

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)

小松利安¹, 萩原義人¹, 石黒輝雄¹, 勝又信行¹, 宮川和幸¹, 佐野正明¹, 山田博之²,
阿部 治², 吉田善一³, 寺田信幸³

(¹山梨県工業技術センター, ²富士工業技術センター, ³東洋大学理工学部)

要約 マイクロ部品は、材料への直接加工により小ロット製造されていることが多く、この場合、製造コストが高くなるため、今後は微細転写加工による量産化技術が必要になる。しかし、実用化には転写加工条件の最適化等、まだ多くの課題が残されている。そこで、本研究では、樹脂フィルムとガラスに転写加工実験を行い、基本的な加工条件等について確認した。特にガラスの場合、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を使用することで、潤滑・離型性が改善し、さらに、金型を660°C以上に加熱することで転写性が向上することが分かった。

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

Toshiyasu KOMATSU¹, Yoshihito HAGIHARA¹, Teruo ISHIGURO¹, Nobuyuki KATSUMATA¹, Wako MIYAGAWA¹, Masaaki SANO¹, Hiroyuki YAMADA², Osamu ABE², Yoshikazu YOSHIDA³ and Nobuyuki TERADA³

(¹Yamanashi Prefectural Industrial Technology Center, ²Yamanashi Prefectural Fuji Industrial Technology Center, ³University of Toyo)

Abstract A machining of micro parts is often produced in a small lot performed through directly from the material. Therefore, production cost become higher and it is a reason why mass production technology such as transcription molding is needed. However, there are still many problems to be solved. In this study, the basic conditions in order to transcript to plastic film and optical glass were presented. Case of transcription processing of glass, it is improved in mold lubricity and releasability when using the fine powder of ZnO and BN, and transcription when heating mold to 660 degrees or more.

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る傾向にある。このため、今後は微細転写加工による量産化技術の必要性が高まることが予想される。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、ホットエンボス法およびインプリント法等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されている。例えば、マイクロ金型の耐久性や離型性等を含めた品質の向上、材料に応じた転写加工条件の最適化等、これらの課題を解決する必要がある。そこで本研究では、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の流路加工を念頭において、実験を行った。

今年度は、被加工材として樹脂フィルムおよび一般的なガラス板を選び、転写実験用簡易マイクロ金型を用いて、微細直線溝の転写加工実験を行った。

ステンレス製薄板を積層し、複数の微小リブと微小溝を形成できる転写実験用簡易マイクロ金型を作製した。樹脂材料として、ポリカーボネート(PC)フィルムを用いて、転写加工実験を試みた。前報でも、基本的な加工条件の検討を行った⁴⁾が、本研究では、さらに詳細な加工条件について検討を行った。

他方、ガラス板(BK-7相当)に転写加工するには、型を600°C以上に加熱する必要があるため、セラミックス製の型を使用して、微細直線溝の転写加工性を求めた。この時、型にガラ

スが溶着する現象やガラス面でのクラック・割れ等が予想されるため、離型・潤滑剤の検証と、転写性が向上する加工条件について実験を行った。

2. 実験方法

2-1 樹脂フィルムへの転写加工実験

最初に、転写加工時の加熱温度を選定するために、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タを用いて、樹脂フィルムの熱特性を評価した。図1にフローテスタ・シリンダ部構造の概略図を示す。フローテスタでの測定では、ペレット状の試料をシリンダ内に充填するため、ポリカーボネート(PC)フィルムを細かく切断した試料を用いた。上部からピストンに

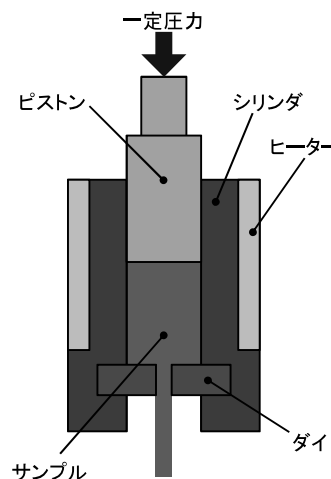


図1 フローテスタのシリンダ部の構造(断面概略図)

表1 フローテストによる主な測定条件

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

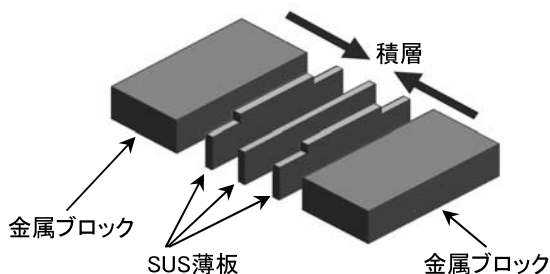
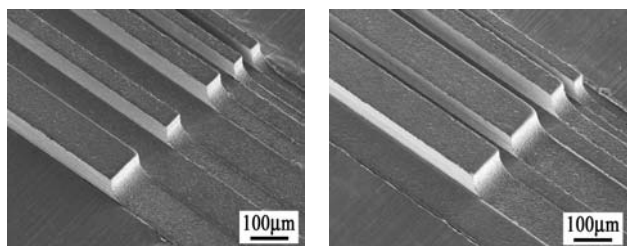


図2 金属製薄板積層によるマイクロ金型の概念図



(a) 金型作製例1

(b) 金型作製例2

図3 薄板積層による転写加工実験用簡易マイクロ金型

よって一定の圧力を加え、周囲から一定の時間比率で昇温させ軟化・熔融させ、その時のピストン移動量や移動速度を測定する昇温法により、材料の固体域や流動域の特性を評価した。主な測定条件を表1に示す。

樹脂フィルムでの実験では、図2に示すように、ステンレス(SUS304H)製薄板を積層し、複数の微小リブと微小溝を形成した転写加工実験用簡易マイクロ金型を使用した⁴⁾。金型形状として、高さが85~100 µm、幅が20・50・100 µmの微小リブを形成し、リブ間隔(溝幅)が20・50・100 µmとなるように薄板を積層した。9枚の薄板を積層した簡易マイクロ金型の電子顕微鏡観察像を図3に示す。リブ端部における曲率半径は50 µm程度と微小なため、転写性の検討に支障はないと判断した。

作製した金型を用いて、厚さ300 µmのポリカーボネートフィルムへの転写加工実験を行った。この時の加工条件を表2に示す。転写加工部分の観察には、走査型電子顕微鏡(株式会社

表2 樹脂フィルムの転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 精密ホットプレス CYPT-L
ステージ	185, 190, 195 °C
制御温度	(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	300 sec



図4 真空精密ホットプレス装置

表3 ガラスの転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 真空精密ホットプレス装置 CYPN-10
転写荷重	800N
保持時間	60sec
加熱時間	1800sec
加熱温度	640, 650, 660, 670°C
転写雰囲気	真空
冷却方法	空冷

製作所製:s-2380N)を、微小リブの高さ測定には、デジタル走査型レーザー顕微鏡(オリンパス(株)製:OLS1100SB)を使用した。

2-2 ガラス板への転写加工実験

ガラス板に転写加工を行うためには、型を600°C以上に加熱する必要がある。そのため、前述した樹脂フィルムの場合とは、実験方法が多少異なっている。まず、使用した型はアルミナ系セラミックスであり、高さ0.1 mm・幅0.1 mmの微細直線リブ形状を有した型を用いた。また、加熱温度が600°C以上となると、試験片や金型等が著しく酸化するため、真空内で転写加工する必要がある。本研究で使用した真空精密ホットプレス装置(新東工業(株)製:CYPN-10)を図4に、転写加工条件を表3に示す。ガラス板はBK-7相当の材質で、寸法が30×30×0.5

mmの試料を使用した。転写加工した微小溝は、非接触で表面形状の測定が可能なコンフォーカル顕微鏡(レーザーテック(株)製:OPTELCICS H1200)で測定した。微小溝を転写加工した場合、加工条件によって、図5に示すような微小溝の端部にだれが発生する。今回使用した金型はセラミックス製なので、微小リブの根元は曲面形状になっている。本研究では、微小溝端部のだれ半径が、金型に近い形状か否かを測定することにより、転写加工性の評価を行った。

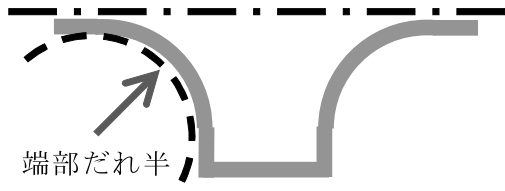


図5 微小溝形状の概念図

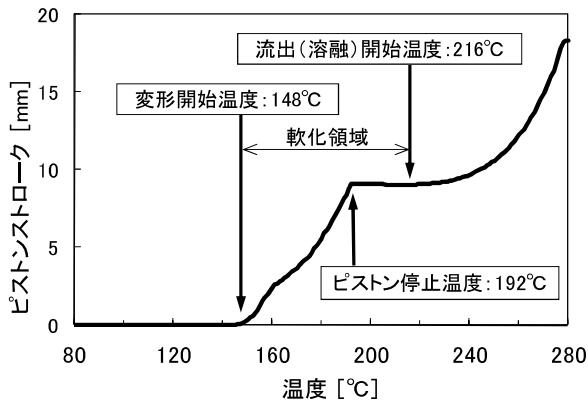
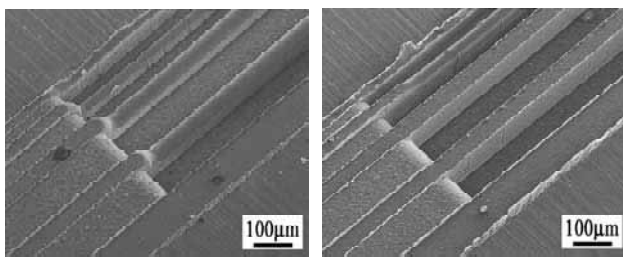
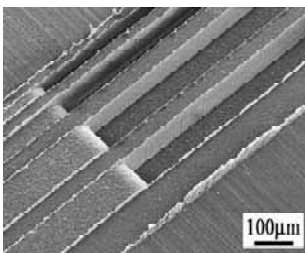


図6 フローテストによる被加工材料の熱特性評価



(a) 加熱温度185°C

(b) 加熱温度190°C



(c) 加熱温度195°C

図7 加熱温度を変えた場合の転写加工

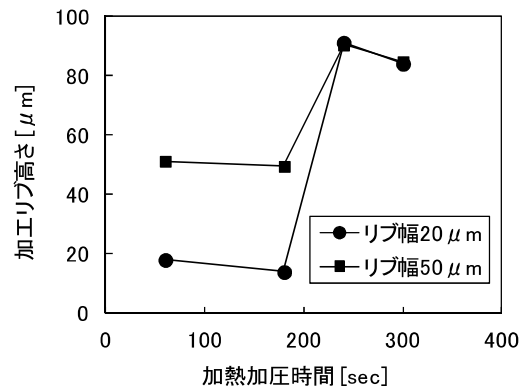
3. 実験結果及び考察

3-1 樹脂フィルムへの転写加工実験

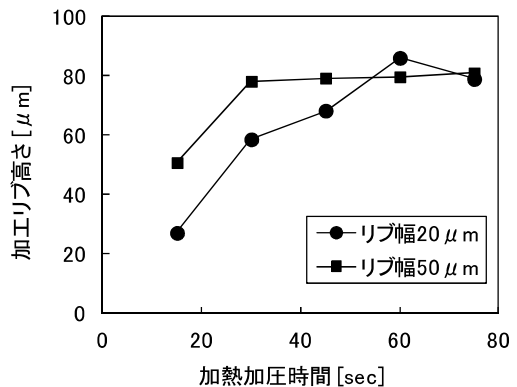
ポリカーボネートフィルムの熱特性測定結果を図6に示す。材料の変形開始温度が約148°Cで、溶融開始温度が約216°Cであるため、材料が軟化状態である温度範囲は68°Cとなる。転写加工時において、変形開始温度に近い場合は転写性が低下し、溶融開始温度に近い場合は離型性の悪化や材料への熱影響が起こる場合等が予想される。そこで本研究では、試料が軟化してシリンダ内に隙間なく圧縮される、約192°C近傍の温度を転写加工条件として、温度条件と転写加工状態との関係を検討した。

次に、加熱温度を185、190および195°Cとした場合の転写加工実験を行った。転写圧力は0.5 MPa、加圧の保持時間は60 sec、冷却時の温度降下は約56°C(冷却時間:180 sec)で一定とした。図2(a)に示す金型形状を、フィルムに転写加工した部分の観察結果を図7に示す。金型の微細形状における空間が広く、アスペクト比(幅:高さの割合)が小さく、加熱温度が高いほど転写性が向上することが分かった。また、本実験条件における転写加工の場合、フローテストにおいて樹脂が軟化してシリンダ内に隙間なく圧縮される192°C近傍は、転写加工性への影響が大きいことも分かった。

次に、金型を樹脂フィルムに押し付けて加熱・加圧する時



(a) 加熱温度185°C



(b) 加熱温度195°C

図8 転写加工のリブ高さと保持時間

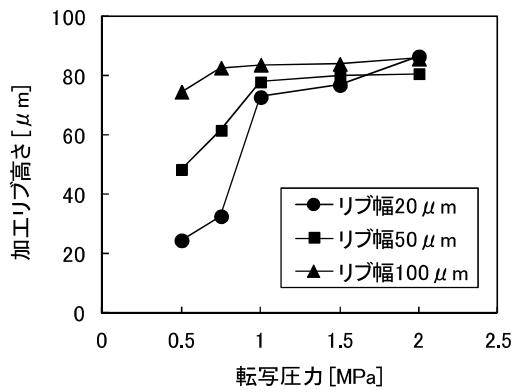


図9 転写加工のリップ高さと転写圧力

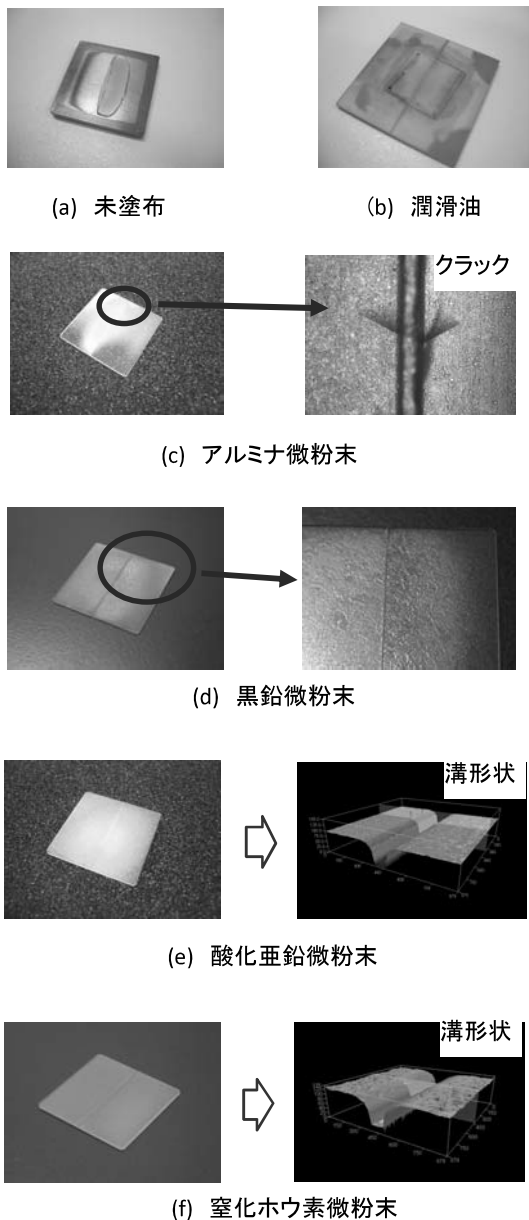


図10 離型・潤滑剤による転写加工後のガラス

間、すなわち加工ステージの保持時間と転写加工状態について実験した。加熱温度を185および195°C、保持時間を15~300 secと変化させた。転写圧力は0.5 MPa、冷却時の温度降下は、約56°C(冷却時間:180 sec)である。転写加工された溝底面に対する微小リップの高さを測定した結果を図8に示す。加熱・加圧の保持時間が増加すると、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傾向にある。また、加熱温度が高い方が、リップ形状の転写に必要な時間が短いため加工効率は高まるが、バリの発生等が懸念される。

最後に、金型と材料を圧縮する荷重、すなわち転写圧力が及ぼす影響について実験を行った。転写圧力は0.5~2.0 MPaとし、加熱温度を185°C、保持時間を60 sec、冷却時の温度降下を約56°C(冷却時間:180 sec)とした。溝底面に対する微小リップ高さの測定結果を図9に示す。転写圧力が増加すると、金型の溝形状部分に樹脂が入り込み易くなり、本実験で用いたマイクロ金型の形状では、1 MPa以上の転写圧力が必要であることが分かった。ただし、転写圧力が過剰であると、フィルム厚さの変形や、金型破損の可能性等が考えられる。

3-2 ガラス板への転写加工実験

ガラス板への転写においては、ガラスの溶着が予想されるため、型等に塗布する離型・潤滑剤について検討を行った。その実験結果を図10に示す。型の加熱温度は660°Cで一定とした。

図10(a)・(b)に示すように、未塗布の場合や機械類に通常使用する潤滑油では、型にガラスが溶着した。型を高温に加熱するため、油性潤滑剤は炭化、水溶性潤滑剤は蒸発して、その機能が失われるものと考えられる。よって、本実験に適した離型・潤滑剤として、耐熱性に優れた固形潤滑剤を選択した。

そこで本実験では、固形潤滑剤として、アルミナ・黒鉛・酸化亜鉛・窒化ホウ素の微粉末を使用した。各微粉末の粒径は1~5 μm程度で、厳密に分級されていないが、溝形状の寸法と比較すれば無視できるレベルと考えた。実験結果を図10(c)~(f)に示す。アルミナ微粉末を用いた場合は、ガラス内部にクラック

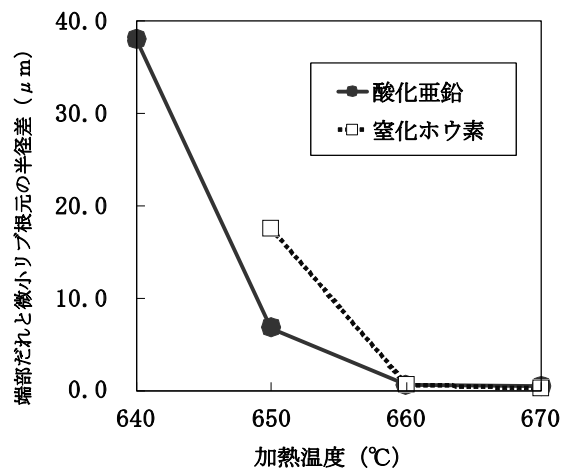


図11 端部だれ半径に対する加熱温度の影響

クが発生した。また、黒鉛微粉末の場合は、転写加工後のガラス表面の汚れが除去しにくいことが分かった。他方、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を用いた場合は、離型性が良く、両方とも固形潤滑剤として適していることが分かった。

次に、金型の加熱温度に対する、転写性の影響について実験を行った。固形潤滑剤として、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を用い、その実験結果を図11に示す。縦軸は、微小溝の端部だれ半径と、セラミックス型の微小リブ根元の曲率半径との差を示す。加熱温度が660°C以上になると、微小溝の端部だれ半径が、セラミックス型の微小リブの根元曲率とほぼ同じ値となるため、セラミックス金型の形状が十分ガラスに転写されることが分かった。また、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末による転写性の差異は、殆ど確認できなかった。なお、窒化ホウ素微粉末の640°Cでのデータは、転写加工終了時点で、既に試料が破損したため、測定できなかった。

4. 結 言

樹脂フィルムとガラス板に転写加工性実験を行い、各種加工条件と転写加工性との関係について検討を行い、得られた結果は以下のとおりである。

- 1) フローテスタによる昇温法で、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有効であることが分かった。
- 2) 加熱温度と加圧保持時間が長く、転写圧力が高い場合に、金型の溝形状部分に樹脂が入り込み易いことが分かった。加工効率の向上には、加熱温度と転写圧力の増加が重要であるが、金型の破損やバリの発生等が懸念される。
- 3) 固形潤滑剤として、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を用いた場合は、離型性が向上し、転写加工に有効なことが分かった。
- 4) 型の加熱温度が660°C以上になると、ガラスの転写性が向上することが分かった。

参考文献

- 1) (社)高分子学会編:微細加工技術[応用編], (株)エヌ・ディー・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) 小松利安, 萩原義人, 石黒輝雄, 宮川和幸, 勝又信行, 佐野正明, 山田博之, 西村通善, 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.8, P.55 (2011)