

プレス型・射出成形用金型の新しい製作法の開発 ～レーザ切断した薄板の積層ろう接による方法～

東京農工大学工学部機械システム工学科

国枝 正典

(昭和63年度研究開発助成 AF-88017)

1. はじめに

現在、金型加工に対する低コスト、短納期、高精度、複雑形状加工といった要求が非常に厳しくなっている。それには工程の合理化、成形技術と金型設計技術の一体化等の努力とともに、従来の金型構造や加工法を見直す必要もあると考えられる。そこで、本研究ではレーザ加工機を用いて高速切断された薄板を積層することによって3次元立体を作り、それを金型に利用することを試みた。特に、この様な構造をもつ射出成形金型は、冷却水用の流路を自在に巡らすことができるので、冷却効率がよく成形サイクルを短くできる。しか

も、成形面の温度分布が均一になる流路の設計により、成形品の精度向上が期待できる。

2. 積層金型の製作

本方法を用いて肉厚2.5mmの単純形状をした化粧箱用の射出成形金型の製作を試みた。製作工程を図1に従って説明する。

金型設計

冷却水流路の冷却効果をみるため、従来のドリル加工で可能な単純水路と、積層構造でこそ可能な複雑水路(図2)の二種類の水路を持った金型をどちらも積層法で製作した。

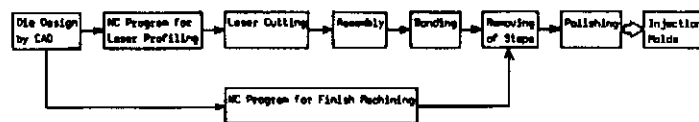


図1 積層金型の製作工程

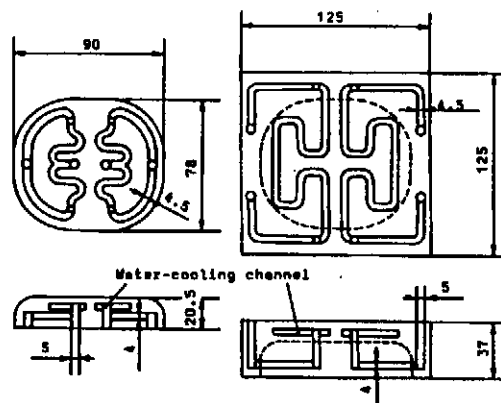


図2 複雑流路を持つ金型

レーザー切断

コア、キャビティ用の板を一度に切り出す方法を図3に示す。コアの成形面をa、キャビティの成形面をbとする。単にaとbの中間で切断すると成形品の肉厚が薄いと、段差除去切削のための仕上げしろが取れないばかりか、段差が残ってしまうこともありうる。そこでキャビティの成形面を板厚tだけシフトしたb'なる曲面を定義し、aとb'の中間で図の大線のようにレーザー切断し、接合後aとb'の様に仕上げ切削すれば先の干渉の問題は生じないことが分かった。

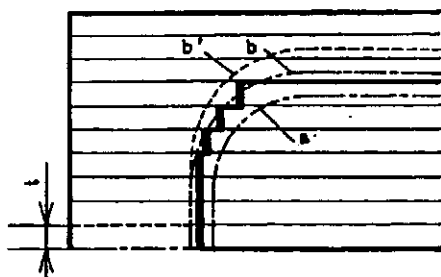


図3 レーザ切断時の材料取りの方法

接合

本研究では積層された薄板の接合のために、以

下に述べるハンダ付けと高温圧接の二つの接合法を試みた。

(1) ハンダ付け：成形中の樹脂の温度は200~300℃であり、ハンダの融点とほぼ等しい。しかし、複雑水路を持っていれば金型の冷却効率はよいので、金型内部温度は低く抑えられ、ハンダが融けて金型が壊れることはないと思われる。そこで、2.3mmの板厚のSPC材に片面4μmのハンダ層(Pb92%, Sn8%)がメッキしてあるハンダメッキ鋼板(新日本製鉄㈱)を金型材として選び、それをレーザー切断後、均一な接合圧力をかけるためにコアとキャビティを同時に重ねて一体でホットプレスで接合した。接合条件を表1に示す。また、コアとキャビティの間には離型剤(ボロンナイトライド微粉末)を塗布し、接合後の離型を可能にした。なお、このハンダ付けでは複雑流路のタイプのみ製作した。

(2) 高温圧接：高温圧接では単純流路と複雑流路の両金型の製作を試みた。金型材はゲージ鋼板SK4で、成形面のR部には板厚1mm、その他は2mmを用いて段差の除去を容易にした。接合条件を表2に示す。この場合もボロンナイトライド

表1 ハンダ付金型の接合条件

Solder plated sheet (Nippon Steel Corporation)	Base metal:SPCC Sheet thickness:2.3mm Solder thickness:4μm
Bonding temperature	350 °C
Bonding pressure	17.2MPa
Mold release	Fine particles of boron nitride

表2 高温圧接金型の接合条件

Heating	Temperature	1100°C
	Atmosphere	Dissociated ammonia
Bonding	Pressure	29.4MPa
	Time	30sec
	Atmosphere	In air
Cooling	In a furnace	

微粉末を塗布してコアとキャビティが接合されてしまうのを防いだ。

段差の除去

積層によって生じる段差の除去のために、マシニングセンタを用いて仕上げ切削を行う必要がある。これは接合工程で生じる次のような変形を補正するためにも必要である。まず、ハンダ付けではハンダがはみだすので積層方向の寸法が変化する。また、高温圧接では接合により積層方向に3.4%、それと垂直方向に1.8%の塑性変形が生じる。さらに、レーザ切断の精度がたかだか $\pm 20 \mu\text{m}$ であることなどを考えても切削加工の必要性が分かる。一方この段差の除去には放電加工も有効と考えられ、後述する様なすり合せ放電加工法を新たに考案した。

切削後、型の磨きを終えて完成した圧接金型を図4に示す。圧接金型もハンダ付け金型も共に積層してあるとは思えない外観のできばえであった。

3. 射出成形の結果

(1) ハンダ付け金型 ハンダ付けにより製作した金型を用いて成形試験を行ったが、次のような問題が明らかになった。

①成形前に冷却水を流して水漏れ試験を行った

が、0.4MPaの水圧で数ヶ所の接合境界から水漏れが生じてしまった。これはハンダ付けが全面にわたり完全でなかったためであると考えられる。

②冷却水が流せないため、冷却無しで成形を試みた。成形材料はABSであり、成形圧力43.6MPaであった。6ショットまでは成型できたが、7ショット目でキャビティの一部が陥没してしまった。陥没した部分は、ちょうどその部分の下に冷却水路の空間のある部分で、金型材が成形圧力に負けて塑性変形したものと考えられる。この陥没は上下の板との接合が十分であれば防げたはずであるが、ハンダの接合力では不十分であったと考えられる。

(2) 高温圧接金型 圧接金型の場合は500ショットまでPP,PSの成形を行ったが問題は全くなかった。

4. 冷却の効果

成形中の金型温度を測定するためにコアおよびキャビティの表面から5mmの所に熱電対を埋め込んだ。表3に成形を繰り返して定常状態になった金型温度を示す。いずれも圧接金型のデータであり、無冷却とは冷却水を流さない場合である。また、冷却時間を次のように定義し表中に示した。一般に、樹脂が固まると収縮により成形品はコア

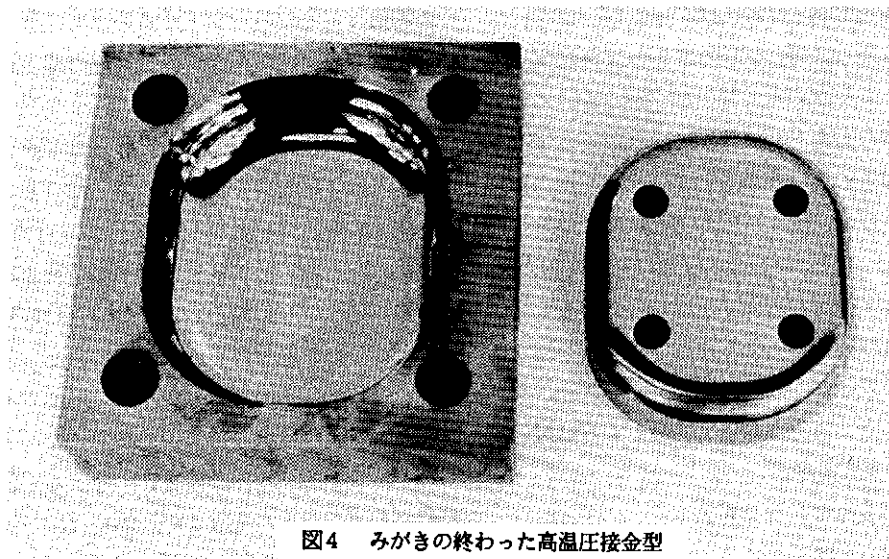


図4 みがきの終わった高温圧接金型

表3 金型温度と冷却時間

	Without cooling	Simple channels	Complicated channels
Core temp.	72°C	46°C	27°C
Cavity temp.	58°C	32°C	26°C
Cooling time	11sec	6sec	4sec

に食いつく。そこで、樹脂を射出してから成形品がコアに食いつくようになるまでの時間を測定し、それをその金型の冷却時間と定義した。複雑流路の効果は明らかであり、成形のサイクルタイムの短縮が可能なが分かった。

5. すり合わせ放電加工法による段差除去

金型などにみられる雌雄一對の形状を加工する場合、従来は主として切削加工が用いられており、また雌型のような切削加工の困難な形状については総形電極を用いた形彫り放電加工が用いられてきた。これらの加工法では雌型、雌型を別々に加工しなければならないため金型などに要求される均一なクリアランスを得る事は困難である。そこで、任意の形状とクリアランスを持つ雌雄一對の三次元形状を効率よく創成するためすり合わせ放電加工という方法を考案した。

(1) すり合わせ加工法の原理

形状の既知である単純形状の雄形状、雌形状用の素材を用意し、両者を対向させ一方を電極、他方を工作物とする。先ず雌型の加工から始める場合には、雄型を電極とし、雌型の最終形状に干渉せずに加工できるまで加工を行う。次に電極極性を反転させ、前工程で加工されたばかりの雌型を電極とし今度は雄型を工作物として、雄型の最終形状に干渉せずに加工できるまで加工を行う。再び極性を反転し雄型を電極とし雌型を加工する。このように電極極性を反転させ、互いを加工し合うことを繰返し、目標とする雌雄一對の形状に収束させる。

(2) 形状創成のアルゴリズム

工具電極の経路を求めるアルゴリズムを図5の

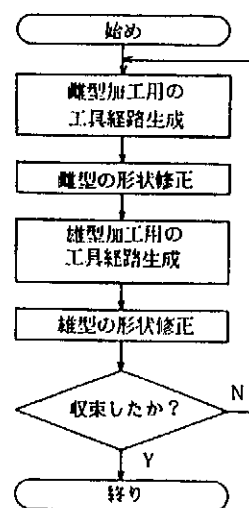


図5 工具経路を求めるフローチャート

フローチャートに従って説明する。簡単のために電極の運動は二次元に限定し、放電ギャップおよび電極消耗については考慮しない。まず雄型素材を電極として雌型を加工するのに必要な工具経路を生成する。電極となる雄型素材の輪郭線上に原点を持つ移動座標系を考える(図6(a))。ある時点での移動座標系の原点すなわち雄型素材の輪郭線上の一転が雌型の目標形状に干渉せずに動ける経路はその時の移動座標系で表わした雌型の目標形状である。したがって、移動座標系を雄型素材の輪郭線に沿って動かし、その時々移動座標系で表わした雌型の目標形状群のどれとも干渉しない領域PQR(図6(b))が、工具電極である雄型素材が雌型の目標形状に干渉せずに動ける領域である。この領域の外形線を必ずたどる工具経路の取り方は様々考えられるが、例えば図7に示すように、工具電極をPQRに沿って移動させれば、移

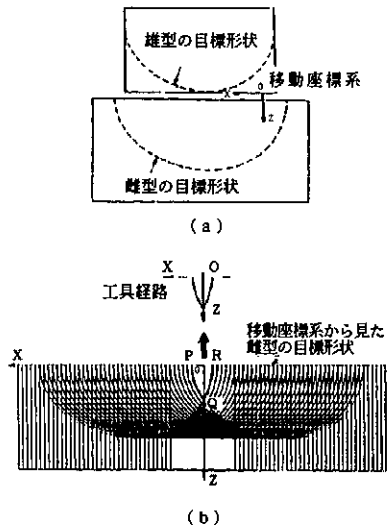


図6 工具経路を求めるフローチャート

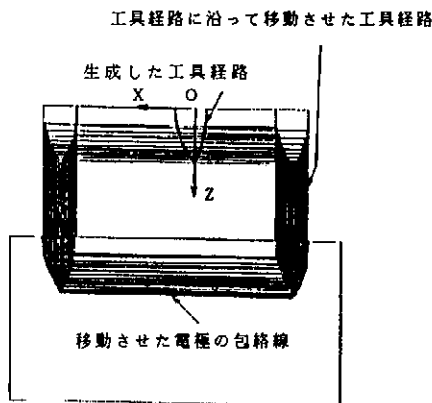


図7 工具経路生成の考え方

動させた電極の包絡線が修正後の雌型素材形状になる。

次に、上のようにして形状修正された雌型素材を電極として逆に雄型素材を加工する。この場合の方法は上と同様に考えてあらためて雄型加工用の工具電極経路を生成し、雄型素材の形状修正を行う。

工具電極経路は雄型素材と雌型素材の相対運動の経路を表しているので、雌型加工用の工具経路と雄型加工用の工具経路は目標形状に達した時点で互いに一致するはずである。一方の形状修正のための工具経路を、他方の形状修正のために前段で使用した経路と比較し、その形状の差が許容範囲よりも小さくなれば目標形状に収束したと見なす。

(3) 放電加工のコンピュータシミュレーション

アルゴリズムの妥当性を検証するため、コンピュータ上で加工シミュレーションを行った。雄型と雌型の目標形状は円と楕円を組み合わせた単純な形状で、クリアランスは均一とする。図8 (a) は雌型素材の形状修正を1回行った後の形状である。今度はこれを電極として雄型の形状修正を行うと図8 (b) の形状となる。以下同様に雌型と雄型の修正回数ともに4回で、目標の形状が得られた。

(4) 段差除去実験

すり合わせ放電加工は最初の一対の素材形状が既知でありさえすれば可能なので、積層金型の段差除去に適用できる。加工条件は実験より電極消耗率が小さい条件を模索した上で $I_p: 30A, \tau_{on}:$

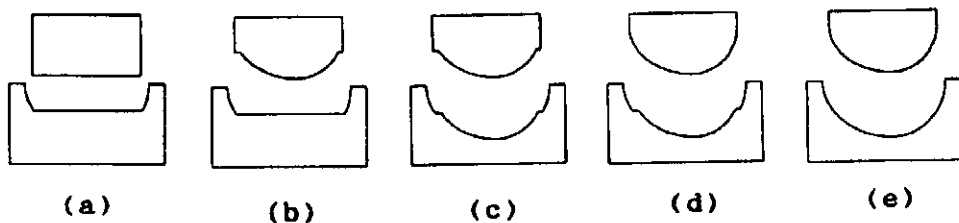


図8 すり合わせ放電加工のシミュレーション

350 μ s, τ_{off} : 90 μ sとし、図9 (a) の接合部材の段差除去を試みたところ、図9 (b) に示すような平滑な形状が得られた。

合を検討する必要があることが分かった。

③高温圧接については、金型の性能上は十分な効果をもたらすことが分かった。ただし、SKDなどの高合金鋼は大気中での接合は困難なので、長

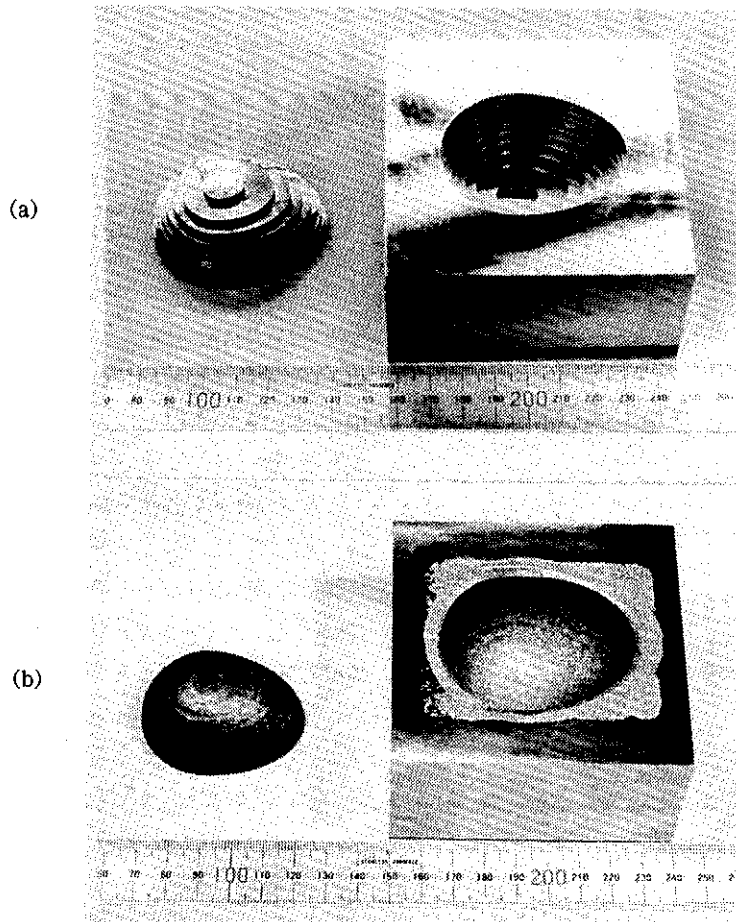


図9 積層金型の段差除去

6. 結論

①薄板の積層によって製作した射出成形金型は、従来の加工法では不可能であった複雑な冷却水路を可能にする。

②ハンダ付け金型については接合強度不足により水漏れ、陥没等の問題が生じた。これらはハンダのメッキ層の厚さが薄すぎたことや、接合面に気泡が残留して接合を妨げたことが原因とみられる。よって、ハンダよりも融点が高く接合強度の大きな他のろう材を用いることや、真空中での接

寿命プラ型やダイカスト金型には拡散接合の検討も必要であろう。

④すり合わせ放電加工法を考案し、段差除去の工程の合理化に有効であることを示した。

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成により行われた。紙面を借りて感謝の意を表する。

発表論文

1) 小島, 新井, 国枝, 中川: 薄板の積層接合による

射出成形金型の製作, 1989年精密工学会春季
大会講演論文集, P.989 - 990

2) M. Kunieda, T.Nakagawa, S.Matsumura,
Y.Yamamoto, T.Kuribayashi : Laser Appli-
cation to Die Making, Proc. of ISEM - 9,
P.187 - 190.

3) 小島, 池田, 国枝: すり合わせ放電加工法による

雌雄形状対の同時創成加工, 1990年度精密工
学会春季大会講演論文集, P.181 - 182.

4) 小島, 池田, 国枝: すり合わせ放電による金型オ
スメス同時加工法, 型技術者会議 '90講演論文
集, P.70 - 71.