

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：84510

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420072

研究課題名(和文) 超弾性合金のマイクロエンドミル加工によるカテーテルの高機能化に関する研究

研究課題名(英文) Micro end milling of nickel titanium alloy for improvement of catheter

研究代表者

浜口 和也 (Hamaguchi, Kazuya)

兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員

研究者番号：20470239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：直径0.5mmの小径エンドミルの底刃逃げ角を0°から15°まで5°ずつ変化させてニッケルチタン合金の切削加工実験を行い、切れ刃摩耗および加工面の平均粗さについて評価した。その結果、底刃逃げ角0°の小径エンドミルは15°のものに比べて摩耗が60%も少なくなり、底刃逃げ角が小さいものほど切れ刃摩耗を低減できることがわかった。加工面平均粗さはすべてのエンドミルにおいて200nm以下となり、良好な仕上げ面が得られた。

研究成果の概要(英文)：Cutting experiments were carried out by varying the axial relief angle of an end mill of a diameter of 0.5 mm from 0 to 15 degrees with a step of 5 degrees, and tool wear and surface roughness was evaluated. The result revealed that tool wear of a small end mill with an axial relief angle of 0 degree was smaller by 60% than that of 15 degrees, suggesting that tool wear is reduced more with a smaller axial relief angle. The average of roughness height of the finished surface was less than 200 nm.

研究分野：精密加工学

キーワード：エンドミル ニッケルチタン合金

1. 研究開始当初の背景

カテーテルの高機能化、多機能化を目的として、超弾性合金への微細形状加工に関する研究が進められている。超弾性合金はニッケルチタン合金に超弾性特性を付与したものであり、形状加工にはエッチングやレーザ加工などが適用されている。しかし、これらの加工法では溝の幅と深さの比が1:1、すなわちアスペクト比1の矩形溝など単純な形状しか加工できないため、性能が限られるほか、取付け可能なセンサ形状も限定されるなどの課題がある。カテーテルの機能を高めるには、アスペクト比が1以上となる深溝や自由曲面などの微細加工が必要となる。さらに、超弾性合金は生産性が低いことから、加工時間を短縮できる方法も求められている。

2. 研究の目的

ニッケルチタン合金に複雑で微細な形状を加工する方法としては、金型や部品加工に適用されているマイクロエンドミル加工が有効である。しかし、ニッケルチタン合金に対するエンドミル加工に関する報告はなく、切削特性が不明である。ニッケルチタン合金への複雑な3次元形状加工を実現させるには、小径エンドミルの摩耗特性等を明らかにしなければならない。

そこで本研究では、マイクロエンドミルの底刃逃げ角を変化させてニッケルチタン合金に対する切削加工実験を実施し、工具摩耗、加工面性状について評価することにより、マイクロエンドミルによるニッケルチタン合金の切削加工の可能性および切れ刃形状の影響について検討した。

3. 研究の方法

(1)加工装置

実験に使用した工作機械は3軸制御のNCフライス盤である。主軸回転数は、5000~50000 min<sup>-1</sup>で変化させることができる。位置決め精度は1 μmである。

(2)使用工具

切削加工実験には、直径0.5 mmの超硬合金製スクウェアエンドミルを用いた。1枚刃であり、コーティングは施していない。図1は、エンドミルの切れ刃形状を示したものである。底刃、側刃ともに逃げ面幅は0.03 mmである。すくい角は0°、すかし角および側刃の逃げ角は9°である。図1にαで示した底刃の逃げ角は、0°から15°まで5°ずつ変化させた。主な仕様を表1に示す。

(3)切削条件

加工形状は、幅0.5 mm、深さ0.02 mmの矩形溝である。1パスを10 mmとして、20回切削を繰り返した。主軸回転数は20000 min<sup>-1</sup>としたため、切削速度は約30 m/minとなる。エンドミルの突出し長さは、主軸から10 mmとした。主な切削条件を表1に示す。

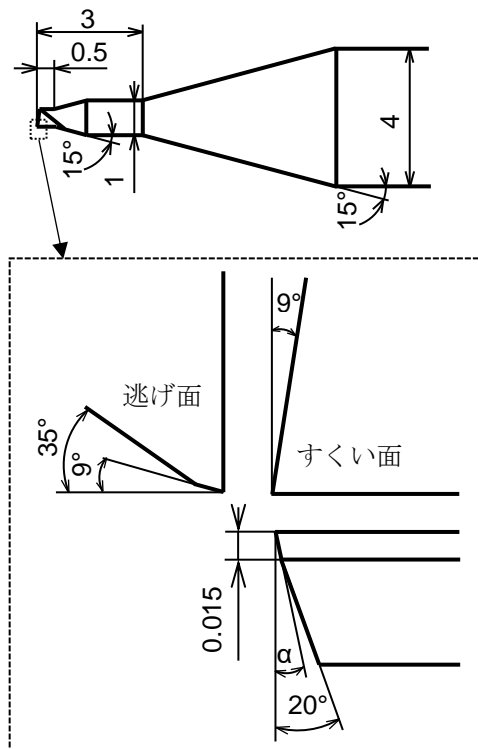


図1 エンドミルの切れ刃形状

表1 エンドミルの仕様

工具直径	0.5 mm
刃数	1
逃げ面幅	30 μm
ねじれ角	0°
すくい角	0°
コーティング	なし

表2 切削条件

主軸回転数	20000 min <sup>-1</sup>
一刃あたりの送り量	2 μm
送り速度	40 mm/min
深さ方向切込み量	20 μm
切削距離	200 mm
クーラント	ドライ

4. 研究成果

(1)工具摩耗

切削加工中の切れ刃摩耗量を明らかにするために、切削加工後の溝深さの減少量を摩耗量として測定した。溝深さは50 mmごとに3次元表面構造解析顕微鏡を用いて測定した。図2は切削距離と摩耗量との関係を示したものである。

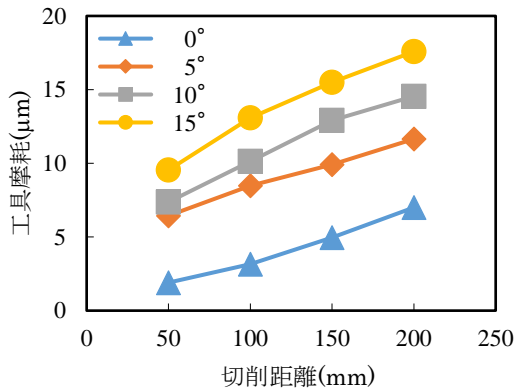


図2 工具摩耗と切削距離との関係

すべての工具において、切削距離が延びるにつれて摩耗が増大している。図より底刃逃げ角  $0^\circ$  の工具が最も摩耗が低減されており、逃げ角が増加するにつれて摩耗量が増加していることがわかる。

図3には、底刃逃げ角  $0^\circ$  と  $15^\circ$  のエンドミルを側刃から見たときの状況を示しており、図3(a)の最先端部における刃幅が図3(b)より厚くなっており、耐摩耗性を向上させていることがわかる。一般のエンドミルでは底刃の逃げ角を  $0^\circ$  にすると切削抵抗が増大し、欠損が発生しやすくなるが、本実験で使用したマイクロエンドミルでは逃げ面幅が  $0.03\text{ mm}$  と小さいことから、欠損が発生することなく、摩耗低減につながったと考えられる。以上の結果から、ニッケルチタン合金のエンドミル加工においては、底刃逃げ角を減少させることが摩耗の低減に有効であることがわかった。

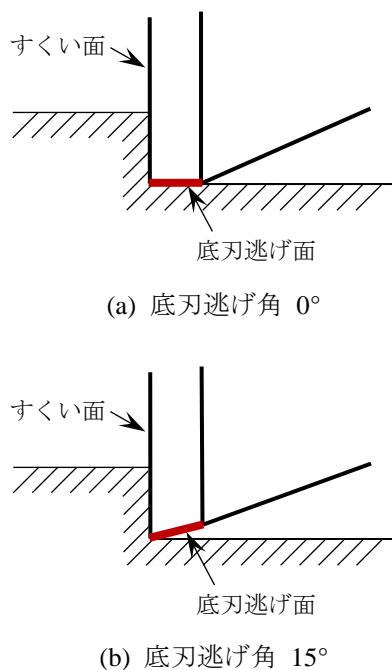


図3 切削に關する切れ刃形状

## (2) 切削抵抗

切れ刃形状が切削抵抗に及ぼす影響を調べるため、切削動力計を用いて切れ刃にかかる切削抵抗を測定した。被削材を通過する1パスが  $10\text{ mm}$  であるため、その間の平均切削抵抗について切削距離  $50\text{ mm}$  ごとに測定した。

図4は、深さ方向に対する平均切削抵抗と切削距離との関係を示したものである。切削距離  $50\text{ mm}$  における切削抵抗は、切れ刃形状の関係なくほぼ同様の値を示している。これは、切削加工初期において底刃逃げ角が切削抵抗に及ぼす影響が少ないことを示している。しかし、切削距離が延びるにつれて、切削抵抗の差は大きくなり、底刃逃げ角が小さいものほど切削抵抗が増大している。これは図2で示した摩耗の進展が影響したものと考えられる。すべての工具において切削距離とともに切削抵抗が増大しているが、底刃逃げ角が  $5^\circ$  以上の工具では、切削距離  $150\text{ mm}$  以降は切削抵抗が増加していない。摩耗による切れ刃形状の変化よりも、摩耗の進展による深さ方向切込み量の減少が、切削抵抗の減少につながったと考えられる。

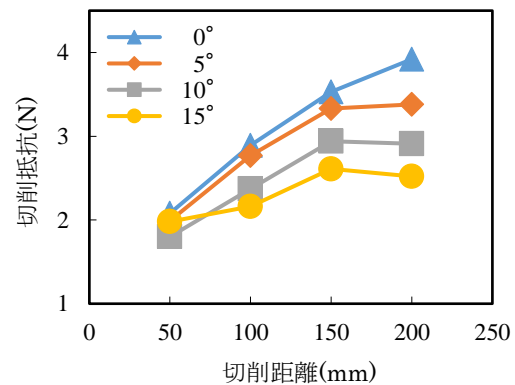


図4 切削抵抗と切削距離との関係

## (3) 加工面粗さ

切れ刃形状が加工面粗さに及ぼす影響を調べるため、表面粗さ計を用いて加工面の平均粗さを測定した。平均粗さの測定範囲は  $0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ mm}$  であり、切削距離  $50\text{ mm}$  ごとに測定した。

図5は、加工面平均粗さと切削距離との関係を示したものである。いずれのエンドミルにおいても面平均粗さ  $R_a$  は  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  以下となる良好な加工面が得られているが、切削距離とともに表面粗さが大きくなっている。これは摩耗が進展することによって切れ刃形状が変化して、加工面粗さを悪化させたものと考えられる。加工面平均粗さは、底刃逃げ角が大きくなるほど低減されており、良好な加工面が得られている。これは、図3で示したように、底刃逃げ角が大きくなるほど刃先が鋭く、逃げ面との接触面積が小さくなり、良好な加工面が得られたものと考えられる。以上の結果から、加工面平均粗さを低減させるには底刃逃げ角を大きくすることが有効であることがわかった。

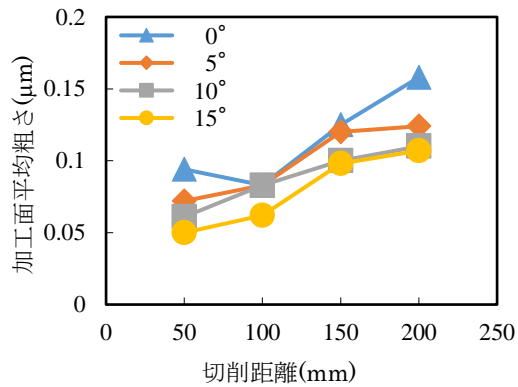


図5 切削抵抗と切削距離との関係

マイクロエンドミルを用いてニッケルチタン合金の切削加工実験および摩耗評価等を実施した結果、高硬度焼入鋼やチタン合金などの難削材と同様に切削加工が適用できることがわかった。さらに、工具摩耗が低減できる切れ刃形状などについても明らかにできた。本研究成果は、検査と治療とが同時にできる高機能カテーテルの作製に貢献できるものであり、患者の負担を軽減できるカテーテルの高機能化、高精度化が期待できる。

#### 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 Kazuya Hamaguchi, Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, Characteristic of Tool Wear in Small End Milling of Nickel-Titanium Alloy, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 874, 2016, pp. 429-432  
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.874.429

[学会発表] (計3件)

- ① Kazuya Hamaguchi, Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, Characteristic of Tool Wear in Small End Milling of Nickel-Titanium Alloy, The 19th International Symposium on Advances in Abrasive Technology, 2016.10.4, Stockholm(Sweden)
- ② 浜口和也, 児玉紘幸, 奥田孝一, ニッケルチタン合金の小径エンドミル加工, 2016年度砥粒加工学会学術講演会, 2016年9月2日, 兵庫県立大学(兵庫県姫路市)
- ③ 浜口和也, 山口篤, 平山明宏, 小径エンドミルによるニッケルチタン合金のマイクロ切削加工, 日本機械学会第7回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2015年10月29日, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

浜口 和也 (HAMAGUCHI, Kazuya)  
兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員  
研究者番号：20470239

##### (2) 研究分担者

平山 明宏 (AKIHIRO, Hirayama)  
兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員  
研究者番号：20510530