

マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究（第2報）

－ 樹脂フィルムへの熱転写加工技術 －

山田博之・阿部治・小松利安^{*1}・萩原義人^{*1}・石黒輝男^{*1}・宮川和幸^{*1}・勝又信行^{*1}・佐野正明^{*1}・吉田善一^{*2}・寺田信幸^{*2}

Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie (2nd Report)

- Melt-transcription-molding of Micro-pattern to Resin Film Surface -

Hiroyuki YAMADA, Osamu ABE, Toshiyasu KOMATSU^{*1}, Yoshihito HAGIHARA^{*1}, Teruo ISHIGURO^{*1},
Wako MIYAGAWA^{*1}, Nobuyuki KATSUMATA^{*1}, Masaaki SANNO^{*1}, Yoshikazu YOSHIDA^{*2} and Nobuyuki TERADA^{*2}

要 約

マイクロ関連部品は材料への直接加工によって小ロット製造されている場合が多く、製造コストが高くなるため、今後は微細転写加工のような量産化技術が必要になると考えられる。しかし、実用化にはまだ多くの課題が残っている。そこで、本研究では、金属製薄板積層のマイクロ金型やグラッシーカーボン製マイクロ金型の作製を検討し、さらに樹脂フィルムへの熱転写加工条件と転写加工状態との関係を検討した。本報では、フローテスタを用いて昇温法によって測定したフィルム材料の熱特性評価結果が、転写加工における加工条件の選定に活用できることがわかった。また、ステージ温度が高く、加熱加圧時間が長く、転写圧力が大きい方が、金型の溝形状部分に被加工材料の樹脂が入り込み易いことがわかった。

1. 緒 言

近年、マイクロテクノロジーは様々な分野への応用が期待されている。しかし、多くのマイクロ部品は、各種微細加工機を用いた小ロット加工によって製造されている場合が多く、材料を直接除去加工するため製造コストが高くなってしまふ。そこで、今後は微細転写加工のような量産化技術の必要性が高くなると考えられる。現在、半導体製造技術を応用したマイクロ金型の作製技術に関する研究、ホットエンボス法やインプリント法などの転写加工技術に関する研究が盛んに行われている^{1)~3)}。しかし、実用化にはまだ多くの課題が残っている。代表的な課題として、転写加工用マイクロ金型の作製に適した加工技術と材料の選定、マイクロ金型の品質（耐久性、離型性など）の向上、材料に応じた転写加工条件の最適化とタクトタイムの向上などがあり、これらの課題を解決する必要があると考えられる。

本研究では、数十 μm から数百 μm の微細形状を有するマイクロ流体デバイスや光学フィルタなどのようなマイクロ部品の加工を主な目的とした。共同研究者である山梨県

工業技術センターでは光学ガラスへの微細転写加工技術を検討し、離型剤や加熱温度と転写性との関係を調べた。一方、当機関では樹脂材料への微細転写加工技術を検討した。第1報では、リブや溝などの微細形状と転写加工性との関係を調べることを目的として、金属製薄板を積層させることによって複数の微小リブと微小溝を形成できる転写実験用の金属製薄板積層マイクロ金型や、複数の立体微細形状を有するグラッシーカーボン（ガラス状炭素材料）製マイクロ金型を作製し、樹脂フィルムへの熱転写加工実験を試みた^{4)~5)}。本報では、はじめにフローテスタを用いて被加工材料の固体域や流動域の熱特性を評価し、次にその結果を活用し、マイクロ金型を用いた樹脂フィルムへの熱転写加工条件と転写加工状態との関係を調べたので報告する。なお、本報では山梨県富士工業技術センターで得られた結果のみを報告する。

2. 実験方法

2-1 金属薄板積層によるマイクロ金型

本研究ではマイクロ流体デバイスなどで利用される微小溝を有した部品を転写加工によって作製することを最終的な目標とした。そこで本報では、リブや溝などの微細形状と転写加工性との関係を調べることを目的として、転写加

*1 山梨県工業技術センター

*2 東洋大学 理工学部

工実験用マイクロ金型を作製した⁴⁾⁻⁵⁾。図1に示すように、金属製薄板を積層させることによって、複数の微小リブと微小溝を形成する方法とした。薄板の材質は SUS304H で、厚さは 20, 50, 100 μm の 3 種類を用いた。薄板はワイヤー放電加工機((株)牧野フライス製作所製 UPH-1)で切断した。さらに、核(コア径: 0.2~0.5mm)となる弾性体の表面に研磨微粉を付着させた表面積層型の弾性研磨材を用いて加工物表面を乾式の擦過現象によって研磨加工することができるプラスト加工機(東洋研磨材工業(株)製 SMAP-II)を用いて、リブ・溝を形成する薄板の切断面を研磨加工した。

本報では金型形状として、高さが 85~100μm で、幅がそれぞれ 100μm, 50μm, 20μm の微小リブを形成し、リブ間隔が 100μm, 50μm, 20μm となるように薄板の形状を加工した。9 枚の薄板を積層することによって作製した転写加工実験用マイクロ金型の電子顕微鏡観察写真を図2に示す。リブ端部において放電加工のワイヤー径に起因する R 50μm の形状ができるが、角RやスミRは小さく、また表面粗さもリブの寸法に対して小さいので、転写性を検討する転写加工実験用マイクロ金型として利用できると考えられる。

2-2 フローテストによる熱特性の評価

本報では、樹脂フィルムへの熱転写加工を目的とした。多くの熱可塑性樹脂材料では軟化する温度領域がある。そこで、定試験力押し出し形の細管式レオメータであるフローテストを用いて被加工材料の熱特性を評価し、その結果を転写加工時の温度条件の選定に活用できないかを検討した。図3にフローテストにおけるシリンダ部の構造の概略図を示す。フローテストでは、ペレット状の試料をシリンダ内に充填し、上部からピストンによって一定の圧力を加え、周囲から加熱して軟化および溶融させ、その時のピストン移動量や移動速度から材料の固体域や流動域の特性を測定する。主な測定条件を表1に示す。

2-3 樹脂フィルムへの熱転写加工実験

作製した金型を用いて樹脂フィルムへの熱転写加工実験を行った。表2に示す加工条件で、厚さ 300μm のポリカーボネートフィルムに熱転写加工を行った。加工部分の観察には(株)日立製作所製走査型電子顕微鏡 s-2380N を使用し、形状寸法の測定にはオリンパス(株)製デジタル走査型レーザー顕微鏡 OLS1100SB を使用した。

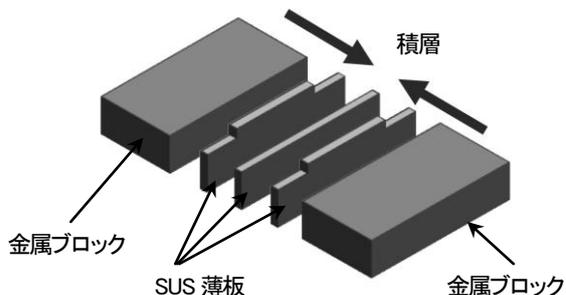
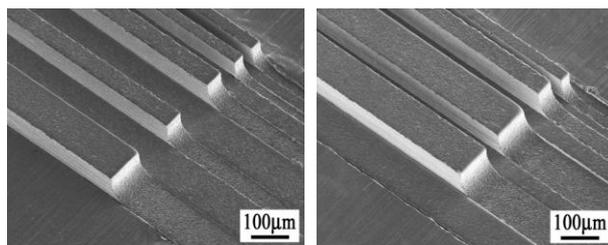


図1 金属製薄板の積層によるマイクロ金型の概念図



(i) 金型作製例1

(ii) 金型作製例2

図2 薄板積層による転写加工実験用マイクロ金型

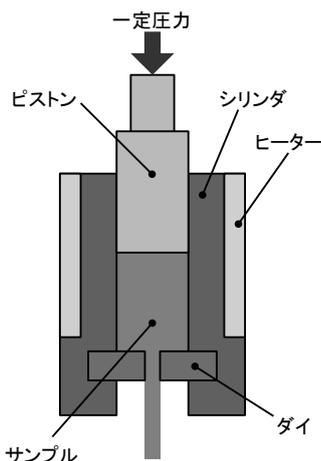


図3 フローテストのシリンダ部の構造(断面概略図)

表1 フローテストにおける主な測定条件

測定装置	(株)島津製作所製フローテスト CFT-500D(PC)
試験方法	昇温法
昇温速度	5 °C/min
測定間隔	1/°C
ダイ穴径	φ 1mm
ダイ長さ	1 mm
シリンダ圧力	0.49 MPa
サンプル	ポリカーボネート(フィルム)

表 2 熱転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 精密ホットプレス CYPT-L
ステージ 制御温度	185, 190, 195 °C (離型時温度 129, 133, 137 °C)
転写圧力	0.5, 0.625, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 MPa
加熱加圧時間	15, 30, 45, 60, 75, 180, 240, 300 sec
冷却時間	180 sec
サンプル材質	ポリカーボネート
サンプル厚さ	300 μm

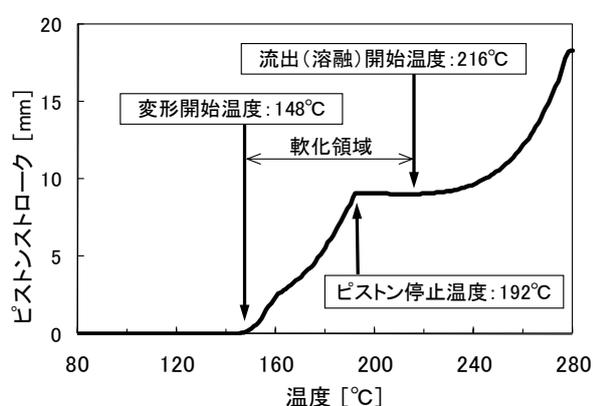


図 4 フローテスタによる被加工材料の熱特性評価結果

3. 結果および考察

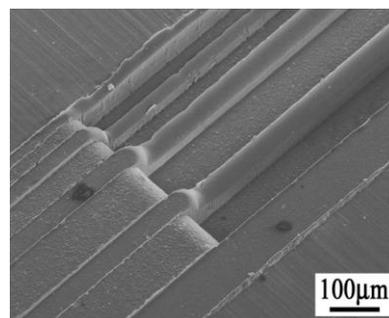
3-1 被加工材料の熱特性

フローテスタを用い、試験温度を一定の時間比率で昇温させながら試料を加圧し、その時のピストン移動量や移動速度を測定する試験方法である昇温法によって、転写加工実験に用いるポリカーボネートフィルムの熱特性を測定した。本測定ではフィルムを細かく切断した試料を用いた。測定結果を図 4 に示す。材料の変形開始温度が約 148°C で、溶融開始温度が約 216°C であるため、固体状態で軟化する温度範囲は 68°C となる。転写加工時において、変形開始温度に近い場合は転写性が低くなる場合があることが予想され、一方、溶融開始温度に近い場合は離型性の悪化や材料への熱影響が起こる場合なども予想される。そこで本研究では、測定試料が軟化してシリンダ内に隙間なく圧縮される軟化温度である約 192°C 近傍の温度を転写加工条件とし、温度条件と転写加工状態との関係を検討した。

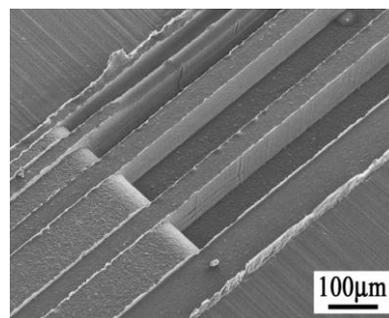
3-2 ステージ温度の影響

加圧加熱するステージの温度を 185°C, 190°C, 195°C とした場合の転写加工状態への影響を調べた。また、その他

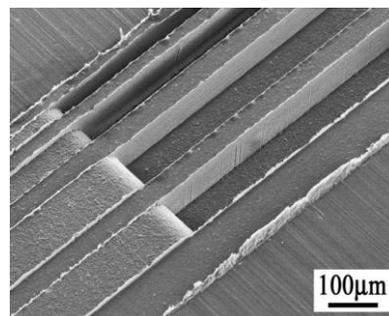
の主な加工条件としては、転写圧力が 0.5MPa, 加熱加圧時間が 60sec, 冷却時の温度降下が約 56°C (冷却時間: 180sec) であり、厚さ 300μm のポリカーボネートフィルムに熱転写加工を行った。図 2(ii) に示す金型形状を、フィルムに転写加工した部分を電子顕微鏡で観察した結果を図 5 に示す。リブの幅が細いほど金型形状を転写できにくくなり、さらに、高さとの比(アスペクト比)が大きくなるほど金型形状を転写できにくくなることがわかった。また、ステージ温度が高いほどリブが転写されやすいことがわかった。これらの結果から、金型の微細形状における空間が広く、アスペクト比が小さく、温度が高いほど、金型の溝形状部分に被加工材料の樹脂が入り込み易いと考えられる。また、本実験条件における転写加工の場合、フローテスタにおいて測定試料が軟化してシリンダ内に隙間なく圧縮される軟化温度である 192°C 近傍は、転写加工性への影響が大きい温度域であり、その他の加工条件と転写加工状態との関係も検討することが重要であると考えられる。



(a) ステージ温度: 185°C



(b) ステージ温度: 190°C

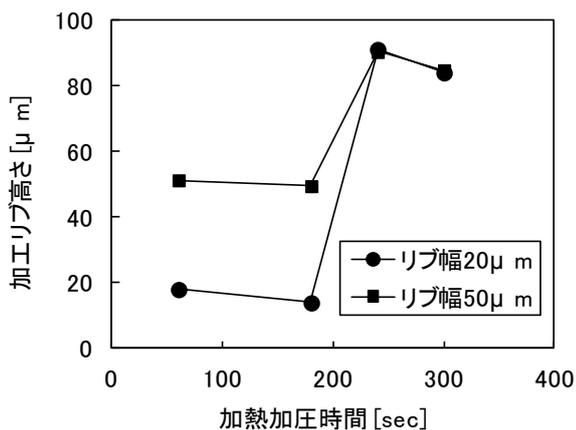


(c) ステージ温度: 195°C

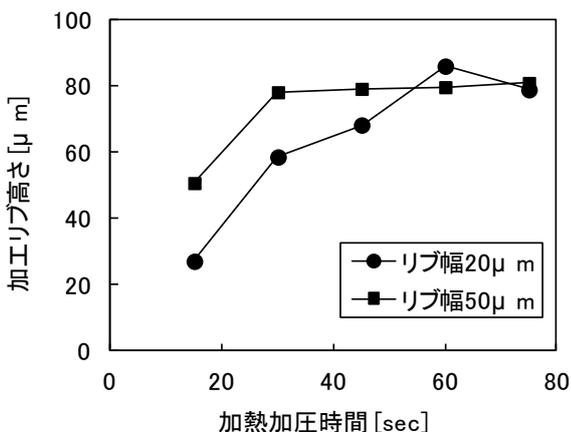
図 5 ステージ温度を変えた場合の転写加工結果

3-3 加熱加圧時間の影響

加工温度に達した金型を樹脂材料に押し付けて加熱加圧する時間、すなわち加工ステージの状態を保持する時間と転写加工状態との関係を調べた。加熱加圧の保持時間は15~300secである。また、その他の主な加工条件としては、転写圧力が0.5MPa、ステージ温度が185°Cおよび195°C、冷却時の温度降下が約56°C(冷却時間:180sec)である。図2に示す金型形状をポリカーボネートフィルムに転写加工し、形成された溝底面に対するリブの高さ寸法をレーザ顕微鏡で測定した結果を図6に示す。加熱加圧している加工ステージの状態を保持する時間が増加するとともに、金型の溝形状部分に被加工材料の樹脂が入り込む量も増加していくと考えられる。また、ステージ温度が高い方が、リブ形状を転写するために必要な時間が短いため加工効率はよいが、バリ発生などには注意が必要である。



(a) ステージ温度: 185°C

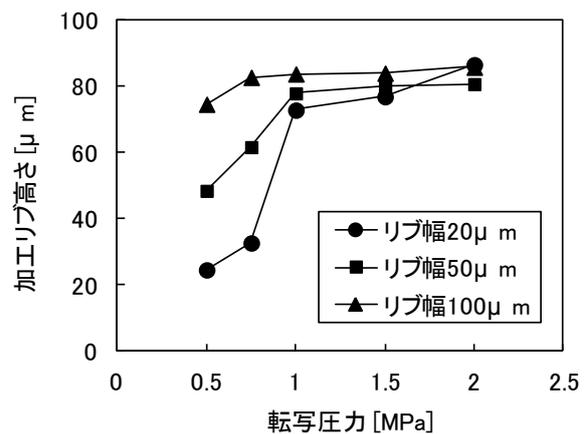


(b) ステージ温度: 195°C

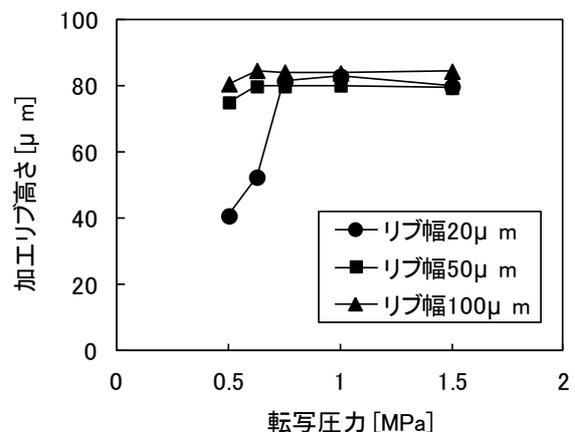
図6 転写加工のリブ高さと加熱加圧時間との関係

3-4 転写圧力の影響

加工ステージによって金型と材料を圧縮する荷重、すなわち転写圧力と転写加工状態との関係を調べた。転写圧力は0.5~2.0MPaである。また、その他の主な加工条件としては、ステージ温度を185°Cとした場合に加熱加圧時間が60sec、ステージ温度を195°Cとした場合に加熱加圧時間が30sec、冷却時の温度降下が約56°C(冷却時間:180sec)である。図2に示す金型形状をポリカーボネートフィルムに転写加工し、形成された溝底面に対するリブの高さ寸法をレーザ顕微鏡で測定した結果を図7に示す。転写圧力が増加するとともに、金型の溝形状部分に被加工材料の樹脂が入り込み易くなると考えられ、また、本実験で用いたマイクロ金型の形状では、1MPa以上の転写圧力が必要であることがわかった。ただし、転写圧力が過剰であると材料全体が圧縮されすぎて、フィルムの厚さも変化してしまう可能性や金型の微細形状部分を破損してしまう可能性があることなどに注意する必要があると考えられる。



(a) ステージ温度: 185°C, 加熱加圧時間: 60sec



(b) ステージ温度: 195°C, 加熱加圧時間: 30sec

図7 転写加工のリブ高さとステージ圧力との関係

4. 結 言

金属製薄板を積層させることによって微小リブと微小溝を形成したマイクロ金型を用い、ポリカーボネートフィルムへの熱転写加工の実験を行った。各種加工条件と転写加工状態との関係を調べた結果は以下のとおりである。

- (1) フローテストを用いて、昇温法によって測定したフィルム材料の熱特性評価結果が、転写加工における加工条件の選定に活用できることがわかった。
- (2) ステージ温度が高く、加熱加圧時間が長く、転写圧力が大きい方が、金型の溝形状部分に被加工材料の樹脂が入り込み易いことがわかった。加工時間を短くして加工効率を向上させるためには、温度と圧力を増加させることが重要であるが、金型の破損やフィルム厚さの変化、バリ発生などを考慮する必要があると考えられる。
- (3) ステージ温度 195℃、転写圧力 0.75MPa、加熱加圧時間 30sec、冷却時間 180sec の加工条件で、厚さ 300μm のポリカーボネートフィルムに、幅 20μm、高さ約 85μm の微小リブ・微小溝を転写加工することができた。

参考文献

- 1) 梶高分子学会編：微細加工技術 [応用編]，(株)エヌ・ティー・エス，P.147 (2003)
- 2) 早乙女康典：マイクロ塑性加工-マイクロ塑性加工技術の現状と展望-，精密工学会誌，Vol.69，No.9，P.1221 (2003)
- 3) 前田龍太郎ら：ナノインプリントのはなし，日刊工業新聞社，(2005)
- 4) 山田博之，西村通喜，小松利安，萩原義人，石黒輝男，宮川和幸，勝又信行，佐野正明，吉田善一，寺田信幸：マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究(第1報)，山梨県富士工業技術センター平成 22 年度業務・研究報告，P.70 (2010)
- 5) 小松利安，萩原義人，石黒輝男，宮川和幸，勝又信行，佐野正明，山田博之，西村通喜，吉田善一，寺田信幸：マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究(第1報)，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，No.6，P.55 (2011)