

マイクロ・ナノ融合環境での表面機能の発現・創生と体系化に関する研究 —ダイヤモンドアレイ工具の微細加工への応用—

研究代表者 理工学研究部（工学） 森田 昇

1 はじめに

本プロジェクトは、表面に設けた微細構造（表面テクスチャ）から期待される機能発現とその体系化を目的として、新たに開発したシリコンモールドによるダイヤモンドアレイ工具およびナノ加工計測システム等を用いて様々な表面テクスチャを創生するとともに、マイクロ・ナノ融合環境下での新しい光学的、機械的、化学的機能の創生とその応用化を目指す。

本プロジェクトの開発課題のひとつとして、単結晶シリコンの異方性エッチングと CVD ダイヤモンド成膜法を併用し、任意の形状と配列を有する精密加工用ダイヤモンド工具（以下、ダイヤモンドアレイ工具とよぶ）の開発を行っている。これまでに、この技術を応用した加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロリング工具を提案・作製し、これらの工具を用いて加工実験を行い、精密加工用工具としての有用性について示した。また、これらの工具を用いたナノ切削をリアルタイムで観察するシステムと、加工と計測を同一機上で実現するナノ加工・計測システムを開発した。さらに、加工時間の短縮や加工範囲の拡大のため、複数の切れ刃を具備した加工用 AFM カンチレバーの開発を行うとともに、集束イオンビームにより加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロリング工具の切れ刃形状を種々変化させ加工実験を行い、より精細な微細加工を実現する工具の試作を行った。昨年度は、表面にテクスチャを設けて被削性向上を図った切削工具と、AFM 加工における加工の高能率化を図ったマルチカンチレバーを試作し、加工実験を行い、その有用性を確認した。

今年度は、テクスチャ工具の加工特性をより詳細に検討するとともに、精度を向上させたマルチカンチレバーの開発を行った。

2 微細テクスチャを有する切削工具の開発

個体表面に微細なテクスチャを作製することで、表面の摩擦係数が減少することが知られている。この原理を切削工具に適用し、工具のすくい面に微細なテクスチャを作製することで、工具と被削材の摩擦特性が変化し、加工性を改善することができる。昨年度の研究で、切りくず流出方向に対して垂直方向にテクスチャを設けた切削工具でアルミニウム合金の旋削加工を行った場合、摩擦が減少し切削抵抗も小さくなることを明らかにした。本報では、すくい面に設けたテクスチャの有効範囲と、雰囲気ガスによる影響について検討を行った。

図 1 は、フェムト秒レーザ加工により、ピッチ 20 μm 、深さ 1.1 μm の溝をすくい面に工具先端から 100 μm 間隔でテクスチャを設けた工具で、アルミニウム合金 A5052 に対して切削速度

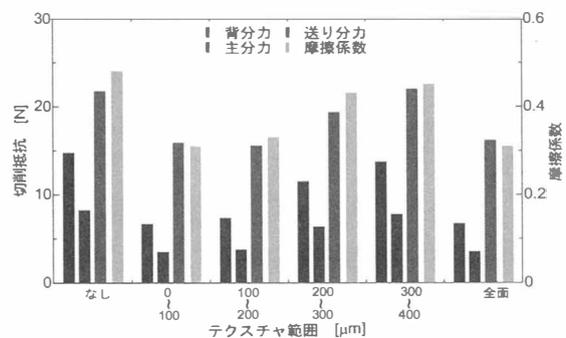


図 1 切削抵抗と摩擦係数のテクスチャ範囲依存性

600m/min, 切込み 0.2mm, 送り量 0.1mm/rev の条件で旋削加工実験を行った時の切削抵抗と摩擦係数である。テクスチャ範囲がいずれの場合でも、テクスチャなしの工具と比べて切削抵抗, 摩擦係数ともに低減しているのがわかる。また, テクスチャ範囲が工具先端から 200 μ m の場合, 他のテクスチャ範囲のものとは比べて切削抵抗と摩擦係数が低くなっていることから, この範囲でのテクスチャ導入が効果的であることがわかった。

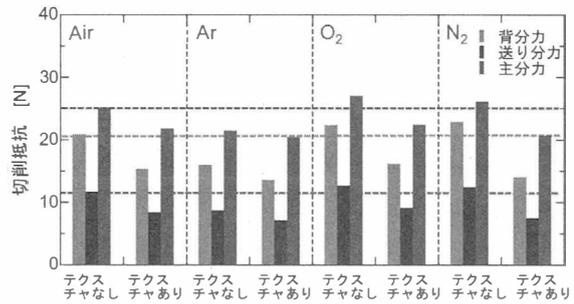
図 2(a) は, 雰囲気ガスを変化させた時の切削抵抗である。切削抵抗は, テクスチャを設けた工具はテクスチャ未導入の工具と比較して N₂, O₂ および大気中では低減しているが, Ar では低減量が少ないことがわかる。図 2(b) は, 雰囲気ガスを変化させた時のせん断角と摩擦係数である。いずれの雰囲気ガスにおいても, テクスチャを設けた工具は, テクスチャ未導入の工具と比較して, せん断角は大きくなり, 摩擦係数は低減していることがわかる。以上のことから, テクスチャの効果は, 加工雰囲気にも強く影響を受けていることがわかった。

今後は, テクスチャによる効果が発現するメカニズムについて詳細に明らかにするとともに, 工具の応用化について検討していく。

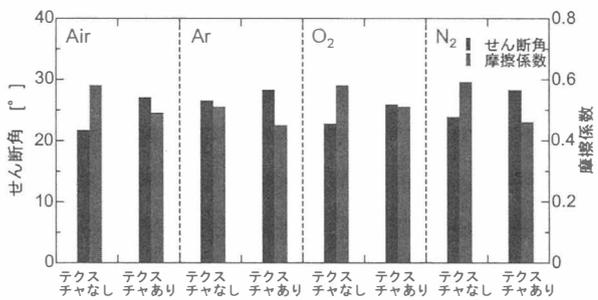
3 高能率加工用マルチカンチレバーの開発

加工用 AFM カンチレバーによる加工能率の向上を目的として, 昨年度はたわみ剛性の異なる 3 本のレバーを有するマルチカンチレバーを試作した。本年は, 工具精度を向上させたマルチカンチレバーを作製し, その加工性能について検討を行った。

図 3 は, 作製したマルチカンチレバーである。このカンチレバーは, たわみ剛性の異なるレバーを 3 本具備しており, 剛性の高いレバーから低いレバーへと重畳加工することにより, 粗加工から仕上げ加工を一度に実現するものである。レバーの幅は, 110 μ m, 90 μ m, 70 μ m で長さはすべて 1000 μ m である。切れ刃配列の整っているダイヤモンドレイ工具から複数の切れ刃を有する切れ刃列を YAG レーザ加工機により抽出し, レバーに装着後, 不要部分を集束イオンビーム加工機により除去することで, 高精度なマルチカンチレバーを作製することができた。



(a) 切削抵抗



(b) せん断角と摩擦係数

図 2 雰囲気ガスの影響

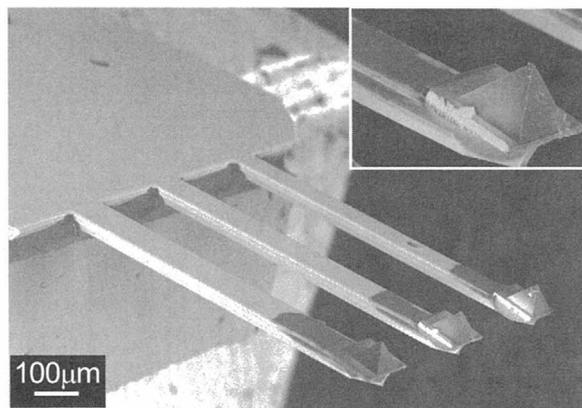


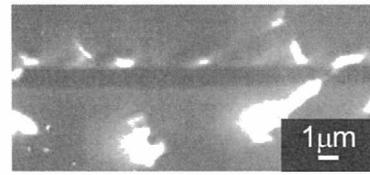
図 3 加工用 AFM マルチカンチレバー

まず各レバーの加工性能を確認するため、直線の引き切り加工実験を行った。被削材は単結晶シリコン(100)を用いた。加工実験には、長ストロークステージを搭載したナノ加工・計測システム（平成18年度開発）を用いた。

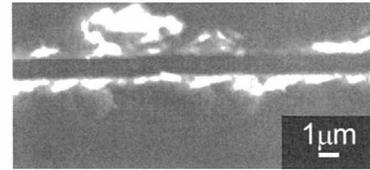
引き切り加工は、マルチカンチレバーの切れ刃と単結晶シリコンを接触させた後、切込みを与え、レバー長手方向に長ストロークステージを走査することで行う。図4は、引き切り加工実験で得られた加工溝のSEM観察像である。レバー剛性が高くなるにともない、加工溝の幅も増大していることがわかる。

次に、たわみ剛性の高いレバーから低いレバーへと重畳加工を行った。重畳加工は、ステージを 0.25° 傾斜させレバー長手方向と垂直方向に走査することで、徐々に加工溝が深くなっていく。図5は、重畳加工実験で得られた加工溝のSEM観察像である。たわみ剛性の異なる各レバーで一度に加工していることがわかる。また、図4の単一レバーによる加工溝と比べて、良好な加工溝が得られている。

今後は、他のレバー形状や切れ刃先端形状を変化させたマルチカンチレバーの開発と、より高能率な微細加工用工具への応用化について検討を行っていく。



(a) レバー幅 110 μm



(b) レバー幅 90 μm



(c) レバー幅 70 μm

図4 引き切り加工による加工溝

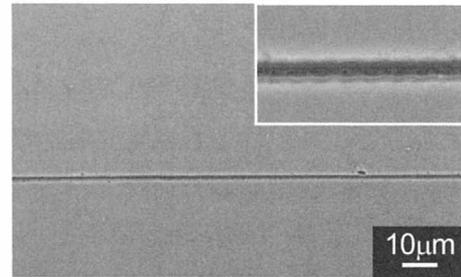


図5 重畳加工による加工溝

4 おわりに

本プロジェクトでは、微細テクスチャを有する切削工具を作製し、旋削加工実験を行ったところ、テクスチャの効果的な範囲がわかった。またテクスチャの効果は、雰囲気ガスの影響を強く受けることが分かった。一方、加工能率の向上を図る目的として、たわみ剛性の異なるレバーを3数本有する加工用マルチカンチレバーを作製し引き切り加工および重畳加工実験を行ったところ、個々のレバーの特性を生かした加工が可能であり、良好な加工溝を得ることができた。今後、実用化に向けてさらに性能を向上させることにより有用なツールとなりうる。

本研究の一部は、平成22年度科学研究費補助金基盤研究(B)および(C)を受けて行われたことを記してお礼申し上げます。

5 プロジェクト成果

5.1 特許

- 1) 特許出願/発明の名称：ダイヤモンド工具及びその製造方法

出願日：平成15年3月11日、出願番号：特願2003-65656、特開2004-268236

2) 特許出願／発明の名称：微細加工装置

出願日：平成15年3月17日，出願番号：特願2003-72051，特開2004-276177

3) 特許出願／発明の名称：加工用カンチレバー

出願日：平成20年9月3日，出願番号：特願2008-226272

6 プロジェクト成果の応用・効果・構想

本プロジェクトで得た成果を，信頼性の高い極微細加工が安定して実現できるようなテクスチャを有する切削工具や加工用カンチレバーを開発する。また，本カンチレバー工具の特徴を活かし，曲面を広範囲で加工可能なSPMヘッドを今後開発し，本プロジェクト終了後2年以内に実用型，汎用型「極微細加工システム」として安定性，信頼性，操作性を高めた後，製品化に移る。また4年程度後にはさらに多種機能を拡充，新市場を開拓していく計画である。

起業予定年月：プロジェクト終了後，3年以内の事業化を目指す。

7 利用施設

走査型プローブ顕微鏡を，加工用カンチレバーの評価試験（加工用カンチレバーによる加工実験および測定用カンチレバーによる加工痕測定）のため，週1回8時間程度利用している。