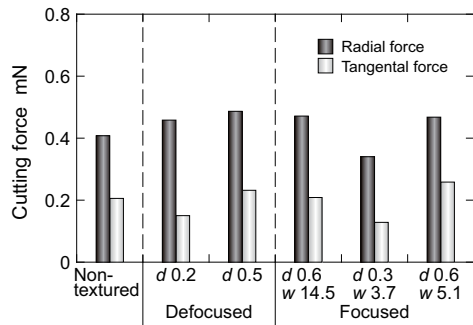


図8 テクスチャ形状による切削抵抗の変化

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3件)

- ① 川堰 宣隆, 杉森 博, 森田 昇, 薛 敏超, 関口 徹: 雰囲気制御条件下におけるマイクロ・ナノテクスチャを有する切削工具の摩擦特性, 砥粒加工学会誌, 査読有, 56, 12 (2012) 841-846.
- ② 川堰 宣隆, 杉森 博, 森田 昇: マイクロ・ナノテクスチャを有する切削工具, 砥粒加工学会誌, 査読無, 56, 10 (2012) 665-668.
- ③ Noritaka Kawasegi, Hiroshi Sugimori, Noboru Morita and Minchao Xue: Atmosphere Effect on the Machinability of Cutting Tools With Micro- and Nanoscale Textures, Advanced Materials Research, 査読有, 325 (2011) 333-338.

[学会発表] (計7件)

- ① 関 和仁, 川堰 宣隆, 森田 昇, 関口 徹: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発 (第6報), 2013年度精密工学会春季大会学術講演会 (2013年3月13日) 東京工業大学.
- ② 関 和仁, 川堰 宣隆, 高野登, 山田茂, 森田 昇: マイクロ・ナノテクスチャを有する微細加工用工具の開発, 日本機械学会北陸信越支部第50期総会・講演会 (2013年3月9日) 福井大学.
- ③ Noritaka KAWASEGI, Hiroshi SUGIMORI, Noboru MORITA and Minchao XUE: The Effect of Atmosphere on Machinability of Cutting Tools With Microscale and Nanoscale Textures, International Symposium on Advances in Abrasive Technology 2011, (2011年9月22日) Germany.
- ④ 薛 敏超, 森田 昇, 川堰 宣隆: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発 (第5報)

—各種条件下におけるテクスチャの効果—, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2011年3月15日) 東洋大学.

- ⑤ Noritaka Kawasegi, Hiroshi Sugimori, Noboru Morita and Isao Hori: Development of Small-Diameter Drills With Micro/Nanoscale Textures, International Forum on Micro Manufacturing 2010 (2010年10月21日) 長良川国際会議場.
- ⑥ 川堰 宣隆, 杉森 博, 森田 昇: マイクロ・ナノテクスチャを有する切削工具によるアルミニウム合金の旋削加工, 砥粒加工学会先端加工ネットワーク 2010年度研究・開発成果発表会 (2010年7月16日) 金沢工業大学.
- ⑦ 薛 敏超, 森田 昇, 川堰 宣隆: 微細テクスチャを有する切削工具の摩擦現象, 砥粒加工学会先端加工ネットワーク 2010年度研究・開発成果発表会 (2010年7月16日) 金沢工業大学.

6. 研究組織

(1)研究代表者

川堰 宣隆 (KAWASEGI NORITAKA)

富山県工業技術センター・中央研究所・主任研究員

研究者番号: 30443419