共晶はんだの射出成形による立体配線

野口 裕之*, 中川 威雄*

Three-Dimensional Wiring by Injection Molding of Eutectic Soldering

Hiroyuki NOGUCHI* and Takeo NAKAGAWA*

*東京大学生産技術研究所（〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1）

*Institute of Industrial Science, University of Tokyo (7-22-1 Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106-8558)

概要 導電性プラスチックは、静電気防止や電磁波シールドなどの用途として、すでに多くの分野で使用されている。この導電性プラスチックを用いて射出成形により、ある程度の電流が流せる導電回路を形成することを目的とし、金属繊維を混練した導電性プラスチックによる回路形成を試みた。しかし、高導電性と成形性を兼ね備えた導電材料を得ることは困難であった。そこで、溶融した金属の低粘性を活用して、共晶はんだの2色成形による細線の配線を行うための射出成形の条件を調べた。その結果、流動長に最も大きな影響を与える因子は、金型および1次成形体の溝温度であり、はんだの融点に接近すれば流動性は向上することが明らかとなった。

Abstract

In the aim to form a conductive power circuit which allows flow of current to a considerable extent by injection molding, attempts were made in this experiment to form the circuit of conductive plastic made by kneading metal fibers. It was however difficult to obtain conductive materials with both high conductivity and formability. Making use of the lower viscosity of molten metals, we investigated the required for forming thin wires of eutectic solder by 2-shot molding. The results showed that the factors which affect the fluidization length are the temperature of mold and that of the primary molded products groove, and indicated that the fluidity improves when the temperature is near the melting point of solder.

Key Words: Eutectic Solder, Injection Molding, 2-Shot Molding, Three-Dimensional Wiring

1. はじめに

3次元的に電気配線を射出成形するために使用する高導電性プラスチックの開発が進められている。高導電性プラスチックは樹脂材料に体積で50vol.%以上の金属フィラーを混入するもので、すでに $10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$ オーダの高導電率の材料開発がなされている¹⁾。金属フィラーとしては、銅短繊維を混入するものとはんだと銅粉末を混入するものの2種類に大別できる。銅繊維混入材は射出成形における流動性がかかなり劣り²⁾、はんだ粉末混入材はその流動性を改善するものとなっている^{3),4)}。しかしながら、きわめて細い線材の射出成形は、熱の伝導性が高いことや粘性が高いこともあって射出成形時の流動性が汎用樹脂に比較して劣ることもあり、必ずしも実現されているわけではない。

このようなことから、むしろはんだのような低融点の金属を樹脂成形体のキャビティにそのまま射出成形できる可能性がある。導電性プラスチックは、あくまで汎用射出成形によって射出配線することを目指した材料であるが、溶融金属ならば従来から利用されているダイカスト成形法

や、近年登場した射出成形によるマグネシウム合金などのチクソモールド⁵⁾のように、型温を上昇させることさえできれば溶融金属の低粘性を活用して、2色成形による細線の配線の可能性が存在する⁶⁾。

本研究は以上の観点より、樹脂成形体に作成された溝に共晶はんだを射出成形し、金属はんだによる射出配線の可能性と射出条件を調べたものである。

2. 供試材料

導電材としてはPb/Sn系のはんだを使用することとしたが、Fig.1のように溶融状態の粘性が低く流動性が最も高いといわれる60Sn/40Pbの市販のはんだを使用した。成分が共晶点よりややずれているため、この金属の固相線温度は共晶はんだと同じ183℃であるが、液相線温度は共晶温度より5℃高い188℃である。なお、このはんだの導電性は銅の約1/10である。

樹脂材料としてはアクリルを使用し、1次成形による溝はアクリル板に切削加工によって製作した。なお、はんだの熱伝導率は銅の約1/8であり、アクリルのそれは約

Fig.1 Relation between State, Viscosity, and Fluidity of Pb/Sn Alloy

1/1900である。

3. 射出成形実験装置

溶融金属の射出成形実験に際しては、金型によるノズルの冷却およびシリンダとピストンの間からの金属漏れおよびノズルからの金属漏れ対策に工夫した。型部と射出シリンダの構造をFig.2に示す。切削により溝形状を切った4mm厚の亚克力板（1次成形体）を2枚の金型によりクランプする。金型にはヒータを配し、決められた型温調整を可能とする。

Fig.2 Structure of mold and injection molding cylinder

Fig.3 Pressuring unit for injection molding

一方はんだの射出部はプランジャー方式でφ10mmのシリンダ内に溶融はんだを貯え、これにピストンを介して加圧する。シリンダ外部よりヒータで加熱し、所定の射出温度を保つものとする。ピストンとシリンダ間の漏れを防ぐため、溶融はんだの上部にABS樹脂を配しシール材とした。またノズルと金型面にはテフロンシートを配したが、これはノズルからの溶融金属の漏れを防ぐためと金型への熱伝導を防ぐためのものである。このテフロンシートには射出時に一気にシートを破るため、中心部に針穴を設けてある。

射出成形においては、瞬時に金属射出を行うため、主な実験は手動式射出成形機を改造し、Fig.3のような2種類の直径の異なるエアシリンダを用いた加圧装置により、ピストンを加圧する方式とした。

4. 流動性に対する実験結果

4.1 金型温度を室温にしたときの射出成形条件の影響
金型温度を25°Cとしたときの射出成形における射出温度、射出圧力が及ぼす共晶はんだの流動長への影響を調べた。

当然、流動長は断面形状が大きくなるほど長くなることが予想される。しかし、配線の太さを太くするには形状により制約がある。そこで、流動長を断面積で除した単位断面積当たりの流動長の値が500を越えることを目標にした。Fig.4は溝の断面形状と流動長の関係を示す。溝断面積に

Fig.4 Relation between Groove Cross Section and Flow Length

Fig.5 Molding Temperature and Flow Length

Fig.6 Injection Pressure and Flow Length

比例して流動長は増加する。またここで用いた高压加圧方式 ($\phi 125\text{mm}$) と高速加圧方式 ($\phi 63\text{mm}$) では、溝断面積が小さい場合には差が認められない。

射出温度の影響は、1.3mm角の溝形状について示すと、Fig.5 のようになる。100℃の差で流動長はおおよそ2倍となっている。しかし、単位断面積当たりの流動長は500に達しておらず、この流動長は配線については十分な値とは言えない。

Fig.6 は射出圧力の影響である。射出圧力を40MPaから80MPaと2倍に上げたが、流動長の増加は比較的少ない。

4.2 金型温度の影響

ピストンを手動式の加圧条件にて金型温度の影響を調べた結果をFig.7 に示す。またFig.8 は型温をパラメータとした溝断面積と流動長の関係である。型温の影響は他の成形条件に比べかなり大きい。例えば1mm角の溝で100℃では510mmの流動長が得られており、さらに溝形状が0.5×1.0mmでは50℃で単位面積当たりの流動長が574, 110℃で740という値が得られており、実用に近いレベルと言える。

4.3 考察

以上の結果を総合すると、流動長に対する溝断面と型温の影響が大きく、射出圧力、射出温度の影響が比較的少ないことが認められる。これは流動長が射出される共晶はんだの凝固によって決まっていることを意味すると解釈でき

Fig.7 Mold Temperature and Flow Length

Fig.8 Groove Cross Section and Flow Length

る。つまり、射出温度や射出速度、射出圧力は高いほど流動長は長くなるが、共晶はんだの熱伝導は樹脂に比べれば3桁も大きく熱容量も少なく、溝付き樹脂面や金型面からの冷却に対してそれほど大きな効果がない。一方型温は共晶はんだと冷却源の温度差に関係するため、冷却効果に直接影響を与える。また溝断面は共晶はんだの熱容量と共晶はんだの量に占める表面積の割合に関係するため、流動長に大きな影響を及ぼす。

これらのことから、流動長を長くするには熱伝導を少なくする射出成形が望まれる。まず共晶はんだの射出温度を上げ高速高压で射出すると共に、溝断面をなるべく金型面に接する面を少なくするような長方形断面にし、さらに型温をできるだけ共晶はんだの融点に近づけることが望ましい。

以上の共晶はんだの流動性を汎用樹脂の流動性と比較するため、ABS樹脂の流動性を射出温度のみ異なる条件で比較した結果をFig.9 に示す。はんだの射出温度は300℃、ABS樹脂は220℃と異なるものの、はんだの流動性は一般の樹脂より良好なことがわかる。

機能上から溝断面、また成形機の制約より射出成形の条件が決められた後、最も効果的な対策は金型温度と溝温度をはんだの融点に近づけることであった。

アクリル樹脂では耐熱性が低い100℃以上とすることはしなかったが、より融点の低い金属を用いれば流動長をさらに長くすることができるはずである。そこで配線材料として融点の低いBi合金を使用し、再度流動長を調べ

Molding conditions	
Groove size	1×1 mm
Mold temperature	25 °C
Injection machine	Cylinder φ 125 mm
Molding pressure	80 MPa
Molding temperature	ABS resin (220°C) ,Solder (300°C)

Fig.9 Difference in Fluidity of Eutectic Soldering and ABS Resin

る実験を行った。Table 1 に示す130℃と58℃の融点を持つBi合金を準備し、金型温度25℃で射出温度300℃、射出圧力80MPa、溝形状1mm角という、共晶はんだと同一条件で流動長を調べた。その結果をTable 2 に示すが、130℃の融点のBi合金で2.5倍の757mmが、58℃の融点のBi合金で4.7倍の1424mmという流動長の改善が認められた。

さらに、融点が120℃のBi合金を使ってTable 3 のような射出条件で、金型温度100℃まで上昇させたところ、共晶はんだではほとんど流動長が得られなかった0.3mm角の溝断面に対し94mmの流動長を示した。これらの実験からも、射出金属材の融点と金型および1次射出樹脂温度を近づけることがきわめて重要なことがわかる。

5. 結 論

樹脂射出成形体に、2色成形と同様な方法により共晶はんだを射出成形して立体配線を行うための基礎的実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 樹脂表面に形成された細い溝に60Sn/40Pbのはんだを射出成形することは可能であり、はんだの流動性は汎用樹脂より良好である。
- 2) 溝の断面積が少なくなるほど、金属の冷却凝固により、はんだの流動性は低下する。
- 3) 射出温度、射出圧、射出速度のいずれも大きくなる成形条件ほど流動長が増大するが、決定的因子とは言えない。
- 4) 流動長に最も大きな影響を与える因子は、金型および1次成形体の溝温度であり、はんだの融点に接近すれば

Table 1 Composition of Bismuth Alloy

Alloy	Melting point (°C)	Concentration (wt.%)			
		Bi	Pb	Sn	In
Type 1	130	58	—	42	—
Type 2	58	49	18	12	21

Table 2 Flow Test Results

Materials	Melting point (°C)	Flow length (mm)	Flow ratio
Eutectic solder	183	303	1
Type 1	130	757	2.5
Type 2	58	1424	4.7

Table 3 Injection Molding Test Results of 0.3 mm Groove

Material	Bi alloy
Melting point	120°C
Molding Temperature	300°C
Mold Temperature	100°C
Shape of groove	0.3×0.3mm
Molding pressure	80MPa
Flow length	94mm

流動性は向上する。

- 5) はんだより低融点を示すBi合金を配線材料に使用し、金型と溝温度を射出配線材の融点に近づけたところ、大幅な流動長の改善が認められ、細線の射出配線も可能であることが明らかとなった。

(1998.9.17-受理 1998.11.20-再受理)

文 献

- 1) 野口裕之、阿部 靖、中川威雄：“ハンダ分散型導電性プラスチック”，プリント回路学会第8回学術講演大会講演論文集，pp.131-132，1994
- 2) 野口裕之、中川威雄：“射出成形による導電回路製造のための研究”，プリント回路学会第6回学術講演大会講演論文集，pp.185-186，1991
- 3) 野口裕之、池野上志郎、中川威雄：“ハンダ分散型導電性プラスチック—第2報：分散ハンダの微細化—”，第10回回路実装学術講演大会講演論文集，pp.55-56，1996
- 4) 野口裕之、池野上志郎、中川威雄：“ハンダ分散型導電性プラスチック—第3報：ハンダ分散型導電性プラスチックの射出成形—”，第10回回路実装学術講演大会講演論文集，pp.57-58，1996
- 5) 斎藤 研、大津英彦、北村和夫：“マグネシウム合金の射出成形プロセス”，成形加工，Vol.10，No.3，p.159，1998
- 6) 野口裕之、中川威雄：“金属射出による導電回路の形成 第1報—ハンダ射出における射出条件の検討—”，第5回プラスチック成形加工学会年次大会講演論文集，pp.327-328，1993
- 7) 鋳物便覧（改訂3版），丸善，pp.138-140，1973