

## 23 形状記憶合金のマイクロ切削加工技術に関する研究 (マイクロポンプへの適用に向けて)

平山明宏, 浜口和也, 安東隆志, 才木常正, 後藤浩二

### 1 目的

血液検査や環境分析など多くの分野において、サンプル・試薬量の低減や化学反応効率の向上のため微量流体を用いて化学分析を行いたいという要求が高まっている。このため、ポンプ、バルブ、流路、ミキサ、センサなどをマイクロチップ上に小型化・集積化した $\mu$ TAS (Micro Total Analysis Systems) と呼ばれるマイクロ化学分析システムの研究開発が、国内外で活発に行われている<sup>1)</sup>。

$\mu$ TASの構成要素の一つであるマイクロポンプ、マイクロバルブといった微量流体デバイスの駆動源として、現在、圧電素子や静電力、形状記憶合金などが用いられている。これらは、エッチングやリソグラフィといった半導体製造微細加工技術を駆使して作製されるため<sup>2)</sup>、2次元形状に限られ、その性能や機能面で制限を受けるとともに、高価な製造設備を必要とする。

そこで本研究では、3次元形状を高自由度かつ高エネルギーで作製することができるマイクロ切削加工技術をTiNi形状記憶合金に適用することで、従来技術では作製できなかった3次元形状による多機能・高効率なマイクロポンプへの応用を目指していく。

本報では、TiNi形状記憶合金のマイクロ切削加工条件およびマイクロ切削加工が形状記憶特性に及ぼす影響について検討を行った。

### 2 形状記憶合金について

通常の金属材料は、大きな力を加えると変形前の形に戻ることはない。ところが、形状記憶合金 (Shape Memory Alloys) は、変形させてもある温度に加熱すると元の形状に戻る事が可能である。すなわち、加熱するだけで元の形状をあたかも記憶しているかのような挙動を示す金属材料である。この現象は、「形状記憶効果」と呼ばれ、図1に示すような結晶構造の相変態が大きく関わっている。形状記憶合金は、温度を冷却していくとマルテンサイト変態という結晶構造の変化が生じる。これに力を加えると、金属原子の結合の手が切り離されずに、他の原子と一緒に位置を少しずつずらしながら変形が進む。そのため、加熱すると結合の手が元の位置に戻ろうとして変形前の形状に戻ることができる。これが形状記憶効果のメカニズムである。室温で形状記憶合金

を動作させるには、マルテンサイト変態温度が室温以上となる必要があり、形状記憶合金にとっては重要な特性の一つとなる。

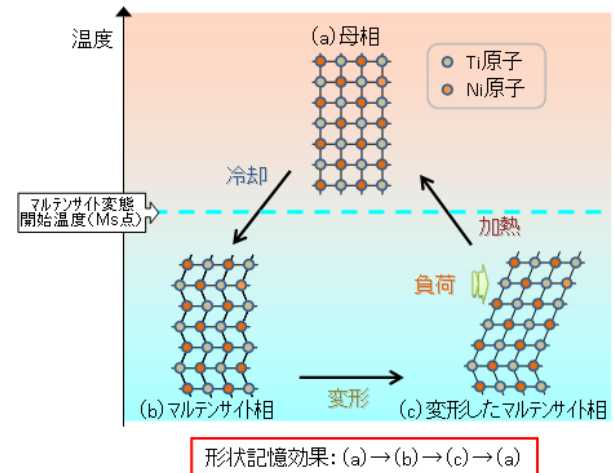


図1 形状記憶効果のメカニズム

### 3 実験方法

Ti-48at.%Ni合金線材を石英管内に真空封入し、500℃-30分保持後、急冷した溶体化処理材を供試材とした。実験に使用した加工装置は、超高速回転3次元形状精密加工装置 (株)ソディックエンジニアリング製 MC250L) である。工具には、工具直径0.4mmの2枚刃超硬ボールエンドミルを使用した。加工形態は、図2に示す通り、45度の斜面に対する平面加工である。切削方向はダウンカットであり、送り方向はY軸の正の方向である。半径方向切込み量は、斜面上方から下方へと与えた。主な加工条件

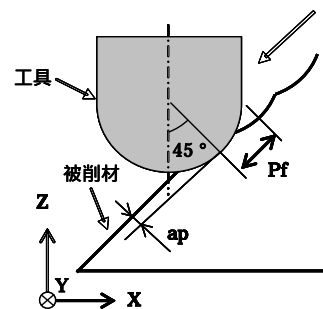


図2 切削加工形態

を表1に示す。また、工具刃先の観察には、電界放射型走査電子顕微鏡を用いた。

表1 加工条件

主軸回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )	2万、4万、8万、10万
切削速度 (m/min)	25.1、50.3、100.5、125.7
ピッチフィード Pf (mm)	0.02
切込み量 ap (mm)	0.01
切削油の供給	ドライ

## 4 結果と考察

### 4.1 マイクロ切削加工条件の検討

図3は TiNi 形状記憶合金について、工具の主軸回転数を変化させてマイクロ切削加工した後の工具刃先の観察結果である。主軸回転数 2 万回転/分から高い回転数になるほど工具への凝着物が減少し、さらに高回転数になると再び工具への凝着が顕著になる様子がわかる。これは、低い回転数の領域の場合、刃先と被削材の接触時間が長くなることで工具への伝達熱量が多くなり、工具への凝着が促進されたと考えられる。また、高い回転数の領域では、工具と被削材との接触による過度の発熱によって工具への凝着が増加する。一方、主軸回転数 4 万回転/分から 8 万回転/分の中間領域では、2 枚刃であるボールエンドミルの形状に起因した断続切削により、空冷効果が得られることから凝着が抑えられたと考えられる。これより、TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工において、4 ~ 8 万回転/分に適正な主軸回転数が存在するようになった。

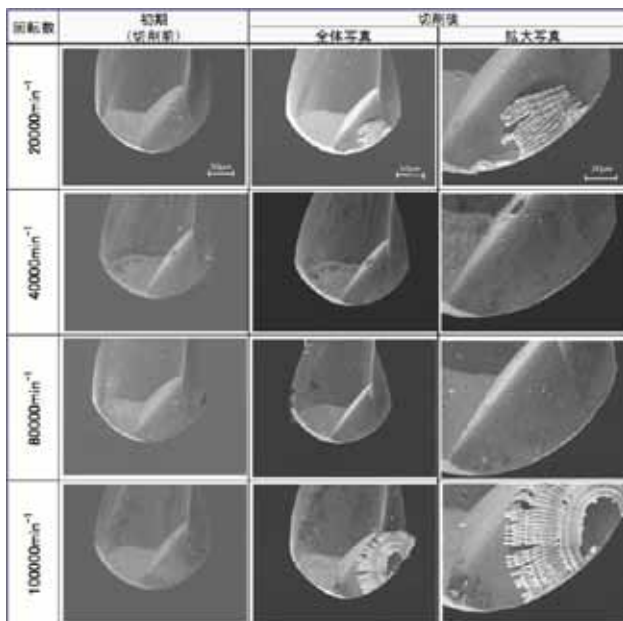


図3 マイクロ切削加工後の工具刃先の観察結果

### 4.2 形状記憶効果の確認

マイクロ切削加工したTiNi形状記憶合金の形状記憶特性について検討を行った。図4に示すように、薄板形状（縦3mm×横10mm×厚さ100 $\mu\text{m}$ ）にマイクロ切削加工したTiNi形状記憶合金を強制的に変形させた後、水中の中に沈め、水温の上昇に伴う形状記憶挙動について観察した。水温が上がるにつれて、変形させた形状から記憶させた真っ直ぐな形状に回復することがわかる。これより、マイクロ切削加工を行った形状記憶合金において形状記憶効果を示すことを確認した。

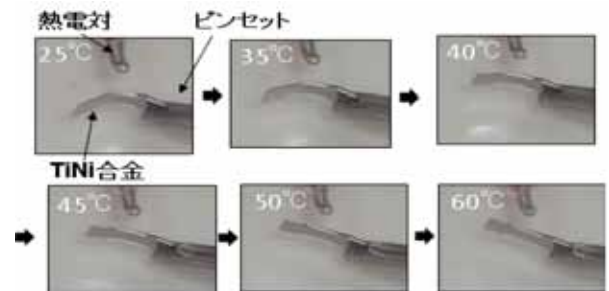


図2 TiNi合金の形状記憶挙動観察

図4 形状記憶効果の観察

## 5 結論

本研究では、3次元形状を高自由度で高能率に行うことが可能なマイクロ切削加工技術に注目し、TiNi形状記憶合金のマイクロ切削加工技術を確立することを目的として検討を行った。その結果、TiNi形状記憶合金のマイクロ切削加工に適した加工条件が存在することが明らかとなった。また、マイクロ切削加工を行ったTiNi形状記憶合金においても、良好な形状記憶効果が得られることがわかった。今後、応用展開することでマイクロポンプなどのアクチュエーターの開発に適用することができる。

### 参考文献

- 1) 庄子習一, 表面科学 Vol. 24, No11, pp. 684-688 (2003).
- 2) 小寺秀俊, 表面技術 Vol. 56, No. 10, p. 572 (2005).

### 謝辞

本研究は、(有)堀口鉄工所との共同研究により実施した。関係各位に深く感謝します。

(文責 平山明宏)  
(校閲 福地雄介)