

微細樹脂製品のためのアルミ転写金型製造技術の開発

— マイクロニードル用金型への適用 —

谷川義博*1 芳賀善九*2 佐藤潤哉*3 松波恒佑*4
北風拓都*5 青柳誠司*5 松本真一*6 鈴木康一郎*7

Development of Mold Manufacturing Method of Transcribing Master on Aluminum alloy for Fine Plastic Product — Application to Mold for Microneedle —

Yoshihiro Tanigawa, Zenku Haga, Junya Sato, Kosuke Matunami, Takuto Kitakaze
Seiji Aoyagi, Shinichi Matumoto and Koichiro Suzuki

マイクロ射出成形により微細なプラスチック製品を製造する技術が注目されており、蚊の針を模倣した低侵襲性プラスチックマイクロニードルは、マイクロ射出成形による製品の一例である。金型に直径 100 μm 以下の微細な針形状を加工するためには、マイクロツールを用いた微細加工が必要となるため、金型のコストが高くなる。機械電子研究所では、高精度に加工したセラミックスマスターと金型材に押し付けて形状を転写し金型を作成する転写金型製造技術を開発している。しかしセラミックスは脆性材料であり微細形状の加工が困難であるとともに形状転写の際破損することが予測された。このため本研究では、マスター型材に金属材料、金型素材にアルミ合金を用いることで、この問題を解決し、微細形状金型作成に対応した新規な転写金型製造技術を開発したので報告する。

1 はじめに

近年生物を模倣するバイオミメティクスが注目されている。バイオミメティクス技術は、多数の微細構造が組織的に集合して成立している生体構造を模倣することが多く、それらは数十 nm ～数百 μm オーダーの微細形状を付加した製品となる。バイオミメティクス構造を有する微細形状製品の作製にはフォトリソグラフィ技術等が用いられることが多く、コストが高くなると共に、材質や形状が限定される。実用化が望まれるバイオミメティクス製品の一つに、穿刺の際の患者への負担を減らす、蚊の針を模倣した低侵襲性のマイクロニードルがある。青柳らは、3D 光造形法を用いて作製したマイクロニードルをマスターとし、これにメッキして離型して得られる電鍍金型を使用し、樹脂製のマイクロニードルを試作してきた。しかしながら、量産化を考えると、電鍍金型の製造コストと量産性や、薄く脆い型の取り扱いが課題となる。

一方、谷川らは、高い精度が必要な LED 用レンズ金型の作製において、従来の切削加工に比べて、短期、低コストで作製できる金型製造技術の開発に取り組んだ。その結果、耐熱性を有するセラミックスで高

い精度に加工された LED レンズ形状のマスター型を軟化温度 (1000 $^{\circ}\text{C}$) まで加熱した金型材に押圧することで、高い精度でマスター型形状を転写し、高精度な金型を磨きレスで量産可能な転写金型製造技術 (MMT: Mold Manufacturing technology using Transcription method) を開発してきた。

しかし、今回転写を行う形状は、直径 100 μm 以下のマイクロニードル形状であるため、高脆材料であるセラミックの加工は困難であると共に、押圧時の荷重により折損する可能性がある。

そこで、マスター型材に、セラミックスより加工が容易で、靱性を有する金型金属材料を用い、金型素材にアルミ合金 (A7075) 使用することで、マイクロニードルをはじめとした微細製品用金型へ適用可能な転写金型製造技術を開発したので、本論文で報告する。

2 微細形状転写金型製造技術(素材とマスター形状)

マスター型材として従来のセラミックスに代わり、SUS440C 系金型材 ELMAX を使用し、金型素材にはアルミ合金 (A7075) を採用した。マイクロニードル針部断面の曲率半径 $R1=50 \mu\text{m}$ 、針部長さ $L=1.2 \text{mm}$ のマスターと、曲率半径 $R1=30 \mu\text{m}$ 、針部長さ $L=1.66 \text{mm}$ のマスターの 2 種類を作製した。

*1 機械電子研究所
*2 ㈱メイホー
*3 村田機械㈱
*4 大阪市水道局

*5 関西大学
*6 三栄精機㈱
*7 ㈱武蔵野化学研究所

3 微細形状転写

曲率半径50 μm のマイクロニードル転写結果SEM画像を図1に示す。曲率半径50 μm , 30 μm のマイクロニードル共に今回の実験で5回の転写を行った結果、マスター形状に対する転写金型の転写誤差は、曲率半径50 μm で3.2 μm 以下、曲率半径30 μm で4.4 μm 以下であった。

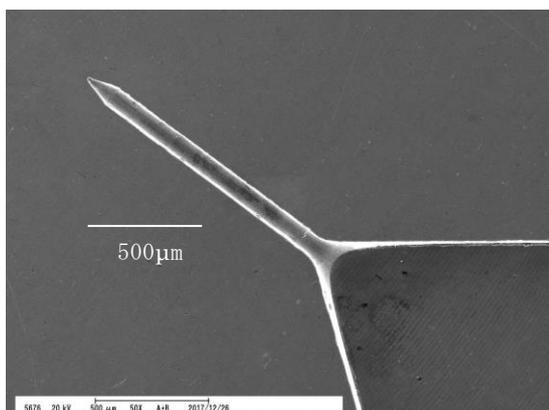


図1 マイクロニードル転写結果 SEM 画像

4 転写金型を用いた針成形実験

作製した曲率半径50 μm のマイクロニードル転写金型を使い、マイクロニードルの射出成形実験を行った。

マイクロニードル用の樹脂には生分解性であり、生態適合性が要求される医療器具の材料として使用されるポリ乳酸を使用し、ヒートアンドクール法で成形を行った。

成形したマイクロニードルのSEM画像を図2に示す。

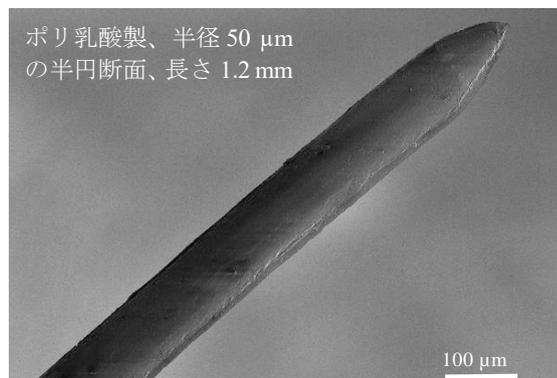


図2 成形したマイクロニードル SEM 画像

図2に示すように、今回開発した転写金型製造技術で作製した金型を用いることで、曲率半径50 μm のマイクロニードルがバリなく成形可能であることが確認できた。

5 まとめ

転写金型製造技術において、マスター型材に SUS440C 系金型材、転写金型素材にアルミ合金 A7075 を用いてマイクロニードル用金型作製を行い、以下の結果を得た。

- (1) マスター型材に ELMAX を使い、転写金型素材に A7075 を使用することで、曲率半径 50 μm 、長さ 1.2 mm、および同 30 μm 、1.7 mm のマイクロニードル用転写金型の作製が可能であることが確認できた。
- (2) 今回実験に使用したマイクロニードル形状に関し、A7075 を 573 K 以上に加熱した状態で押圧すると、一度最大転写荷重 4.1 kN に到達した後、荷重が低下し再度押込みが進行する。この工程を連続して繰り返すことにより形状を高精度に転写できることが分かった。
- (3) 加熱温度が高いほど成形サイクルタイムが短くなり、短時間で形状転写が可能であることが確認できた。
- (4) 曲率半径 50 μm 、針長さ 1.2 mm の形状では、誤差 3.2 μm 以下、同 30 μm 、1.7 mm の形状では誤差 4.4 μm の誤差で転写可能であることが分かった。
- (5) 本研究で得られたアルミ転写金型を用いて、PLA 樹脂の射出成形を行った。ヒートクール法を用いることで曲率半径 50 μm 、長さ 1.2 mm の半円断面形状のマイクロニードルの成形に成功した。

6 謝辞

本研究は公益財団法人飯塚研究開発機構研究開発支援事業費実用化開発補助金により実施した研究の成果である。また文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業より研究課題「3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメテックス・医療への応用」(平成27年～平成31年)、科研費18H01415、2018年度積水化学自然に学ぶものづくり研究助成の支援を受けた。

7 掲載論文

精密工学会誌, 86巻, 5号, pp. 360-366 (2020)