451 ホットエンボスによる精密微細成形に関する研究 —マイクロ流体チップの嵌め合い式シール法の試み—

Study on Precision Micro-forming using Hot Embossing

—Attempts for Sealing Microfluidic Chip by Fit of cover on Basal Plate—

正 平 晋一郎 (山梨大) ○ 楊 斌 (山梨大) 小川 達也 (山梨大)

Shin-ichiro HIRA, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Bin YANG, University of Yamanashi

Tatsuya OGAWA, University of Yamanashi

Key Words : Microchannel, Double-stage hot embossing, New sealing method

1. はじめに

今日、微細加工技術の進歩によりマイクロ流体チップの研究開発が行われ、医療分野などへの応用が期待されている。マイクロ流体チップは、バイオや化学分析(システム)をマイクロスケール化する目的で、溶液の混合、反応、分離、精製、検出などの要素機能を基板に集積化したものである。マイクロ流体チップで気体あるいは液体などの試料を取り扱うとき、流路などの構造から試料が漏洩しないように基板を密閉しておかなければならない(試料の出入り口を除く)。そのため、基板上にフタなどを接合することによって密閉する必要がある。本研究では、基板とフタを嵌め合わせることで基板を密閉することを提案する。

図1にフタおよび基板の作製手順を示す。フタは、基板と同じパターンの凹状構造が加工されたフタ用モールドを使って、熱可塑性プラスチック材料1にホットエンボス加工を施して作られる。一方、基板の作製では、まず基板用モールド(マスターモールド)を使って、熱可塑性プラスチック材料2にホットエンボス加工を施して、基板の構造が反転した凸状構造の成形品が作られる。次にこれをモールド(中間モールド)として熱可塑性プラスチック材料3にホットエンボス加工を行い、マスターモールドと同じ構造をもった基板を作製することができる。基板作製の一連の成形法を、2段階ホットエンボスと呼んでいる。これらの作製において、フタ基板の凸部高さを基板の凹部深さよりも小さくすることで、嵌め合わせたときに流体搬送用の適当な空間をもたせることができる。こうして作製されたマイクロ流体チップを使い、液体試料による漏洩検査を実施して嵌め合い式シール法の有効性について検証した。

Fig.1 Manufacturing procedures of cover plate and basal plate

2. マイクロ流体チップおよび中間モールドの材料

フタおよび基板の材料(図1中の熱可塑性プラスチック材料1および3)として、光透過性の高いポリメタクリル酸メチル(PMMA)を選択した。基板の作製では、第2段階ホットエンボスに使われる中間モールドの材料にも、熱可塑性プラスチック材料2が使われるが、このとき材料に要求される性質は、基板材料のPMMAよりも融点やガラス転移温度が高いことやホットエンボスの際の加熱された温度においても強度が高いことなどである。そこで、これらを満たす材料の一つとして、ポリカーボネート(PC)を選んだ。PMMAおよびPCの諸性質を表1に示す。

Table 1 Property of PMMA and PC

Thermoplastic material	PMMA	PC
Compressive strength [MPa]	15~24	81
Flexural modulus [MPa]	3000	2300
Glass transition temperature [°C]	115	150

3. フタおよび基板の作製

本実験で用いたフタ用モールドおよび基板用モールドは、幅30mm×長さ30mm×厚さ1mmの黄銅板で、板の片面に直径0.2mmのスクエアエンドミルを使って図2に示す形状の溝を加工した。図中の上下にある円形部は試料の出入口であり、それらの間の直線部はマイクロチャンネルである。できあがったフタ用モールドと基板用モールドの出入口の直径と深さ、マイクロチャンネルの幅と深さをカラーレーザー顕微鏡によって測定した結果を表2に示す。表中の測定値は各構造の複数箇所の測定値を平均したものである。

Fig.2 Mold for cover plate and basal plate

Table 2 Diameter or Width, Depth of microstructure in mold

Mold	Structure	Diameter/Width [μm]	Depth [μm]
Mold for cover	Inlet	592	214
	Outlet	598	227
	Microchannel	292	224
Mold for basal plate(master mold)	Inlet	594	498
	Outlet	585	509
	Microchannel	291	507

フタ用モールドのマイクロチャンネルでは幅は約 10 μ m、深さは約 5 μ m 程度のバラツキがあり、基板用モールドでは幅は約 6 μ m、深さは約 2 μ m のバラツキがあった。もし仮にこれらのモールドを使って、全く加工誤差なくフタおよび基板を作製したとしても、上述のようにバラツキがあれば、フタと基板を嵌め合わせても当然隙間が生じるから、流路を密閉することはできない。しかし、多少の加工誤差によって、フタと基板の嵌め合わせが“しまりばめ”になれば、密閉できると考えて、これらのモールドを使用することにした。

これらのモールドを使って、図 1 に示した手順でホットエンボス加工を行い、フタおよび基板を作製した。表 3 にフタ作製の加工条件を示すが、ホットエンボス加工では、加熱温度が最も加工精度に影響する。そこで、適合温度を調べるため、145~165 $^{\circ}$ C の範囲で温度を変えて実験を行った。その他のプレス圧力および保持時間については、過去の実験結果を参考に決定した。

Table 3 Conditions for manufacturing of cover plate

Molding material	Heating temperature [$^{\circ}$ C]	Pressure [MPa]	Holding time [min]
PMMA	145, 155, 165	9.4	3

作製されたフタおよび基板の構造の各部寸法を測定し、各構造の転写精度を評価した。以下にフタの転写精度の評価方法を示す。

フタの直線凸部の転写率(幅または高さ)=(フタの直線凸部の幅または高さ/フタ用モールド直線凹部の幅または高さ) $\times$ 100%

フタの出入口凸部の転写率(直径または高さ)=(フタの出入口凸部の直径または高さ/フタ用モールド出入口凹部の直径または高さ) $\times$ 100%

なお、基板作製における第 1 段ホットエンボスによる中間モールドの成形構造の転写性についても同様に評価し、最終成形品の基板についても基板用モールドを基準にして同様に転写率を求めて評価した。

Fig.3 Replication ratio of cover plate

図 3 は、作製されたフタの転写精度であり、(a)は各構造の高さの転写率を示し、(b)は、幅/直径の転写率を示している。これらによると、加熱温度が高いときほど各転写率が高くなり、良好な結果となっていることがわかる。また、同様に中間モールドおよび基板についても、先述の転写率

によって適合加工条件を調べた。それぞれの結果を表 4 に示す。

Table 4 Suitable conditions for intermediate mold and basal plate

Molding product	Molding material	Heating temperature [$^{\circ}$ C]	Pressure [MPa]	Holding time [min]
Intermediate mold	PC	185	11.3	1
Basal plate	PMMA	145	9.4	3

なお、二段ホットエンボスで作られた基板の各構造(出入口およびマイクロチャンネル)は、上(開口)側の直径または幅が下(底)側のそれよりも大きくなったため、上と下の直径または幅を測定し転写率を求めた。フタおよび基板の各構造の寸法の平均値を図 4 に示す。寸法線の上に記入された値は直線部(溝)の測定値で下は出入口の測定値である。

Fig.4 Measured values of each microstructure

このように出入口およびマイクロチャンネルの上部直径および幅の値は、フタの各部の幅や直径の値よりも大きい。また、基板各構造の下(底)側がほぼ直線的に小さくなっていることから、フタを嵌め合わせるときのフタ凸部の高さに一致する基板凹部の直径および幅の値も、フタのそれらの値よりも大きい。このことは、この条件で作られたフタと基板の嵌め合いが、すきまばめであることを示しており、フタおよび基板の嵌め合いでは流体が漏洩すると思われる。これを確認するため、以下の漏洩試験を行った。

液体の流路への搬送にはマイクロシリジポンプを使用し、基板の裏側から出入口に直径 0.5mm の穴をあけてチューブをつなぎ、1 μ l/min の一定流速で液体を注入した。液体には漏洩が明瞭に認められるよう、インクジェットプリンタ用のインクを使用した。この結果、図 5 に示すように、予想したとおり流路の出入口をはじめ、マイクロチャンネルのいたるところで漏洩が認められた。

Fig.5 Image of leak examination

4. おわりに

基板とフタの嵌め合いによるマイクロ流体チップの密閉を試みた結果、二段ホットエンボスによって作られる基板の成形精度が低く、液体を漏洩なく流すことができなかった。今後は、少なくとも基板とフタの嵌め合いが、しまりばめになるようにして、本提案の実現に向けて取り組む。