

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760093
 研究課題名(和文)極微ツールの表面ナノ構造・機能を制御する改質加工技術に関する研究開発
 研究課題名(英文)Development of surface finishing/modifying hybrid technique for controlling surface nano-structure of micro handling tools
 研究代表者
 片平 和俊 (KATAHIRA KAZUTOSHI)
 独立行政法人理化学研究所・大森素形材工学研究室・専任研究員
 研究者番号：70332252

研究成果の概要：

本研究では、マイクロツールのさらなる高品位化に際して、一層の高強度化・微細化と表面機能の両立を達成するため、“サイマルプロセス(同時工程内)”でナノ精度加工と所望の表面機能(高強度化、被膜との親和性、生体親和性)を付与するという、革新性の高い独創的な表面改質加工技術の開発を目指している。本研究期間内には、まず先端が数十ミクロン以下の外径を有するマイクロツールのナノレベル表面品位および極微細形状加工の確立には、超精密鏡面加工の実用技術である ELID(電解インプロセスドレッシング)研削法の原理を応用する。次年度に引き続き、マイクロツール(材質;超硬合金)に対して、幾何学的表面性状を数 nm(ナノメートル)以下の鏡面、および先端径 1 μm 以下の極微細形状を効率良く実現するとともに、本加工技術の再現性向上に努めた。また、創製したツールが実際の使用に耐えるかどうかを確認するため、ガラスやステンレスに対し微細溝形状加工を施しその仕上がり状態を検証した。一方、マイクロツールを細胞マニピレータに使用する場合を想定して、ツール自体を生体内を模擬した試験システム中に埋入させ、表面局所領域での化学反応をシミュレートした耐食性評価試験も行った。いずれも十分なパフォーマンスを示したことから、今後はマイクロツールのナノ表面改質加工技術、それをういたマイクロ光学部品やバイオ用途に関わる技術微細部品製造技術の実現可能性が示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	0	2,700,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,300,000	180,000	3,480,000

研究分野：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：ナノ・マイクロ加工，マイクロツール，表面改質，研削加工

1. 研究開始当初の背景

先端が数十ミクロン以下の外径を有するマイクロツール(極微小径工具)が、先端的研究開発、新産業技術の発展に果たす役割は多大である。例えば、半導体デバイス基板、

マイクロレンズアレイ、計測用マイクロプローブ、バイオ用マニピレータや各種ツールの微細加工技術、などの広範な最先端ニーズを支えている。一方、これらマイクロツールの素材としては、ステンレス鋼、Ti合金、超

硬合金などが一般的に用いられているが、ツールの先端径が $10\ \mu\text{m}$ 以下になると、ツール加工時あるいは使用時の負荷に耐えられずに破損してしまう問題があった。さらに、ツールをバイオ用マニピュレータ（主として細胞のハンドリング）に使用する場合は、ツール表面が細胞に対して悪影響を及ぼさないことが必須であることから、強度、耐久性、生体適合性など種々の表面機能を兼ね備えることが要求されている。ツールの表面機能を向上させるために、表面改質処理を施す方法もあるが、数ミクロン径のツールに均質に強固な改質層を付与するのは極めて難しく、これまで主流となっている熱処理や蒸着処理に変わる新しい表面改質法が強く望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、マイクロツールのさらなる高品位化に際して、一層の高強度化・微細化と表面機能の両立を達成するため、“サイマルプロセス（同時工程内）”でナノ精度加工と所望の表面機能（高強度化、被膜との親和性、生体親和性）を付与するという、革新性の高い独創的な表面改質加工技術の開発を目指す。具体的には、機械加工プロセス中に工具とワークとの間で生じるトライボケミカル反応を利用し、加工後のワーク表面の機械的・化学的特性をコントロールするものである。これまで、加工直後の活性な新生面で酸化反応を生じさせ耐食皮膜を“被覆（加質）”する手法、使用する工具あるいは研削液の成分元素を積極的にワーク表面に“物質置換”する手法などの効果が確認されている。いずれも研削加工中のナノスケールレベルのトライボケミカル反応を積極的に援用することにより発現させている。本研究では、新しいナノ表面加工におけるサイマル表面改質加工プロセスを用いたマイクロツールの高機能化を最終目的とし、この実現に向けて、以下の2つの項目を重要な柱として研究期間内に実施した。

1. 超微細研削加工によるマイクロツールの表面改質技術の確立
2. マイクロツールの表面機能（耐久性、薄膜密着性、生体親和性）改善効果検証

3. 研究の方法

先端径 $1\ \mu\text{m}$ 以下の極微ツールのナノレベル表面品位および極微細形状加工の確立には、まず申請者らのグループにより開発された超精密鏡面加工の実用技術であるELID（電解インプロセスドレッシング）研削法の原理を応用した。ELID研削法とは、金属系ボンド材でダイヤモンド粒を固めた砥石に電圧を付与することで、砥石ボンド材を電解し、

ダイヤモンド粒を常に表面に突き出させるドレッシング（目立て）方法であり、半導体材料や光学材料等の多くの素材に対して、高効率・高品位の鏡面加工が実現されている。ここでは、本研究プロジェクトの第一段階として本技術の原理を応用し、極微ツールに対して、幾何学的表面性状を数nm（ナノメートル）以下の鏡面、および先端径 $1\ \mu\text{m}$ 以下の極微細形状を効率良く実現する。具体的には、平均粒径 100nm という超微細ダイヤモンド粒によって構成される表面改質加工用砥石を新たに採用し、その超微細ダイヤモンド粒の突き出し量（切れ味）を厳密に制御するため、 $1\ \mu\text{s}$ 以下の極短パルス電解により金属ボンド材を高精度に電解除去し、砥石面の品質を常に維持する新しい電解プロセス技術の確立を目指した。砥石および被加工物の電位を付与・制御する高電圧極短パルス改質用電源ユニットの開発を行った。一方、極微ツール加工精度向上のために、加工機上での極微ツール形状測定のための非接触レーザー投影型形状測定器、および高精度高周波スピンドルを新たに導入するとともに、極微ツール加工時の迅速な脱着を可能とする独自の精密チャッキング機構などの製作も行った。さらに、極微ツールの加工にELID研削を適用する際、加工表面粗さと微細構造との関係における寸法効果に着目する必要がある。すなわち、加工表面粗さが大きい場合、極微ツールエッジ部のシャープネスが失われ、より微粒度の研削砥石を用いる場合の方が有利であることが言える。極微ツールの表面状態と強度・耐久性の相関について定量化することも検証した。

4. 研究成果

上記プロセス技術を確立することにより最終的に開発したマイクロツールの一例を図1に示す。

一方、極微ツールの先端径が $10\ \mu\text{m}$ 以下になると、ツール加工時あるいは使用時の負荷に耐えられずに破損してしまう問題があるため、強度、耐久性をさらに向上させるためには何らかの表面処理が必要となる。極微ツール表面に対して、砥粒成分元素（C, Si, Oなど）あるいは金属ボンド材成分元素（Cu, Co, Tiなど）を積極的に浸透拡散させるトライボケミカル反応を研削加工中に実現することで、極微ツール材料の表面改質（主に硬さの向上、圧縮残留応力の付与）が可能なプロセスおよび制御技術の確立を図った。特に、Al元素を浸透拡散させた場合、他の加工手法で仕上げた表面と比較して、著しく優れた親

水性を示すなど、被加工物表面の親水性を制御できるという極めて画期的な知見が得られた(図2)。本加工手法により、仕事関数の小さいAl元素が基材に拡散し、表面電位が変化した影響が大きいものと考えられ、これら新規の表面機能創製メカニズムの解明も試みる。

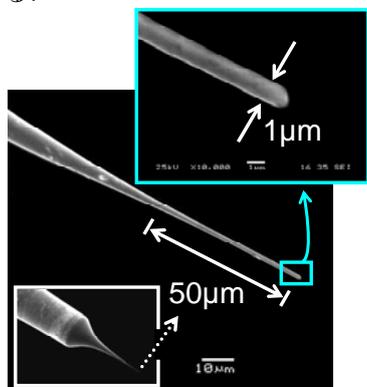


図1 開発したマイクロツール

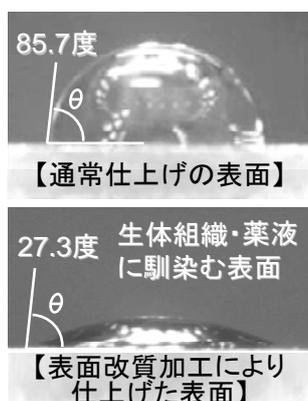


図2 液滴による接触角測定

一方、耐食性、生体適合性などの表面機能は、表面の保護膜(不導体膜)によってもたらされることに着目し、上述の研削加工中に極微ツール表面に強固な不導体膜を積極的かつ効率良く生成することを狙った。具体的には、研削液中に水酸化イオンを過飽和に発生させ、それをワーク表面(+電位)に微細な酸化現象により非晶質酸化膜として瞬時に定着させる。得られた表面の様子を図3に示す。サイマルプロセスで素材のナノ精度加工と表面改質が可能という、すなわち加工と改質が複合化された画期的な本技術を用いて、最終的には究極の微細形状と表面機能(強度、耐食性、生体適合性など)を有する高機能マイクロツールの創製を継続的に行っていく。

本研究開発が実用化すると、従来製造不可能であった極微スタンピングが可能となり、例えばインクジェットプリンタノズルや自動車燃料噴射ノズルの微細化・高精度化とともに、その製造およびランニングにおいても

数分の1以上のコストダウンが見込まれる。本研究成果は、特にマイクロ光学部品やバイオ用途に関わる微細部品製造技術分野において、欧米・アジア諸国との競争を削っているわが国にとっては、コア技術開発およびコスト競争力強化の究極的切り札になるであろう。当該技術開発分野において、わが国が優位性を保つことは、情報化技術およびナノテクノロジーの両分野において、国際的にリーディングできるという重要な意義を持つ。

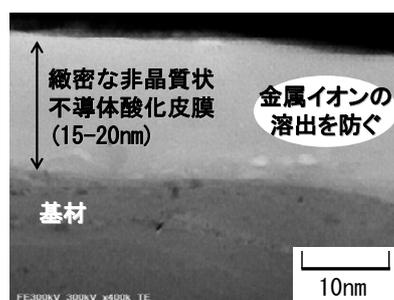


図3 改質加工によって創製された不導体皮膜の様子(TEM写真)

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5件)

- ① Katahira K., Ohmori H., Mizutani M., Komotori J.: "Investigation on High-Temperature Oxidization of Mirror-Quality Ground Stainless Steel", International Journal of Modern Physics B, (2008), in press. 査読あり
- ② Ohmori H., Katahira K., Komotori J., Mizutani M.: "Functionalization of Stainless Steel Surface Through Mirror-Quality Finish Grinding", Annals of the CIRP, 57, 1(2008)545-549. 査読あり
- ③ 水谷正義, 小茂鳥潤, 片平和俊, 大森整: "表面改質加工法によるチタン合金の表面機能制御", 材料試験技術, Vol. 53, No. 4, (2008), pp. 254-260. 査読あり
- ④ Ohmori H., Katahira K., Naruse T., Uehara Y., Nakao A., Mizutani M.: "Microscopic Grinding Effects on Fabrication of Ultra-fine Micro Tools", Annals of the CIRP, 56, 1(2007)569-572. 査読あり
- ⑤ 片平和俊, 齋藤智之, 水谷正義, 小茂鳥潤, 大森整: "砥石ボンド材の電解現象を利用した表面改質加工法に関する研究",

砥粒加工学会誌 51, 6 (2007) 333-338.
査読あり

[学会発表] (計12件)

- ① Katahira K., Ohmori H., Mizutani M., Komotori J.: "Investigation on High-Temperature Oxidization of Mirror-Quality Ground Stainless Steel", International Conference, Advanced Materials Development and Performance 2008 (AMDP 2008), Beijing, China, Oct., (2008), Invited.
- ② Katahira K., Ohmori H., Mizutani M., and Komotori J.: "Improvement of Surface Characteristics in Stainless Steel utilizing ELID Grinding Technique", The World Advances in ELID-Grinding Technologies: Trends on High Efficiency and Essential Processing, Changsha, China, Jun. (2008).
- ③ Katahira K., Ohmori H., Mizutani M., and Komotori J.: "Functional Modification of Surface Micro Structure utilizing Precision Grinding Technique", 8th International Joint Workshop on Micro Fabrication (IJWMF-2008), Kaohsiung, Taiwan, May. (2008).
- ④ Katahira K., Ohmori H., Saito T., Komotori J., Mizutani M.: "Nano-precision grinding characteristics and surface modifying effects on lens mold materials", 4rd International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), Fukuoka, Japan, Oct., (2007).
- ⑤ Katahira K., Ohmori H., Saito T., Komotori J., Mizutani M.: "ELID grinding characteristics and surface modifying effects on precise lens mold materials", euspen international topical conference, Bremen, Germany, May (2007).
- ⑥ 片平 和俊, 赤羽 陽平, 小茂鳥 潤, 水谷 正義, 大森 整:"小谷拓嗣ステンレス鋼の親水性を向上させる鏡面研削加工法の開発", 2009年度日本機械学会東北支部講演会, 仙台, 3月(2009)
- ⑦ 片平和俊, 成瀬哲也, 齋藤智之, 小茂鳥潤, 水谷正義, 大森整:"放電プラズマ焼結(SPS)法を用いて作製したTiボンド

砥石による表面改質加工", 2008年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2008), 彦根, 9月(2008).

- ⑧ 片平 和俊, 大森 整, 水谷 正義: "ELIDを基盤とした表面改質加工の効果と可能性", 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会, 仙台, 9月(2008). 【招待講演】
- ⑨ 片平 和俊, 成瀬 哲也, 齋藤 智之, 小茂鳥 潤, 大森 整, 水谷 正義: "放電プラズマ焼結(SPS)法を用いて作製したTiボンド砥石による表面改質加工", 2008年度砥粒加工学会学術講演会, 彦根, 9月(2008).
- ⑩ 片平和俊, 赤羽陽平, 齋藤智之, 水谷正義, 小茂鳥潤, 大森整:"表面電位測定による加工改質層厚さの迅速評価", 2007年度砥粒加工学会学術講演会, 東京, 8月(2007).
- ⑪ 片平和俊, 成瀬哲也, 上原嘉宏, 渡邊裕, 水谷正義, 大森整:"極微ツールの表面ナノ構造・機能を制御する改質加工技術に関する研究開発, 日本機械学会茨城支部講演会, 日立, 9月(2007).
- ⑫ 片平和俊, 大森整, 上原嘉宏, 水谷正義, 赤羽陽平, 齋藤智之, 小茂鳥潤:"表面改質加工を施した成形金型材料の濡れ性評価", 型技術者会議, 蒲田, 6月(2007).

[その他]

- ① 日刊工業新聞 2008/10/30, "表面改質加工で国際賞"
- ② 日刊工業新聞 2008/8/27, "親水・撥水, 研削で制御"
- ③ 日刊工業新聞 2008/2/29, "折れにくい微細工具, 理研独自研削技術で成功"

6. 研究組織

研究代表者

片平 和俊 (KATAHIRA KAZUTOSHI)

独立行政法人理化学研究所・大森素形材工学研究室・専任研究員

研究者番号: 70332252