
断熱スタンプの開発

Development of heat insulation stamper for CD-R media production

村田 省蔵*
Shozo MURATA

伊藤 雄二*
Yuuji ITOH

伊藤 英徳*
Hidenori ITOH

要 旨

CD-Rメディア製造時の射出成形のサイクルタイムを短縮するために、断熱スタンプを開発した。これは、スタンプ内部に断熱層を有する構成であり、成形時の熔融樹脂充填時に、樹脂から与えられる熱伝達を断熱層で遮断させることで、スタンプの転写金属層に蓄熱させることができる。その結果、微細凹凸パターンの転写性に寄与する充填初期段階(～0.1sec)のスタンプ表層温度を高温に維持することで、優れた転写性を達成した。断熱スタンプによる転写性の確保、さらに低温金型との組み合わせにより、型開きまでの冷却時間を短縮することで、CD-Rメディアの製造タクト短縮30%以上を実現した。

Abstract

Heat insulation stampers were developed in order to shorten the injection-molded cycle time of CD-R media production. This is constitution having the heat insulation layer in the stamper inside. In the molten resin filling up in molding, the heat insulation layer can save given heat from resin. Then, in the filling up initial stage (around 0.1 second interval) contributing to transcription property of minute preformatting patterns, surface layer temperature of this stamper is kept a high temperature and good transcription property of the patterns is able to be achieved. Moreover combining heat insulation stamper and low temperature movable die, the injection-molded cycle time shortened less than 70%, comparing with using normal stamper.

* 研究開発本部 生産技術研究所
Research and Development Group
Manufacturing Technology Research and Development Center

1. 背景と目的

光ディスクメディア市場は、世界的需要が急速に拡大しており、有望な事業である。反面、多数のディスクメーカーの参入により、コスト競争が熾烈を極めていいる。コストダウン活動の一つに、ラインタクトの短縮による固定費削減があり、現在、律速となっている基板成形タクトを短縮する必要が生じてきた。

2. 技術

2-1 成形タクト短縮への課題

成形タクト短縮を考えるにあたって、基板に求められる特性である転写性、複屈折、機械特性を満足させるように、成形タクトを短縮しなければならない。その中で、転写性と成形タクト短縮の関係を考察すると、成形タクト、すなわち樹脂の冷却時間を短縮することと同時に、十分な転写性を確保しなければならない。一般的には、Fig.1に示すように、成形効率(成形タクト)と転写性は、金型温度に対してトレードオフの関係にある。

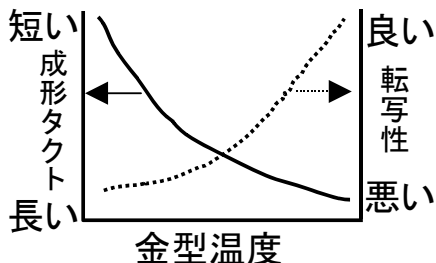


Fig.1 The relation between molding efficiency and transcription nature as opposed to die temperature

そこで、考察を進める上で以下の2点に着目した。

- ① 光ディスクの金型であるスタンプに対して、高温で樹脂を接触させたい¹⁾²⁾。
(樹脂充填直後はすぐに樹脂を冷却させたくない)
- ② 樹脂充填が完了したら、基板厚みの中央部まで急冷却したい。

上記①、②を満足させるためにスタンプに工夫をすることを発想し、断熱スタンプの構想を得た。

2-2 断熱スタンプの発想と原理

断熱スタンプは、スタンプの微細凹凸パターンのある転写金属層の下に低熱伝導率材料からなる断熱層を形成し、さらに金属層でサンドイッチされた構造である³⁾⁴⁾⁵⁾。Fig.2に見られるように、断熱スタンプを用いた場合、熔融樹脂充填時にスタンプへ与えられた熱が断熱層で遮断され、スタンプと接触する部分の樹脂の冷却が遅れる。その結果、微細パターンへ樹脂が充填されやすくなり、高い転写性が得られる。また、スタンプや鏡面金型(スタンプの対向側の金型)から最も遠い位置にある基板厚みの中央部の温度は、充填初期はスタンプの断熱効果により、標準スタンプより温度が高い。しかし、樹脂からの熱伝導により、転写金属層での吸熱が飽和すると、断熱層を介して一気に金型側へ放熱される。この時、断熱層をもたない標準金型と比較すると、低温に設定可能なスタンプ側金型および鏡面金型により、高い急冷効果が得られる。その結果、基板が離型可能である熱変形温度以下に到達する時間が短縮できることで、成形タクトの短縮が達成されると想起した。

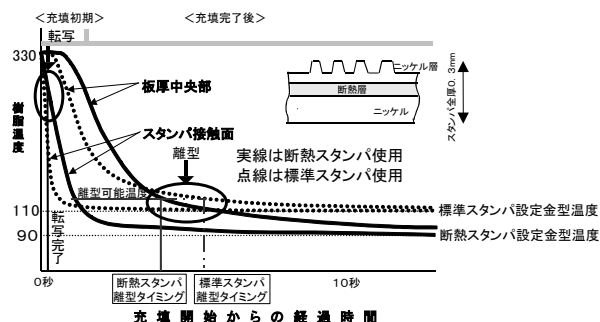


Fig.2 A molding resin temperature descent model of a case with the use of insulation stamper

2-3 断熱スタンプの構成(シミュレーションモデル)

断熱スタンプの断面層構成をFig.3に示す。断熱層が、転写金属層と金属層でサンドイッチされた構造である。

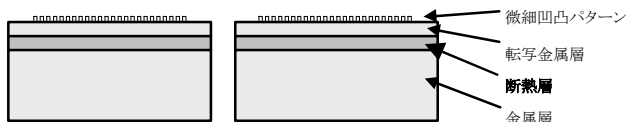


Fig.3 Stratrum constitution section image of heat insulation stamper

Fig.3に示した層構成により、熱伝導シミュレーションを

実施し、断熱スタンパの効果検証及び、断熱材料選定の絞り込みを試みた。

2-4 断熱材料の選定

2-4-1 有限要素法による材料シミュレーション

有限要素法による熱伝導解析シミュレーション(非線形汎用構造解析プログラム：MARC)により、成形タクトの短縮が可能な材料を抽出する。特性値は、

- ①転写温度(樹脂充填開始から0.1sec後の基板表層温度；標準スタンパを用いた場合の転写温度が目標値)
- ②成形タクト(樹脂が熱変形温度以下に冷却されるのに要する時間；標準スタンパを用いた場合の成形タクトが目標値)

である。金型温度は、断熱スタンパを用いる場合、標準スタンパに比べて20℃低くして計算した。結果をFig.4, 5に示す。

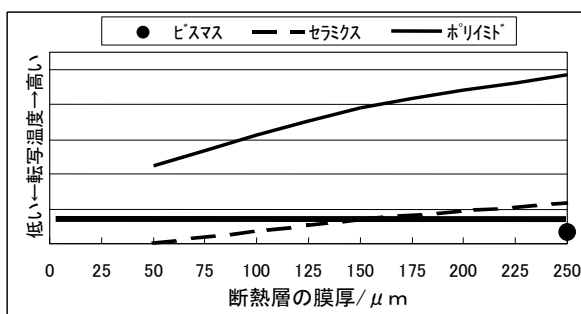


Fig.4 Relation between thickness of heat insulation layer and transcription temperature

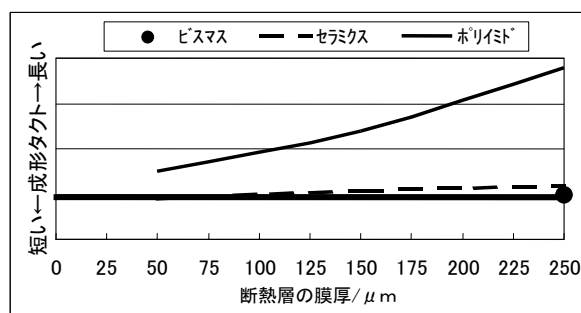


Fig.5 Relation between thickness of heat insulation layer and molding cycle

シミュレーションの結果、十分な転写性を確保しながら、成形タクト短縮を達成できる断熱材料としてはポリイミド、その膜厚は20 μm程度が最適との計算結果を得た。

2-4-2 断熱材料系の実験による選定

前記シミュレーションと並行して、金属系(ビスマス；金属で最低熱伝導率)、無機高分子系(セラミクス)、有機高分子系(ポリイミド)材料において、選定実験を行った。

ビスマスは、ニッケル金属に対する密着性は強固であったが、表面粗さはニッケルの数倍、剛性はニッケルの1/7程度であった。ビスマスめっき後にニッケル金属層を積層する場合、ビスマスめっき面の粗さの上にニッケルが積層されるため、めっき面があれ過ぎて、研磨工程で鏡面化できないことも考えられる。すなわち、ビスマスめっきの研磨工程自体にも新たな技術課題が発生する。

セラミクスは、成膜の際に1500℃以上の焼結温度が必要であり、ニッケルやガラス基板が溶融する。また、焼結品を使用する場合は、別に接着剤が必要となるが、300℃以上の耐熱性接着剤は、現状では入手不可能である。

ポリイミド系は、熱伝導率が極めて小さく、強い断熱効果が期待される⁶⁾。また、ワニス形態での入手が可能であり、接着剤としての機能も有するので、膜厚の自由度が確保でき、密着性も良さそうである。材料メーカーより、塗布形成可能なポリイミドおよびポリアイミド系ワニスを購入して、塗布実験を実施した。選定実験結果及び、プロセスアプライアンス性比較による材料の方式選定表をTable 1に示す。

シミュレーションおよびTable 1より、断熱材料としてポリイミド系が有望である。

Table 1 System choice list of insulation materials

	金属系	無機高分子系	有機高分子系
密着性	◎	—	○
熱伝導率	△	○	◎
剛性	○	○	○
プロセスのアプライアンス	△	×	◎
総合評価	△	×	◎

2-4-3 有機高分子材料系での選定実験

2-4-1, 2-4-2で、有機高分子材料系の絞り込みを行った。

ここでは、断熱層に最適な材料の最終選定について述べる。材料メーカーより、塗布形成可能なポリイミド系ワニスおよび技術資料を入手して、スピンコート法による塗布実験を実施し、密着性も含め調査した(JIS K5400 100/100)。その結果をTable 2に示す。

Table 2 Physical properties and the result of an evaluation of heat insulation materials

材料名	ポリイミド	ビスアリルナジイミド	ポリアミドイミド	
商品名	A	B	C	D
熱伝導率(W/m・K)	—	16.4	—	—
線膨張係数(×10 ⁻⁵)	4	5.15	—	2.8
粘度(cp)	4300	2.5	3055	25000
分子量(g/mol)	—	570	—	—
塗布性	良好	低分子量で成膜不可	欠陥多い	良好
密着性	88/100	—	100/100	100/100
総合評価	△	×	○	◎

以下に各材料について簡単に記す。

材料Aは、ポリイミドの前駆体であるポリアミド酸溶液をスピンコートで成膜するが、溶媒の揮発やイミド化反応で発生する水分により、加熱キュア時あるいは硬化時に発泡する場合がある。これを避けるためには発泡温度以下で徐々にキュア後硬化させるか、薄く塗布—加熱キュアあるいは硬化を複数回繰り返すことが必要である。塗布性は良好であったが、繰り返し塗布により積層しなければ所望の膜厚が得られず、各層の膜厚ばらつきが塗布回数分、重畳する。また、キュアが少なくとも3段階必要で、工数が多く、リードタイムが長くなるという短所ももつ。

材料Bは、モノマータイプのイミド樹脂で、低粘度および分子量が小さいため、成膜が困難である。

材料Cは、密着性は良好であるが、溶液中で不溶性の分子量の高い物質がゲル化(Photo 1)し、塗布時の流れ不良や、はじき欠陥(Photo 2およびFig.6)が発生した。

材料Dは、メーカーサイドでプレフィルタリング(ポアサイズφ30μm)や、脱泡処理を実施してから出荷しているため、ゲル状不溶物や、はじき欠陥は発生しない。

以上のことから、メーカー出荷時に品質管理されている

材料Dを選定した。

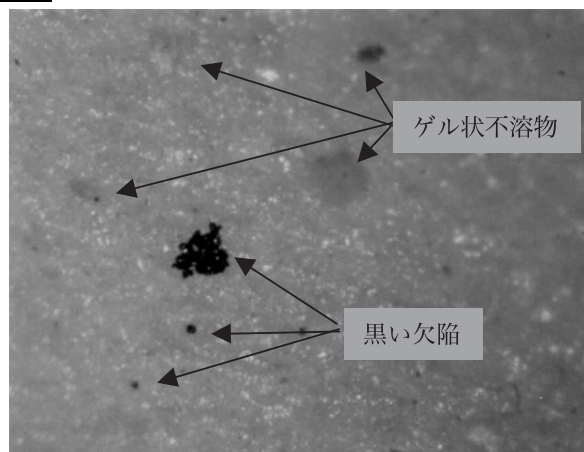


Photo 1 Image of gel-shaped or black-colored defect

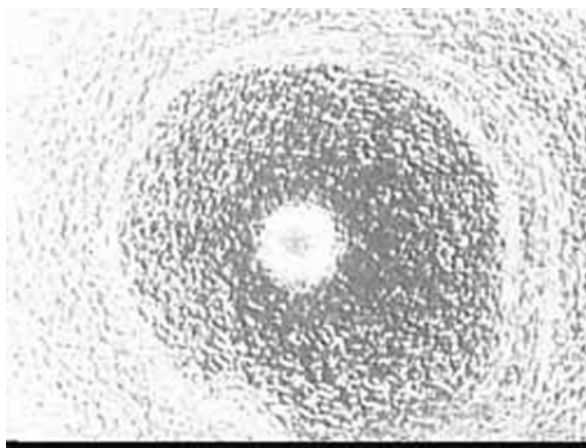


Photo 2 Image of a dent defect having a nucleus

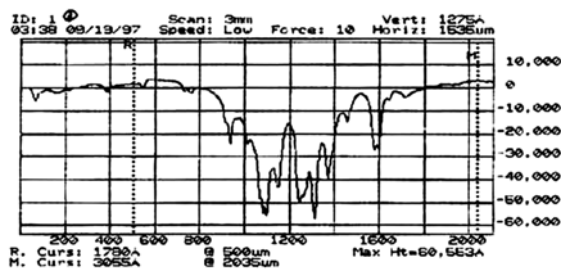


Fig.6 Cross section profile of a dent defect having a nucleus

2-5 ポリアミドイミド系断熱材料Dのプロセス条件設定

2-5-1 塗布方式の検討

材料Dが25000cpsと高粘度のため、ディスペンサーコートや、回転させながらディスペンスする方法では、均一な塗膜

が得られない。そのため、中心部から一定量を滴下し、記録エリア最外周(半径60mm近辺)まで低速回転で転延させた後、所望の膜厚を得る回転数に上げる方法を採用した。Photo 3に見られる目視上欠陥のない塗膜が得られ、100℃、30分のキュアにより断熱層形成が完了した。なお、当材料のポリアミドイミドは、N-メチル-2-ピロリドン(NMP)溶媒に溶解させている。NMPの沸点は200℃であるが、200℃でキュアすると金属母型・断熱スタンプの転写金属層界面での密着が強固となり、剥離不良によりスタンプの変形が発生した。そこで、キュア温度の水準を振った結果、前述条件において安定に剥離できた。

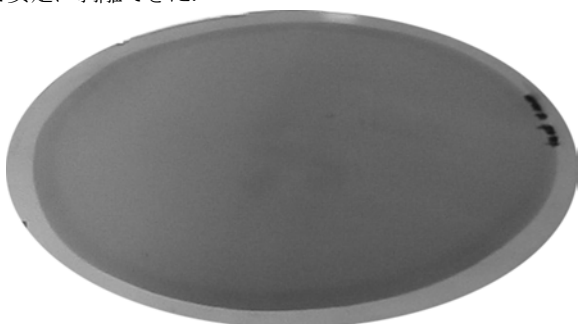


Photo 3 The coating appearance of the heat insulation layer

2-5-2 膜厚管理方法の検討

断熱材料成膜後の膜厚管理は、マイクロメーターなどの接触式計測ではなく、非接触、非破壊測定が望まれる。

断熱層がある程度の透過率を持つこと、および断熱層を塗布する転写金属層の表面粗さが小さく、転写金属層・断熱層界面から十分な戻り光が得られることを利用し、2焦点検出による表面形状測定顕微鏡による膜厚測定を試みた。

その結果、マイクロメーターでの測定値に対して高い相関(Fig.7)が得られ、当装置での断熱層の膜厚管理が可能となった。当装置を用いて実際の断熱層の膜厚分布を評価した結果をFig.8に示す。スピコート法では円周方向に比べて、半径方向の方が膜厚ばらつきが発生しやすい。実験の結果、半径方向において、標準偏差 σ /平均値 χ の値は、5%以下が得られている。

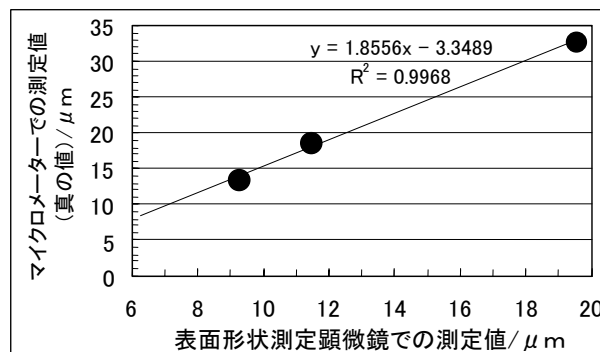


Fig.7 Relation between measured value by a surface shape measurement microscope and micrometer

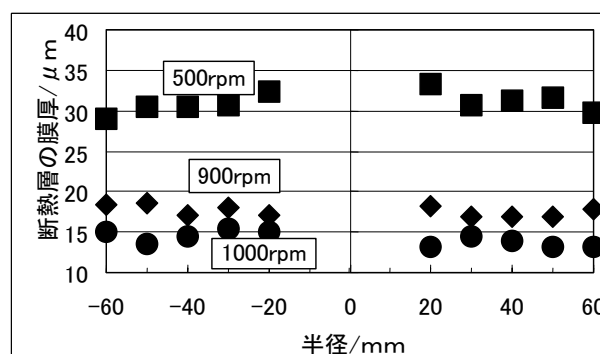


Fig.8 Thickness distribution of the heat insulation layer

2-6 断熱スタンプの製造フロー

Fig.9に断熱スタンプの製造フローを示す。金属母型に対して、転写金属層めっき、断熱層形成、メタライズ処理、金属層めっきを実施する。金属母型から剥離すると、300μm厚みの断熱スタンプが得られる。断熱スタンプの断面写真例を、Photo 4に示す。

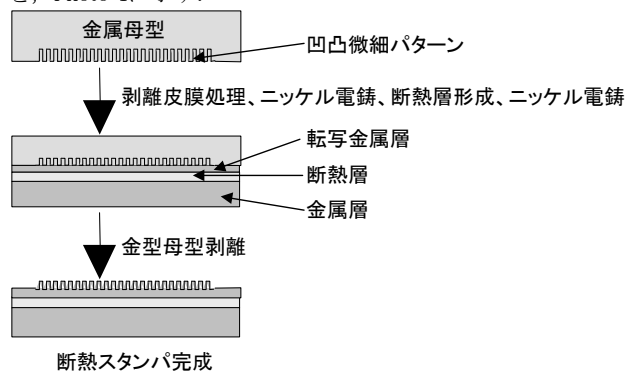


Fig.9 Production flow of heat insulation stamper

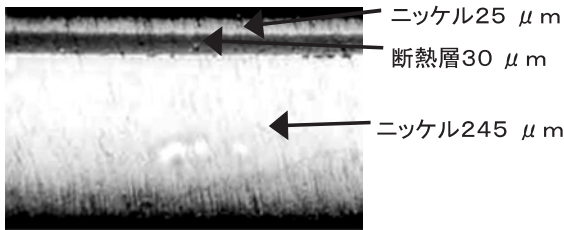


Photo 4 A longitudinal section image of heat insulation stamper

2-7 断熱層の膜厚最適化

Fig.3で示した各構成層の最適化を行った。転写金属層の膜厚は、シミュレーション結果および、成形時の圧縮力に対して剛性を持たせるため、 $25\mu\text{m}$ とした。ポリアミドイミド系材料Dの膜厚をパラメーターにとり、成形基板の転写性を評価した。なお、成形条件は

- ・樹脂温度： 340°C
 - ・スタンパ側金型温度：
 - 標準スタンパの金型設定温度 -50°C
 - ・スタンパ側金型と鏡面側金型との設定温度差： 20°C
 - ・成形タクト：標準スタンパ使用時の $2/3$
- である。

断熱層の膜厚とグループ転写率との関係をFig.10に示す。ここで、グループ転写率とは、最内周のグループ深さを100%として換算したものである。

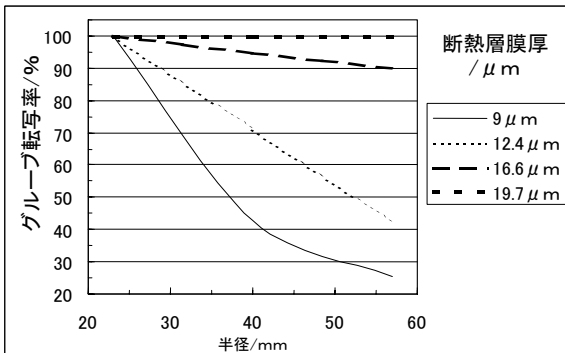


Fig.10 Relation between thickness of heat insulation layer and transcription rate

断熱層の膜厚を厚くしていくと、外周の転写性が向上して内周とほとんど変わらなくなり、膜厚 $19.7\mu\text{m}$ で転写性十分の基板が得られた。

以上のことから、断熱スタンパは標準スタンパより金型

設定温度を 50°C 低くすることで、成形タクトを $2/3$ に短縮できる。また、標準スタンパ以上の転写性が実現できることを明らかにした。

なお、基板の機械特性や複屈折は、断熱スタンパ側のみでは制御できず、基板両側での熱容量をうまくバランスさせる必要がある。本報告では記述していないが、成形条件の最適化(スタンパ/鏡面金型間の温度差を付けること)で、所望の機械特性、複屈折が得られている。

3. まとめ

ポリアミドイミド系材料Dを断熱層として、ニッケルでサンドイッチした断熱スタンパを開発することで、成形タクトを $2/3$ に短縮することができた。

謝辞

本技術紹介にあたり、有限要素法による断熱シミュレーションに関しては生技研第二生シスセンター、スタンパ・成形実験に関してはPMMC事業統括センターの方々に多大なご指導、ご協力いただきましたことを、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 安原鋭幸；Transaction property of fine surface by using direct heating stamper in injection molding；成形加工' 96, pp.193~194 (1996)
- 2) 中村千明；The development of instantaneous heating technology on cavity surface of mold；成形加工シンポジウム' 94
- 3) Thomas Hovatter et al.；Optimizing Pit replication Through Managed Heat Transfer；GE Plastics (GEプラスチックの技術レポート)
- 4) 石見浩之；射出成形用低圧作動高機能システム金型—その機能と成形効果—；成形加工' 97, pp.123~127 (1997)
- 5) 石見浩之；射出成形用超低圧作動・高機能金型システム；成形加工シンポジウム, pp.52~55 (1994)
- 6) 梶田幸宏；Adherence properties between metal surface and thermal insulating layer；成形加工' 99, pp.199~2000 (1999)