

光造型法を活用した射出成形用簡易金型の開発*

町田 俊一**、小林正信**、米倉勇雄***

プラスチック射出成形用金型を、鑄造により製作する方法を開発した。光造型装置で製作した精密原形に電鍍処理することで、表面形状を転写した金属薄膜を製作し、鑄造で一体化した。プラスチック射出試験を行い、簡易金型としての実用性を検討した。

キーワード： 光造型法、電気鑄造、簡易金型

Development of Injection Mold by Electro - Forming and Casting Method

MACHIDA Toshikazu, KOBAYASHI Masanobu and YONEKURA Isao

Metal mold for plastic injection is developed by new method. Firstly the surface shape of model which made with stereo lithography is copied to metal by copper electro - forming. Then by casting, copper shell is unit with molten metal. As a result of having examined plastic injection, usefulness as a metal mold is confirmed.

key words : stereo lithography, electro - forming, metal mold

1 結 言

現在プラスチック射出成形用に使われている金型は、一般的に切削加工または放電加工で製作されている。しかしこの加工方法は、加工時間がかかり、コストも高い。本研究では、プラスチック射出成形用簡易金型を、光造型装置活用により簡易に作成し、その樹脂原形精度を維持した金型を電鍍と鑄造によりバックアップすることで製造する方法を検討した。この技術開発は従来の切削加工による金型製作に比べ同等の精度の確保は困難であるが、時間短縮の点で大きなメリットを持ち、特に製品開発時に使用する試作金型等では、低コスト・短期間で製品提案や製品のサンプル生産を行える大きな利点がある。

2 研究方法

研究では、実験用金型原形的设计・製作から、完成した金型のプラスチック射出成形試験までの一連の研究を行った。本研究で開発する金型は、通常使用される金型の代用品としてプラスチック射出成形装置で使用できるものでなければならないため、当センター所有のプラスチック射出成形機の仕様より、表1に示す金型性能目標値とした。

表1 開発する金型の性能目標値

射出圧 (kgf/cm ²)	射出温度 (°C)
2000	200~280

2-1 CADによる金型原形設計

3次元CAD (Alias) により、今回の研究に用いる試験製品形状を設計した。

2-2 光造型による金型原形の作成

完成したCADデータをSTL形式で出力し、光造型装置で原形を作成した。また、造形時間短縮のため、樹脂厚さを0.6~1.0mmとし、原形内部は中空にした。

2-3 電鍍

2-3-1 電鍍前処理

2-2で作成した樹脂原形全面に電鍍により金属を積層させ樹脂原形を取り除き雄雌型の表面とする(図1)。最初に樹脂原形に導電性を持たせるための前処理を行った。前処理は、基本的に樹脂原形表面を良電導素材で覆うことで良いと考え、2液硬化型のエポキシ樹脂をバインダーとして金属箔(今回は金箔を使用)を貼り付けたものと、ニッケル微粉末混合電導性スプレーを均一に吹付けたものを用いた。

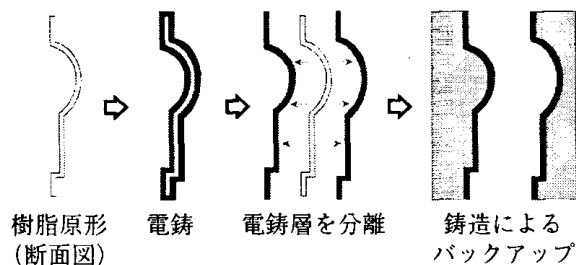


図1 電鍍による金型製作(概念図)

2-3-2 銅電鍍

電鍍できる金属は多種あるが、電鍍層の形成される速度や金属の融点を考慮し、銅の電鍍を行うこととした。

電鍍は銅電解メッキと同じ原理である。銅電鍍に使用した溶液は、表2に示す成分の液を調合した。電鍍の電極には厚さ3mmの銅板を樹脂原形のサイズに切断し使用

* 特定中小企業集積支援技術開発事業、** 木工特産部、*** 金属材料部

した。電鍍は図2の装置により行った。電流及びメッキ時間は樹脂原形の表面積より算出し、直流3.6Aで55時間処理した。処理後の原形は、緑を切断し、アセトン処理により樹脂と電鍍層を分離した。

表2 銅電鍍に用いた溶液成分

銅電鍍溶液原材料	配合量
水	18 l
硫酸銅	1750 g
硫酸	500 ml

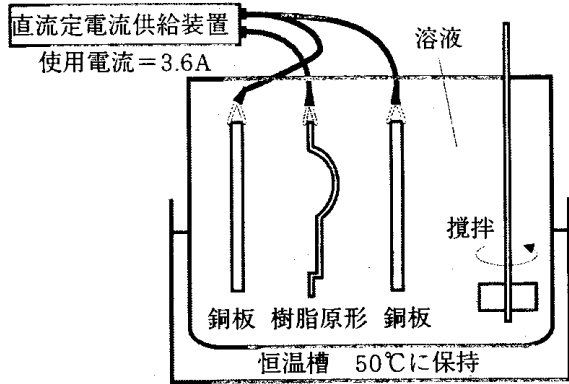


図2 銅電鍍装置

2-4 電鍍バックアップのための鑄造条件

電鍍層に金型としての強度補強のため、鑄造によるバックアップを行った。また、鑄造の際の適正な鑄造条件の抽出を行った。

2-4-1 鑄造温度の検討

鑄造温度の影響を見るため、同一材料で、溶解温度を変えて鑄造試験をした。試料として厚さ2mmの銅板(50×50mm)を用いて、鑄造金属にはアルミ-銅合金(Al=95%, Cu=5%)を用いた。実験用鑄型を図3に示す。鑄型の下に試料を固定し、溶解した合金を注湯した(注湯温度:700、750、800、850 [°C])。

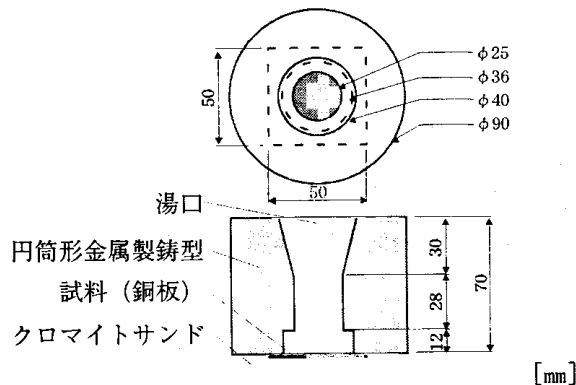


図3 実験用鑄型

2-4-2 試料の予熱の検討

鑄造金属と銅電鍍膜の結合促進に有効であると考えられる試料の予熱を検討した。実験方法は、2-4-1と

同様の方法で行った。注湯するアルミ合金の溶解温度を800°Cとし、試料は550°Cに予熱した。鑄造時に恒温炉より試料を出し、素早く鑄造した。

2-4-3 鑄造金属の検討

鑄造金属の適性を検討した。即ち鑄造金属と試料との溶解を促進するには、鑄造金属が液体状態の時間がある程度必要なため、融点が高い合金の鑄造が良いと考えた。また、銅との結合を考えた場合、銅を主体とした、いわゆる組成の近い合金のほうがより適していると考えられる。図4は、アルミと銅の融点推移(アルミ-銅状態図より抜粋¹⁾)である。アルミと銅は、単体の場合はそれぞれの融点で溶解するが(グラフの左右両端)、混合比により融点が図中の変化を示す。そこで、銅の混合率を変えたアルミ-銅合金およびJISの青銅鑄物6種(BC6)により鑄造実験を行った(表3)。

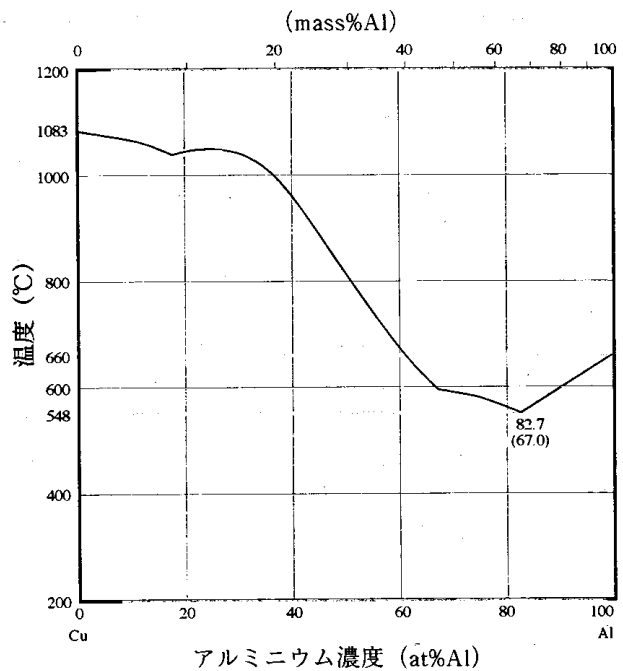


図4 アルミ-銅合金の融点推移

表3 実験に使用した合金

合金名	化学組成 (mass%)	融点 (°C)
アルミ-銅合金	アルミ95 銅5	650
〃	アルミ85 銅15	580
〃	アルミ65 銅35	550
JIS青銅鑄物6種 (BC6)	銅83-87 錫4-6 亜鉛4-6 鉛4-6	970

※表中の融点は、状態図から読み取ったおおよその値である。

ガス型で作成した鑄型(図5)に試料を入れ、湯口よりアルミ-銅合金は800°C、BC6は1050°Cで注湯した。ガス型は、水ガラスを粘結剤とし、炭酸ガスによって硬化させるタイプの砂型である。

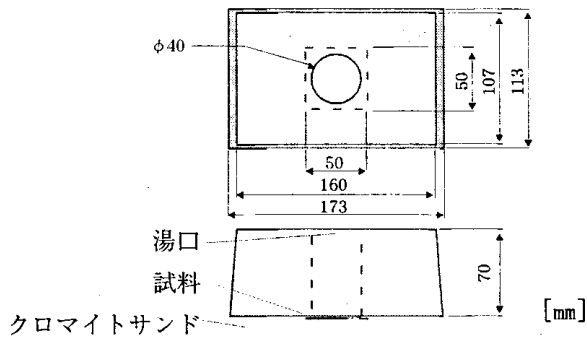


図5 実験用鑄型

2-4-4 鑄造方案の検討

方案の一体化への影響を検討した。即ち2-4-1~2-4-3の実験は、開放型（落とし込み）方案で行ったが、落とし込みの場合は、湯口が一つで単純に試料の上に溶解した金属を注ぐ形になる。そのため、先に注がれた金属の温度が急激に低下しすぐに凝固し、結果的に試料との結合が起こりにくい。そこで試料に近い部分から溶解金属を注湯する方案を考えた（図6）。この鑄造方法では、試料に近い部分から溶解金属が供給されるため試料付近の温度が低下しにくく、金属結合が促進すると考えられる。また、金属結合を妨げる銅の酸化被膜も、溶解金属に洗い流される形になり、影響が少なくなると考えられる。

改良した方案の鑄型で鑄造実験をした。実験はアルミ-銅合金（Al=95%、Cu=5%）とBC6を鑄造した。アルミ-銅合金は800℃で、またBC6は1050℃で溶解し鑄造した。

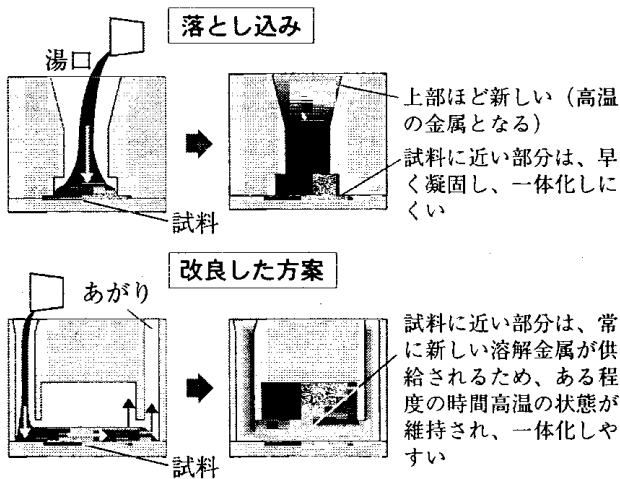


図6 方案による溶解金属の流れの違い

2-5 銅電鍍層への鑄造

これまでの実験より得られた鑄造条件により銅電鍍層への鑄造を行った。1050℃で溶解したBC6を2-4で改良した方案で鑄造した。ガス型の鑄型（図7）は周りを金属型枠で固定した。鑄型の上型に方案を組み込み、下

型に銅電鍍層を固定し、上下の型で押さえ固定した。鑄型の砂は、上型は珪砂、下型は珪砂の間にジルコンサンドを挟み込む構造にした。鑄型に使用する珪砂の熱伝導性はそれほど良くないため、ジルコンサンドを挟み込むことで、下型側への熱伝導を良くすることとした。それは、改良した方案では結合は起こりやすいが、その後結合した部分の凝固が遅いと、変形を引き起こす原因となるからである。そこで電鍍層に近い側（下型側）は結合したあとは速やかに固体化するようにジルコンサンドの冷却効果を活用した。

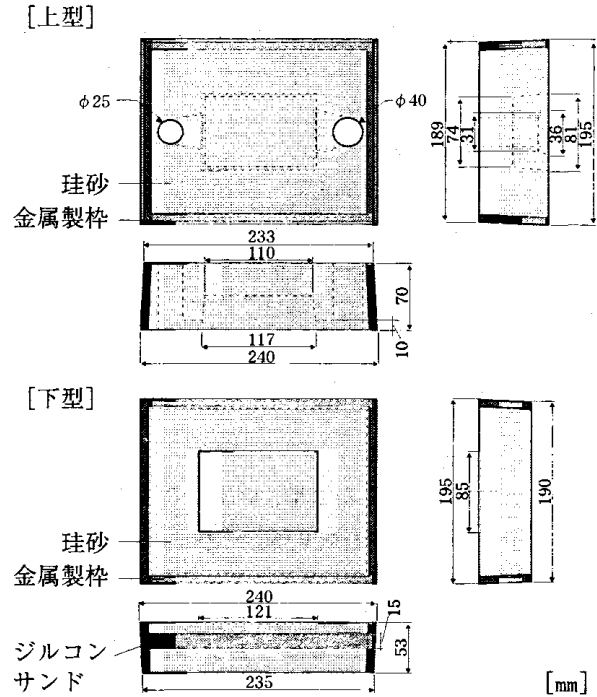


図7 実験用鑄型

2-6 プラスチック射出成形実験

完成したプラスチック射出成形用簡易金型を当センターで所有するプラスチック射出成形機で性能評価実験した。金型を、金属製モールドベースにはめ込み、表4に示す射出条件で、ABS樹脂を成形した。

表4 射出条件

射出圧 (kgf/cm ²)	射出温度 (℃)
800	200

3 結果と考察

3-1 銅電鍍での形状転写性

電鍍層は0.5~1.5mmの厚みが得られた。金属箔を貼った原形と導電性スプレーをした原形では、大差はなかったが、スプレーしたもののほうが樹脂側の表面状態が良い。原因は、金属箔の貼り付けで多少のムラができ、均一な導電性が得られにくいこと、樹脂との分離時に金属

箔が樹脂側とメッキ側に分散してしまうことなどが考えられる。

3-2 電鍍バックアップのための鑄造条件

3-2-1 鑄造温度

落とし込み方案の場合、用いた金属の組み合わせでは、温度に関わらず結合しにくいことが分かった。それは、鑄造時の試料温度(約15℃)との格差がありすぎるため、一体化する前に合金が凝固してしまうためである。

結合を促進するためには、高温状態をある時間保たなければならないと考えられる。

3-2-2 試料の予熱

予熱した試料は、炉から出した時点で表面に酸化被膜が形成されるため結合状態が得られず、今回のケースでは不適当であることが判明した。

3-2-3 鑄造金属

落とし込み方案の場合、アルミ-銅合金は組成の違いとは無関係に、全て結合しなかった。それと比較してBC6は、結合が見られた。BC6鑄造温度がアルミ-銅合金と比べ高温であるため、試料の変形の恐れがあったが、結果的には変形はそれほど起こらなかった。この実験より、鑄造金属としてBC6が適していることがわかった。

3-2-4 鑄造方案

改良した方案で実験した結果、いずれの材料でも良い結果が得られた。特にBC6では、これまでに行った実験中で最も良く結合した。

3-3 銅電鍍層への鑄造

鑄型から取り出し、冷却した金型は、銅電鍍層とBC6が境界で完全に結合していることが確認された。形状の変形や境界面の空隙も見られず、強固な表面を持つ金型が製作できた(図8)。ただし、雄型と雌型のすり合わせ面に当たる平面には多少歪みがあり、平面研削等の後加工の必要性がある。

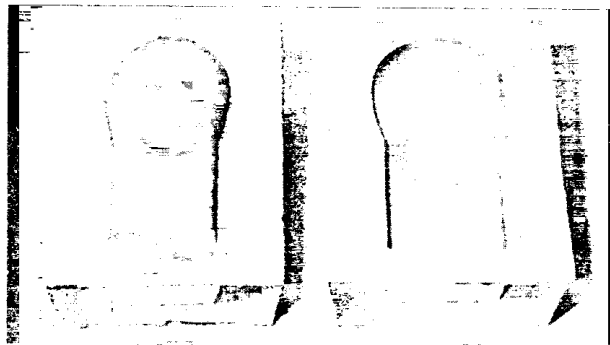


図8 鑄造した金型

3-4 プラスチック射出成形実験

射出成形実験で完成した成形品を図9に示す。試作した金型は強度、耐熱性について実用的な性能を持っていることが確認できた。また、寸法精度に関しては、電鍍層が光硬化樹脂の原形精度を忠実に保つので、製品の寸

法誤差は±0.1mm以下を達成できた。しかし一方で、強度補強のための鑄造時の電鍍層の変形のために、雄雌、両モールドの合わせ面がゆがみ、研削加工も行わなかったため射出試験においてバリを生じる結果となった。

この問題は電鍍層を厚くすることで解消できると考えられるが、今回の開発においてもっとも時間を要したのがこの工程であり、歪みを生じないと予想される、2mm程度の電鍍層を生成することは作成時間の大幅な増加を招く恐れがある。また、あらかじめ電鍍に使用する金属と同じ金属板で3mm程度の合わせ面を作成しておき、鑄造時に結合する方法も考えられるが難易度は高い。現時点では鑄造後に研削等の後加工を行い精度を高めるのが製作効率の面で最適と考える。

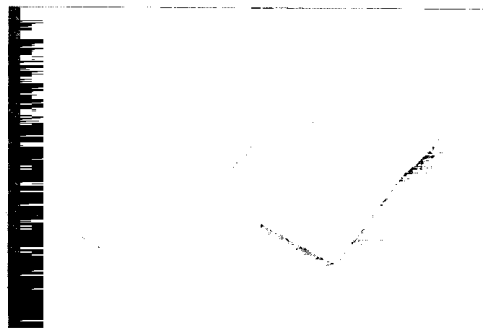


図9 射出成形品

4 結 語

本研究により、プラスチック射出成形用金型を光造型法を利用し簡便に製作する一つの手法として以下のことが分かった。

- ①光造型装置で製作した原形に銅電鍍を行うことで、高精度に金属に表面形状を転写することが可能である。
- ②電鍍層への鑄造で結合の促進を図るには、試料の予熱よりも鑄造金属の選別と方案の工夫がより有効であった。今回の条件ではBC6を鑄造金属に用い、試料に近い部分を湯口とした場合が最も結合が促進された。
- ③バリ等の少ない射出成形品を得るために、金型の合わせ面の精度を上げる工夫が必要である。

本研究で行った技術の実用化については、電鍍による金属層の生成技術についての技術移転を行えば、プラスチック成形試作用金型加工の合理化が図られると期待される。

本研究を行うに当たり下記の方々には協力をいただいた。この場を借りて感謝します。

化学部 佐々木英幸、鈴木一孝

金属材料部 勝負沢善行、茨島明、池浩之、高川貫仁

(敬称略)

文 献

- 1) Dr.Phil Max Hansen 「CONSTITUTION OF BINARY ALLOYS」 McGRAW · HILL BOOK COMPANY, INC. 1958 85p のアルミ-銅合金の状態図をもとに融点のみを示す簡略図にしたものである。