

金属光造形金型による薄肉低圧射出成形*

米山 猛** 内藤圭亮*** 阿部 諭† 宮丸 充††

Reduction of Injection Pressure for Thin Walled Molding using the Laser Metal Sintered Mold

Takeshi YONEYAMA, Keisuke NAITO, Satoshi ABE and Michiru MIYAMARU

Using milling combined laser metal sintering, porous surface has been fabricated on the thin walled cavity closed by the surrounded thick cavity in the injection mold. Resin flows into the cavity of 2mm thick at first around the thin part and then flows into the thin cavity of 0.2mm thick with 11mm square by packing pressure. The packing pressure for filling the thin part was compared among laser metal sintered mold with or without porous surface, steel mold with or without porous block. The result shows that packing pressure for filling the thin part in the sintered mold is low even without porous surface because of the low thermal conductivity of the sintered material. The packing pressure to fill the thin part in the sintered mold with porous surface is lower than that in the steel mold with porous block. Pressure applied on the mold surface in the sintered mold is higher than that in the steel mold under the same packing pressure.

Key words: laser metal sintering, injection molding, porous, pressure, thermal conductivity

1. 結 言

金属光造形複合加工法は、金属粉末の薄層にレーザを照射して焼結させ積層造形する工程と、焼結した層の外周を切削加工して表面を仕上げる工程とを交互に繰り返しながら、ワンプロセスで寸法精度と表面性状が良好な複雑形状の金型を造形する方法である^{1)~4)}。

レーザ照射による焼結過程において、レーザの照射密度を加減することで金属粉末の焼結密度を変えることができ、焼結密度を低くすれば通気性のある多孔質の焼結材を作ることができる。射出成形において、樹脂の充填時に空気やガスが閉じ込められる箇所には、通常、金型に分割面を作るか、通気性のある多孔質のブロックを金型表面に埋め込んで「ガス抜き」を行っている。金属光造形複合加工法では、金型をワンプロセスで造形する過程で、多孔質の焼結体を作成し、金型表面の必要な箇所に通気性を持たせることができる。これによって、薄肉部やコーナ部など、充填しにくい箇所にも比較的低压で射出成形ができることが期待される。

また、金属光造形複合加工法で作られた金型は、粉末にニッケル等が含まれるため、その熱伝導率は、鋼材で作られた金型の熱伝導率の約3分の1であり、この低熱伝導性により、金型内に流れ込んだ樹脂の表面が急冷されて固化する速度を遅らせ、従来の金型より樹脂の流動性を向上させるのではないかと考えられる。

これらの効果によって、射出成形に要する圧力を低減することができ、射出成形機の小型化や省エネルギーにも貢献すると期待される。

これまで金属光造形複合加工法による多孔質材の造形とその通気特性、射出成形性については小島らにより通気性と薄肉部充填圧力との関係などについて基礎的な研究が行われているが⁵⁾、通気性を持った金属光造形金型による充填圧力の低減効果を、多孔質性の効果と低熱伝導性の効果から、鋼材金型と比較した詳しい検討はこれまで行われていない。

そこで本研究では、薄肉部を持つ成形対象を取り上げて、通気性を持った金型を金属光造形複合加工法によって作成し、同様の金型形状を持つ鋼材金型による成形と比較し、金属光造形金型の通気性の効果と低熱伝導性の効果について明らかにする。

2. 成 形 対 象

本研究で対象とした成形品モデルを図1に示す。縦70mm横40mm厚さ2mmの平板の中ほどに11mm四方の厚さ0.2mmの薄肉部を持つ長方形平板である。樹脂は、厚さ2mmの平板上部にあるゲートから注入される。薄肉部の周囲を厚肉部が囲んでいるので、樹脂は薄肉部を迂回し、厚肉部に充填された後に薄肉部へ樹脂が流れ込むことが予想され、その際薄肉空間内の空気が閉じ込められ、充填に要する圧力が大きくなるか、未充填を生じることが予想される。そこでこの薄肉部の金型表面に通気性を持たせて、射出成形圧力の低減効果を調べる。

3. 金型の設計と製作

金型の構造を図2に示す。金型は3プレート構造で、成形機から射出された樹脂はランナーおよびスプルーを通り、ピンゲートから成形品空間に注入される。キャビティとコアの部分が金属光造形複合加工法で造形した部分である。この金型を金属光造形金型と呼ぶ。金属光造形複合加工法によって、通気性を持つ部分と他の部分とは

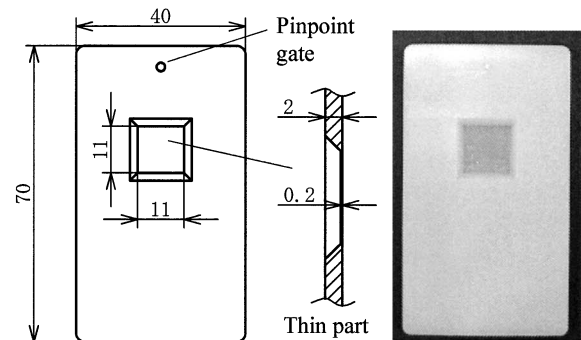


Fig.1 Flat plate with thin part

* 原稿受付 平成 21 年 5 月 25 日
 ** 正 会 員 金沢大学理工研究域 (金沢市角間町)
 *** 学生会員 金沢大学大学院
 † 正 会 員 パナソニック電工 (株) (大阪府門真市大字門真 1048)
 †† 宮丸精密金型 (株) (金沢市東蚊爪町 1-31)

一体造形が可能であるが、通気性を持たない場合との比較を行うため、薄肉部を形成するブロックを交換して埋め込めるようにした。通気性のブロックを埋め込む場合は、ブロックの上面を多孔質表面にして通気性を持たせ、空気をブロックの背面から金型内の空気穴に逃がす。通気性のないブロックの場合は、多孔質を作らずに密にレーザ造形したブロックを埋め込む。実際に製作した金型を図3に示す。交換するブロックをホルダーに固定し、このホルダーをキャビティに固定する。金型には型内圧力を計測する圧力センサや型表面の温度を計測する温度センサを取り付ける穴も加工した。

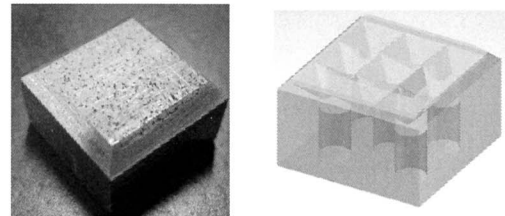
一方金属光造形金型と比較するために、コアとキャビティを通常の鋼材から加工した金型を製作した。これを鋼材金型と呼ぶ。鋼材金型においても、キャビティに薄肉成形用のブロックを取り付け、通気性のない鋼材と多孔質ブロック（一般によく用いられるポーセラックス）を交換できるようにした。

金属光造形金型および鋼材金型とも金型内面は#1000のエメリーペーパーで磨き、同様な表面粗さとした。ただし、多孔質ブロック表面は造形したままである。

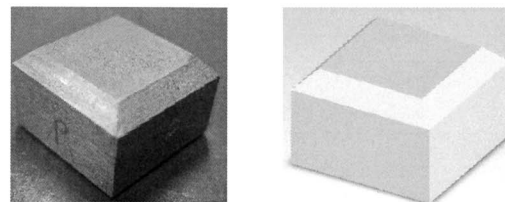
実験に使用した金型とブロックの組み合わせを表1に示す。金属光造形金型には、金属光造形法によって多孔質部を作成したブロックと、同じく金属光造形法で緻密に造形して通気性のないブロック（これを非多孔質ブロックと呼ぶ）の2種類を埋め込んだ。鋼材金型には、一般に通気性を持たせるために埋め込まれるポーセラックスII（新東工業株式会社製）のブロックと、通気性のない鋼材ブロックの2種類を入れ替えて使用した。

Table 1 The combination of the mold and the block

The mold name	Mold	Block
Sintered porous	Laser metal sintered mold	Porous block
Sintered no porous	Laser metal sintered mold	No porous block
Steel porous	Steel mold	PORSELUX block
Steel no porous	Steel mold	Steel block



(a) Porous block made by laser metal sintering



(b) PORSELUX block

Fig.4 Insert porous blocks

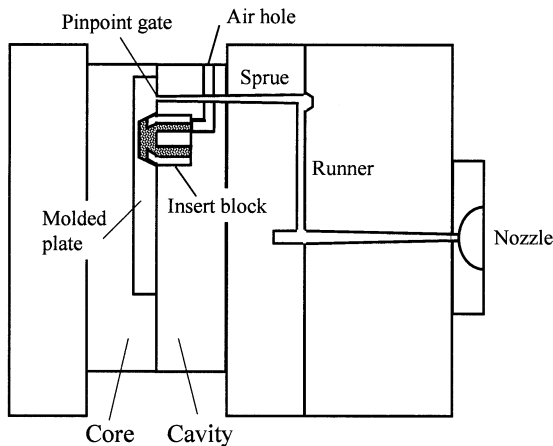


Fig.2 Structure of the mold

多孔質ブロックの外観および構造を図4に示す。図4(a)の光造形多孔質ブロックは上面の厚さ0.5mmの部分が全面多孔質となっており、内部は4本の円柱形状の多孔質部につながっている。図4(b)は、ポーセラックスIIで作られた全面多孔質のブロックである。

4. 多孔質ブロックの通気特性

多孔質ブロックの通気量測定を行った。多孔質ブロック上面に圧力0.6MPaの圧縮空気を加え、通過した空気量を流量計または水上置換法で測定した。その結果、通気量は、ポーセラックスで5l/min、光造形多孔質ブロックで0.2 l/minであった。ポーセラックスに比べ光造形多孔質の通気量は小さかった。

5. 射出成形実験

成形樹脂には一般的によく使われている樹脂として、ABS(テクノロジーポリマー製 Grade150)を用いた。射出成形条件を表2に示す。射出温度を210℃とし、射出圧力を110MPa、射出速度を50mm/sとした。冷却水の温度は40℃、冷却水流量は4l/min、冷却時間は15sとした。保圧時間を5sとし、保圧を光造形金型では30~120MPa、鋼材金型では80~120MPaで変化させ、各保圧での薄肉部への充填状態を比較した。射出速度を比較的低くしたのは樹脂充填時の流動性の違いが顕著に出るように考えたためである。また射出圧を一定にして、保圧を変化させるのは、薄肉部の体積は非常に小さいため、樹脂が厚肉部を充填した段階で、成形機のスクリーが計量位置に達して保圧に切り替わり、この保圧によって薄肉部への注入が行われるためである。したがって、薄肉部への充填のための圧力として、保圧の大きさを比較する。保圧を10MPaごとに変化させ、各保圧条件において7ショットの成形を行い、7ショット目の成形品を比較した。実験時の射出圧および保圧の時間波形を図5に示す。

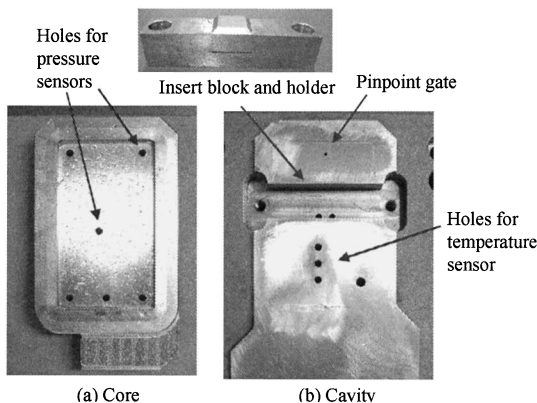


Fig.3 Fabricated mold by laser metal sintering

Table 2 Condition of the injection molding

Resin	ABS
Cylinder temperature	210°C
Injection pressure	110MPa
Injection speed	50mm/s
Cooling temperature	40°C
Cooling water flow late	4l/min
Cooling time	15s
Packing pressure	30~120MPa(Sintered mold)
	80~120MPa(Steel mold)
Packing time	5s

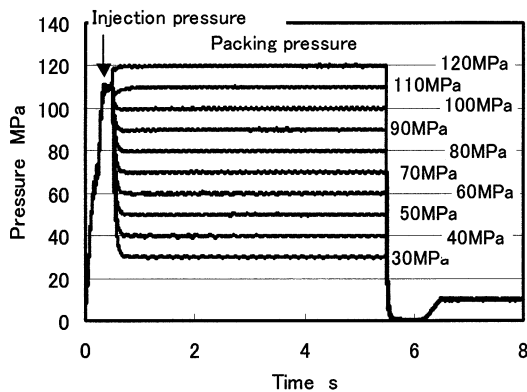


Fig.5 Diagram of injection and packing pressure

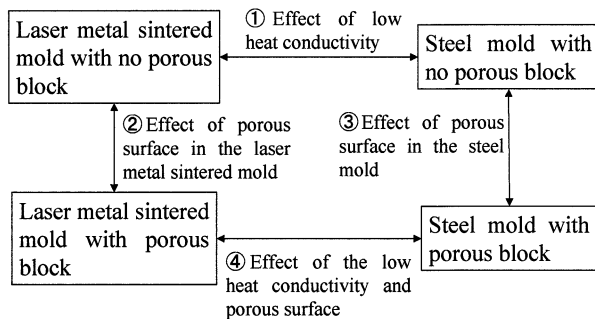


Fig.6 Purpose of the comparison between the molds

4種類の金型を対比させて、相互の比較の目的を示したのが図6である。金属光造形金型の非多孔質ブロックと鋼材金型の鋼材ブロックとの比較は、金属光造形金型材の低熱伝導率が流動性や充填性に及ぼす効果を見るためである。さらに金属光造形金型において、非多孔質ブロックと多孔質ブロックとを比較し、多孔質による通気性の効果について調べる。

一方鋼材金型においても多孔質ブロックを入れることによる効果を調べる。最後に、金属光造形型で多孔質ブロックの場合と鋼材金型で多孔質ブロックの場合とを比較する。

薄肉部をマイクログラフを用いて観察し、11mm×11mmの薄肉部において樹脂が充填した面積を測定して、次の式で充填率[%]を表す。

$$\text{充填率} = \frac{\text{薄肉部に樹脂が充填した面積}}{\text{薄肉部面積}} \times 100 \quad (1)$$

6. 保圧と薄肉部充填率

6.1 金属光造形非多孔質と鋼材金型非多孔質との比較

金属光造形金型で非多孔質ブロックを用いた場合と鋼材金型で鋼材ブロックを用いた場合の各保圧条件における薄肉部充填率の比較を図7に示す。鋼材金型においては保圧を120MPaまで上げてもほとんど充填しないが、金属光造形金型では徐々に充填率が向上し、保圧120MPaでは充填率90%以上に達している。したがって通気性がない状態においても、金属光造形金型材を用いることで低い圧力で薄肉部への充填が行われている。この理由は、金属光造形複合加工材の熱伝導率が低いために樹脂表面の固化が遅くなり、流動性が向上したためであると考えられるが、型内圧力や温度の計測結果から後に検討する。

6.2 金属光造形多孔質と金属光造形非多孔質との比較

金属光造形金型における多孔質の有無による各保圧における薄肉部充填率の比較を図8に示す。非多孔質ブロックを用いた金型に比べ多孔質ブロックを用いた金型のほうが高い充填率を示している。保圧110MPaで充填率が100%に達している。多孔質ブロックを挿入したことで、薄肉部に閉じ込められた空気が排出され、充填が容易になったものと考えられる。

6.3 鋼材非多孔質と鋼材多孔質との比較

鋼材金型における多孔質の有無による各保圧における薄肉部充填率の比較を図9に示す。鋼材金型においては、薄肉部に多孔質材ポーセラックスを用いることで、保圧110MPa以上では充填率が向上しているが、保圧100MPaまでは充填率が向上しなかった。ポーセラックス材は金属光造形による多孔質材よりも高い通気特性を持っているが、鋼材金型における樹脂の流動性が光造形金型の場合よりも劣るために、薄肉部への充填には高い保圧を要したと考えられる。

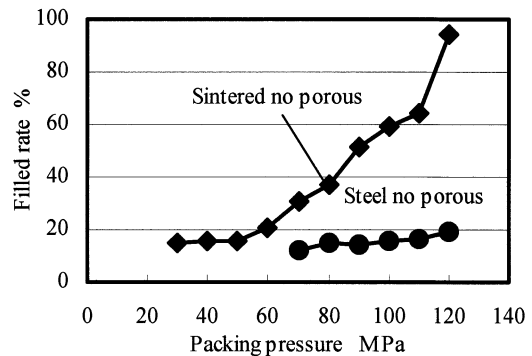


Fig.7 Comparison of the filled rate between sintered no porous and steel no porous

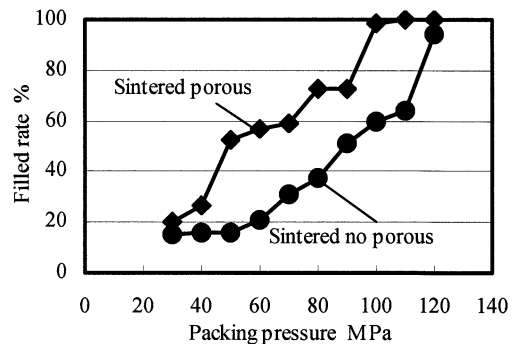


Fig.8 Comparison of the filled rate between sintered porous and sintered no porous

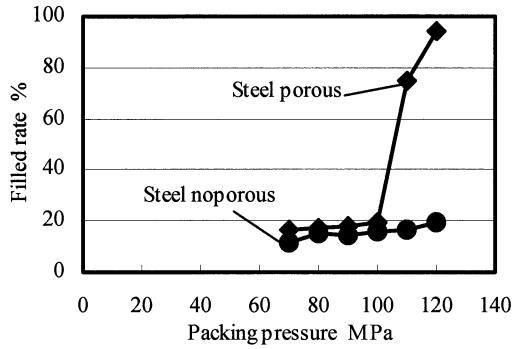


Fig.9 Comparison of the filled rate between steel porous and steel no porous

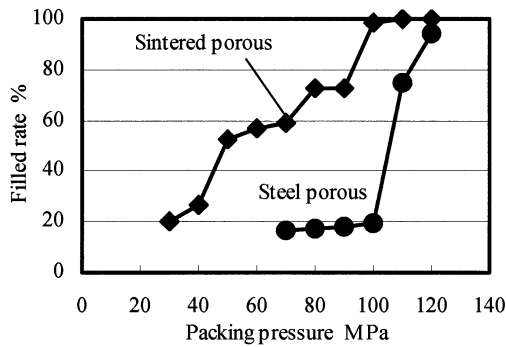


Fig.10 Comparison of the filled rate between sintered porous and steel porous

6.4 光造形多孔質と鋼材多孔質との比較

金属光造形金型多孔質ブロックと鋼材金型多孔質ブロックにおける各保圧での薄肉部充填率の比較を図10に示す。多孔質ブロックを用いても、鋼材金型に比べ、金属光造形金型の方が低い圧力で薄肉部へ充填している。

6.5 保圧と充填状況

保圧100~120MPaにおける薄肉部の樹脂の充填状況を比較したのが図11である。保圧によって樹脂が薄肉部を満たす状態が変化していく様子と各条件による違いがわかる。

7. 金型内圧力

薄肉部への充填状況と金型内の圧力との関係を調べるために、圧力センサ(双葉電子製EPセンサ)を金型コアに組み込んだ。センサの位置を図12に示す。成形品薄肉部近くにセンサ1、平板上部にセンサ2、平板下部にセンサ3と3本設置してある。保圧110MPaにおけるセンサ1の圧力測定結果を射出圧波形とともに図13に示す。射出圧波形で一端射出圧が110MPaに達した後、一度下がりがかけて再度110MPaに圧力が保たれるところが保圧に切り替わったところである。保圧に切り替わった直後に金型内の圧力がピークに達しているが、多孔質の有無に関係なく、金属光造形金型の方が鋼材金型よりも高い圧力に達している。保圧110MPaに対し、圧力の最大値は90MPaで、圧力がよく金型内に伝わっていることがわかる。また、光造形金型のほうが、圧力の立ち上がりが鋼材金型に比べ早い。これは光造形金型のほうが樹脂の流動が速く、樹脂が早く充填したからであると考えられる。センサ2,3でも同様の波形が現れている。金属光造形金型におけるセンサ1の金型内圧力について、保圧による変化を示したのが図14である。保圧が30MPaでも金型内圧力は一旦60MPaまで達しており、保圧が増加するにつれて最大圧が増加するとともに圧力がかかる時間が長くなっている、金属光造形金型

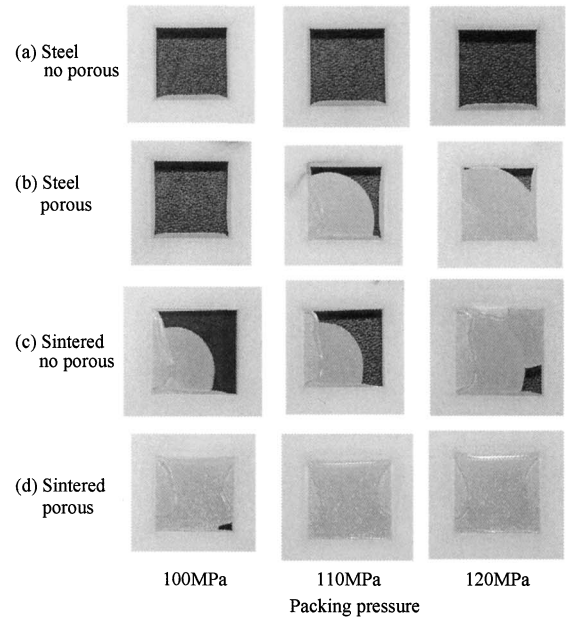


Fig.11 Comparison of the filled status according to the packing pressure

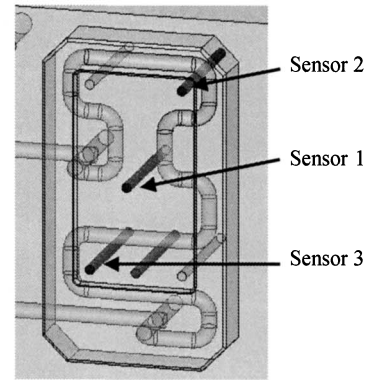


Fig.12 Positions of the pressure sensors

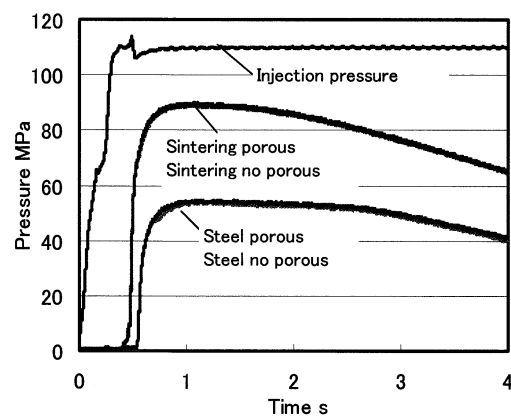


Fig.13 Comparison of the pressure on the mold surface

において低い保圧でも薄肉部へある程度充填したのは、低い保圧でも型内圧が60MPaに達していたからではないかと考えられる。一方鋼材金型における圧力を示したのが図15である。型内圧が50MPaを超えるのは、保圧が110MPaを超えてからであり、鋼材金型においては、保圧が110MPaを超えないと薄肉部への充填が行われなかったのは、金型内に伝わる圧力が低かったためであると考えられる。

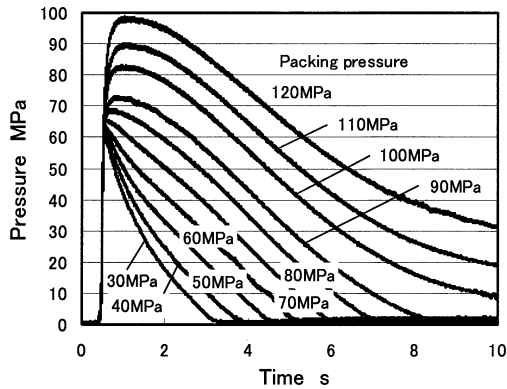


Fig.14 Change of the pressure on the sintered mold surface according to the packing pressure

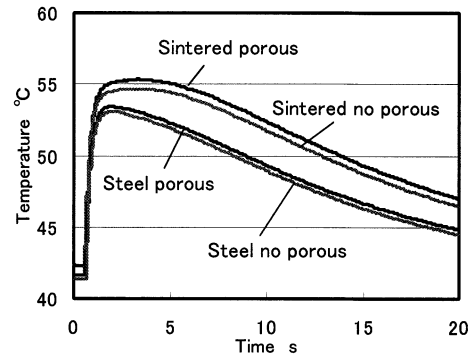


Fig.18 Comparison of the increase of the mold surface temperature

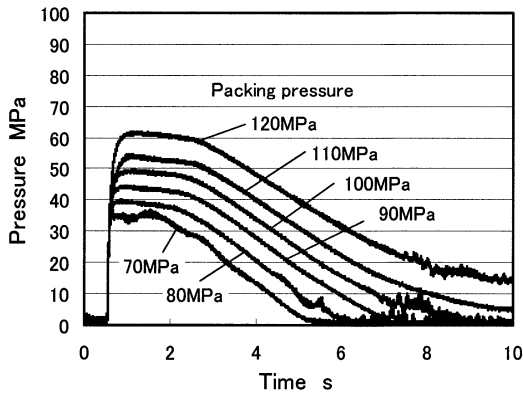


Fig.15 Change of the pressure on the steel mold surface according to the packing pressure

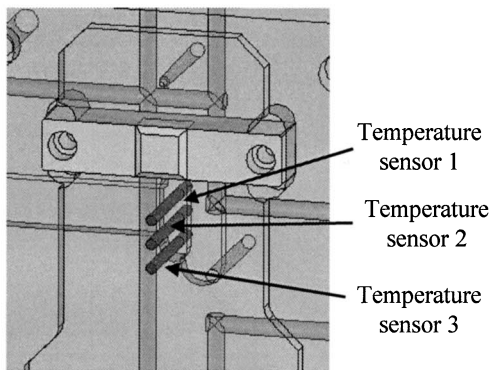


Fig.16 Positions of the temperature sensors

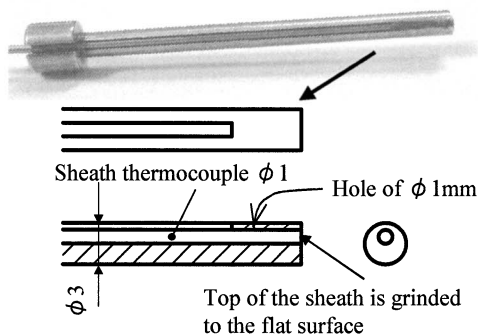


Fig.17 Structure of the temperature sensor

8. 金型内温度

金型内の温度を比較する為に、金型のキャビティ表面に図16に示すように温度センサ(K熱電対)を組み込んだ。温度センサは図17に示すように、直径1mmのシース熱電対を直径3mmのピンの側面に掘った溝に埋め込み、ピン先端部に穴をあけて、シース熱電対を通して、熱電対の先端が金型表面に突き出るようにし、さらにシース熱電対の先端面が金型表面と同一になるように削ったものである。これによって、金型表面から深さ1mm程度の深さの温度が検出されることが考えられる。保圧110MPaでの温度センサ1の測定結果を図18に示す。多孔質の有無に関係なく光造形金型のほうが鋼材金型に比べ、高い温度を示している。計測した温度は、金型表面の温度であるが、樹脂表面温度も光造形金型の場合の方が高くなっていると考えられる。光造形金型のほうが金型の熱伝導率が低い為、充填時の樹脂温度が鋼材金型の場合よりも高く、これが、保圧が金型内によく伝わる原因であると考えられる。

9. 結 言

厚さ0.2mmの薄肉平板部を持つ射出成形品を対象として、薄肉部への充填圧力について、金属光造形金型と鋼材金型とを比較した。

- (1) 金属光造形金型では、多孔質表面がない場合でも薄肉部に樹脂を注入する圧力が低い。保圧が金型内に伝わる圧力も高く、金型表面温度の上昇量も鋼材金型より高い。金属光造形金型の低熱伝導性により射出時の樹脂流動性がよいためと考えられる。
- (2) 金属光造形金型で薄肉部に多孔質表面を設ければ、低い保圧で薄肉部に樹脂を充填することができる。鋼材金型に多孔質材を埋め込むよりも充填する圧力は低かった。

本研究に対し地域新生コンソーシアム研究開発事業「金属光造形と成形技術の高度化による企業連携グリッドモデル構築」(平成18-19年度)の助成を受けた。

参 考 文 献

- 1) 阿部諭, 東喜万, 峠山祐彦, 不破勲, 吉田徳雄: 金属光造形複合加工法の開発—金属光造形法と切削仕上げのオンマシニング複合化—, 精密工学会誌, 73, 8(2007)912.
- 2) S.Abe, Y.Higashi, I.Fuwa, T.Yoshida, T.Yoneyama: Milling Combined Laser Metal Sintering System and Production of Injection Molds with Sophisticated Functions, Proc. 11th Int. Conf. on Precision Engineering (2006) 285.
- 3) 米山猛, 香川博之, 阿部諭, 末廣栄覚: 金属光造形複合加工金型による射出成形の高精度化, 精密工学会誌, 73, 9 (2007) 1046.
- 4) 米山猛, 香川博之, 阿部諭, 宮丸充: 金属光造形複合加工金型を用いたサイクルタイム短縮, 成形加工, 17, 10(2007)662.
- 5) M.Kojima, H.Narahara, Y.Nakao, H.Fukumaru, H.Koresawa, H.Suzuki and S.Abe: Permeability Characteristics and Applications of Plastic Injection Molding Fabricated by Metal Laser Sintering Combined with High Speed Milling, Int.J. of Automation Technology, 2,3(2008)175.