

低密度層からなるガスベントを有する金属光造形金型

Metal Laser-Sintered Mold with Built-In Low-Density Gas-Vents

不破 勲* ・ 東 喜万* ・ 阿部 諭* ・ 武南 正孝*
Isao Fuwa Yoshikazu Higashi Satoshi Abe Masataka Takenami

金属光造形金型において、レーザ照射条件により造形密度のコントロールが可能という特徴を活かし、金型設計時にガス抜き用の経路として金型内部の任意箇所到低密度造形層をあらかじめ配置することにより、一体構造でありながらガスベント機能を有する金型を開発した。

これにより、金型を分割構造にする必要がなく、組立調整工数を大幅に削減できる。さらに低圧条件における射出成形が可能となるため、省エネルギー成形も期待できる。

In the mold fabrication utilizing metal laser-sintering and milling, a mold with a gas-vent function in a uni-body structure has been developed by placing low-density area in arbitrary positions in the mold as gas-vent paths at the time of mold design by taking advantage of the features enabling sintering density control through laser irradiation conditions.

The developed process eliminates the need for designing a mold in many pieces components, thus substantially reducing the assembly and adjustment time. The mold also allows low-pressure injection molding, enabling energy-efficient molding.

1. ま え が き

金型は製造業においてもっとも重要な基盤技術の一つであるが、近年、日本の金型業界を取り巻く環境は非常に厳しいのが実情である。IT関連産業を始め、家電・自動車に至るまで、製品のライフサイクルは年々短くなっており、それに伴い新製品の開発期間も短縮されている。そうしたなかで、金型に対しても短納期や低コスト化が求められている。コストでは中国や東南アジア諸国に勝てなくなった今日、超短納期化（たとえば、従来2ヶ月であった金型納期を3週間に短縮）や高機能、高精度、高品質などの特徴をもった革新的な金型の創出が強く望まれている。

金属光造形複合加工システム^{1), 2)}は、複雑な形状のプラスチック金型を超短納期（従来工法の1/2から1/3の納期）で製造することを可能にした当社独自の「コンカレントエンジニアリングツール」である。図1に金属光造形複合加工システムのプロセスの概念を示す。

また、本システムの加工工程を以下に記す。

- (1) 材料を造形プレート上に所定の厚みに積層し、赤外線レーザなどを照射し選択的に焼結させてプレートに接合する。

- (2) 順次金属粉末材料を供給し、レーザで焼結させて積層する。
- (3) 切削工具の有効刃長以下の厚みまで積層した時点で、表面の粉末付着部をエンドミルで切削仕上げする。
- (4) (2) と (3) を繰り返す。

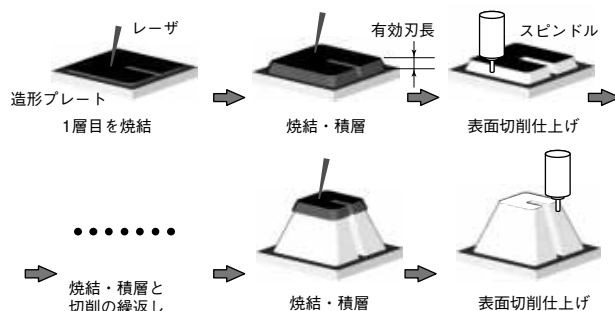


図1 金属光造形複合加工システムのプロセス概念図

このシステムの特徴は、すべての層の造形が完了した後には切削を行うのではなく、複数層のレーザ焼結を行い、その積層高さが切削工具の有効刃長に達する前に切削工程を適宜挿入することにある。これにより、従来の切削加工で

はできなかった深い溝や湾曲した複雑な形状も刃長の短い小径のエンドミルで加工することが可能となる。このように、本来ならば放電加工を必要としていた金型も、金属光造形複合加工システムの導入により、ワンプロセス（1工程）で作製でき、その寸法精度・表面粗さもマシニングセンタに匹敵するレベルを確保できる。

このシステムにより製作した金型には三つの特徴がある。

(a) 複雑形状の金型を短納期で製作が可能

従来工法では分割構造を採用しなければならなかった複雑な形状の型部も、一体物として製作が可能となるだけでなく、今までは切削加工後に放電加工を必要としていた深いリブ加工も本システムであれば1工程で製作が可能となる²⁾。

(b) フレキシブルな水管が金型内部に加工可能（図2）

従来の切削や放電加工などの除去加工法では、ドリルなどによる直線的な水管しか形成できなかった。しかし、付加加工である金属光造形法では、内部構造を自由にモデル化して作製できるため、フレキシブルな水管を形成できる。そのため、成形により蓄熱する部分に重点的に冷却を施したり、ロックアウトピンやガイドピンなどの構造物を回避して温度調節回路を形成したりすることができる。この3次元水管を活用することにより、射出成形時間の短縮や、成形品の成形精度向上が可能となる³⁾。

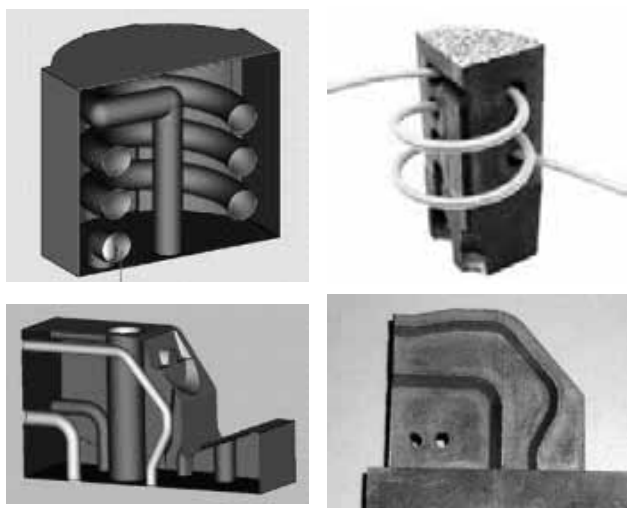


図2 金属光造形による3次元水管事例

(c) レーザ照射条件により造形物の密度制御が可能

溶融した樹脂を金型内に射出する際、キャビティー内の空気および発生したガスが抜けなければ樹脂の未充填が起こり、そのうえ圧縮された空気やガスが異常加熱され成形品に焼けが発生するなどの問題が生じる。これらを防止するため、通常金型ではキャビティーの周囲に浅い溝を設ける方法、突出しピンのピン穴に

隙間を設ける方法、あるいは割型にして隙間を設ける方法など、種々の方法が用いられている。

これに対して金属光造形では、造形物密度の制御が可能という特徴を活かし、金型設計時にガス抜き用の経路として、低密度造形層を任意の箇所にあらかじめ配置することにより、一体物の金型でありながらエアベントを形成できる。これにより任意の箇所に低密度層を形成でき、その結果、ガス抜き機能を有する一体物の金型を製作できる。

本稿では、(c)の特徴である低密度造形層を活用した金属光造形金型のガス抜き効果とともに、低密度造形金型の活用事例を紹介する。

2. 造形密度制御と通気性

2.1 造形条件と造形密度の関係

レーザの照射条件による造形密度の変化を、造形物の断面組織を観察することにより評価した。図3にCO₂レーザを用いた造形物の断面写真を示す。

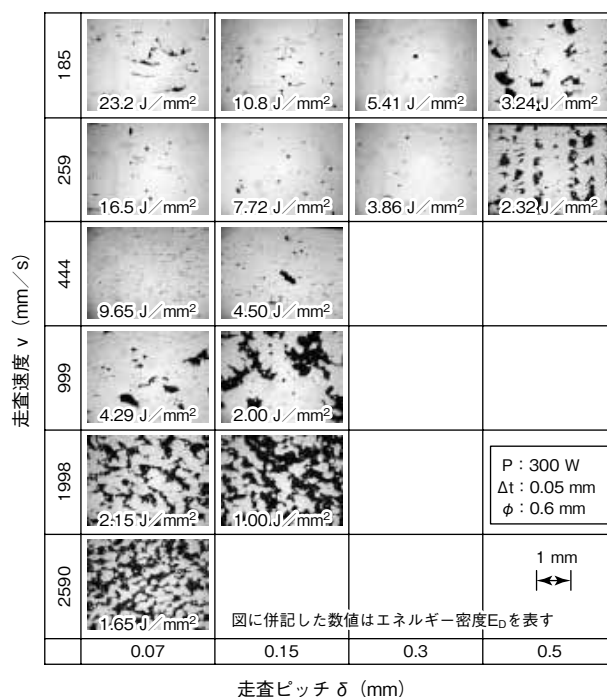


図3 断面組織写真

造形は、照射条件としてレーザパワー（P）を300 W、粉末積層厚み（Δt）を0.05 mm、レーザスポット径（φ）を0.6 mmと条件を一定に保ち、レーザの走査ピッチと走査速度のパラメータを変動させて行った。なお、図中に示したエネルギー密度 E_D （J/mm²）は、レーザパワーをP（W）、レーザの走査速度を v （mm/s）、走査ピッチを δ （mm）とした場合、式（1）で計算される。

$$E_D = \frac{P}{v \times \delta} \quad (1)$$

造形に用いた原料粉末は、鉄系粉末を母材として焼結性を向上させるため種々の低融点金属などを配合したものである。

レーザの走査速度が遅く、また走査ピッチが狭いほど造形密度は高くなり、また逆に、レーザ走査速度が速く、走査ピッチが広いほど造形密度は低くなっている。このように、単位面積当りに照射するレーザのエネルギー密度を変化させることにより、造形密度を制御できることがわかる。

エネルギー密度が5 J/mm²以上では、金属粉末はほぼ完全に熔融されて、高い密度の造形組織となる。これは、熔融された金属が金属粉末間の隙間を埋めると同時に、加熱された既造形層と一体化するからである。

一方、5 J/mm²未満のエネルギー密度では、レーザ照射とともにレーザ照射部分の粉末およびすでに造形された前層近傍の温度は上昇するが、前記高密度造形条件ほど温度は上昇しないことが確認される。したがって、材料成分のうちの比較的低融点金属や一部の高融点粉末の表層のみが熔融して、隣接する粉末や既造形層と融着するものの、粉末間のすべての隙間を埋めることなく、低密度な造形物となるものと考えられる。

しかし、エネルギー密度が1 J/mm²以下では、低融点成分の金属粉末も熔融しないため、造形が不可能である。

2.2 造形条件と通気性との関係

レーザエネルギー密度を変化させることにより、密度の異なる3種類の造形物を作製し、その断面観察および空孔率の測定を行う。その後、下記に示す条件のもと、エア加圧による通気性の評価を行う。

30×30×t15 mmの造形物を製作した後、ワイアカットによりφ20×t5 mmのテストピースを作製した。図4に通気性測定機の概要を示す。

通気孔を有する密閉したスペース間にテストピースを配置し、減圧器により調整された種々の圧縮空気を導入したときの通気立上がり時間、および積算流量を測定すること

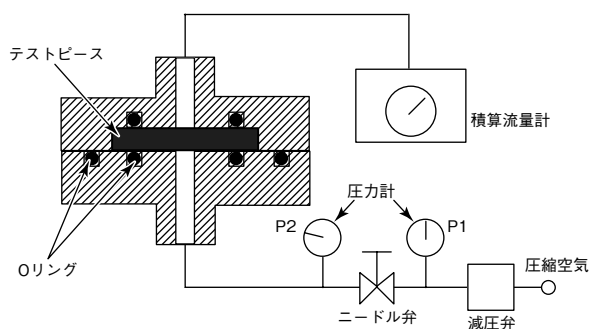


図4 通気量測定方法

により、通気性を評価する^{4), 5)}。

図5にエア圧力と通気量の関係を示す。エネルギー密度が9.9 J/mm²では、空孔率がほぼ0 %の高密度体となり、通気性はまったく認められない。

エネルギー密度が低くなるに伴い、造形物の空孔率は高くなり、その結果、通気量が次第に増加する傾向が認められる。エネルギー密度が3.0 J/mm²では、空孔率8.57 %の低密度体となり、エア圧力0.3 MPaでの通気量は3.6×10³ cm³/min・cm²となる。この通気量はエアVENT材として使用されている市販多孔質体の2～5倍の値である。

これらの結果より、金属光造形により得られた低密度造形層はエアVENTとして十分な通気性をもつことが明らかとなり、ガスVENT機能をもった一体物の金型製作が可能となることが立証される⁶⁾。

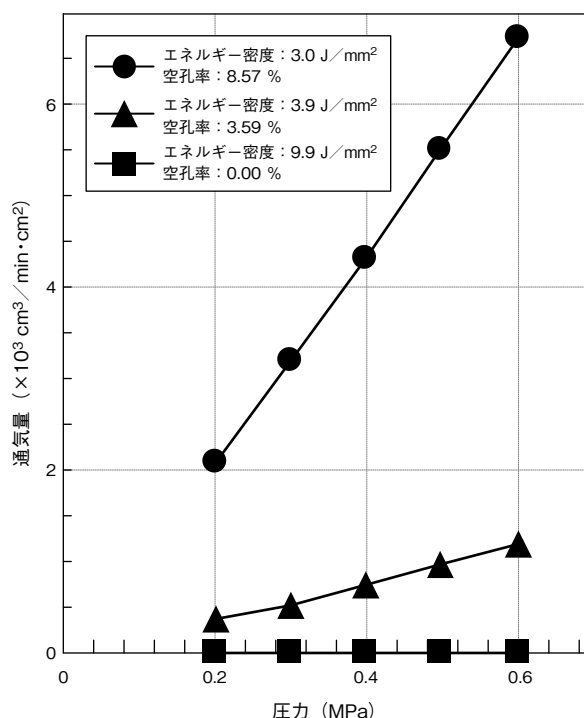


図5 各造形条件におけるエア圧力と通気量の関係

2.3 表面状態の観察

図6に、レーザパワーが300 W、走査速度が1998 mm/s、走査ピッチが0.07 mmの低密度造形条件（このときのレーザエネルギー密度は2.15 J/mm²）で造形した造形物の表面を、φ0.5 mmのボールエンドミルで切削した後の表面観察写真を示す。造形物の切削後表面に現れる空孔の平均径は数10 μmである。

切削後の造形物表面に現れる空孔は、断面組織観察により見られる空孔径よりも小さくなっている。ボールエンドミルによる切削工程において空孔自身がつぶされることが原因と考えられるが、いずれにしろ、この空孔を通してガスが抜ける。空孔径が小さ過ぎるとガスの通気性が低下し、逆に大き過ぎるとこの空孔が成形面に転写され成形品の面

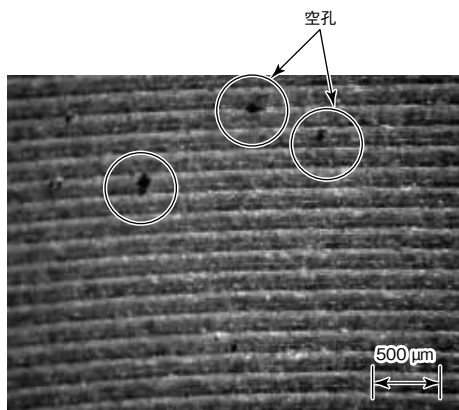


図6 低密度造形部の切削後表面写真

が粗くなる。したがって、これら空孔の大きさや分布を制御することが重要なポイントとなる。

3. ガスベント効果の検証

金型設計時にガス抜き用の経路として、低密度造形層を金型内部にあらかじめ配置することにより、一体物の金型でありながらガスベントを形成できる。金型を分割構造にする必要がないため組立調整工数を大幅に削減する効果に加えて、低圧条件での射出成形が可能となるため、省エネルギーにも寄与することが期待できる。

3.1 検証形状

図7に示すようなメッシュ形状の成形では、一般的に外周の枠に樹脂が先行して流れ、その後メッシュ部分に流れ込むため袋小路になりやすい。そのため、金型は、型部を数ブロックに分割したり、ピンなどを挿入してガスベントを設けたり、多孔質体を金型に埋め込んだりすることで、金型のキャビティーに残存するエアや、樹脂から発生するガスを逃す構造を別途設ける必要がある。このように、メッシュ形状部品の金型製作は非常に手間が掛かるうえ、金型のコストアップになっている。

このような事情を考慮し、ガスベント効果の検証としてメッシュ形状部品を取り上げる。対象となる製品としては、

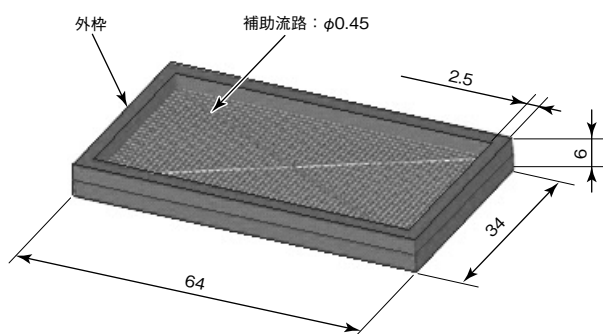


図7 モデル形状

空気清浄機やドライヤ、水周り関連製品などの各種フィルタが挙げられる。

3.2 検証用モデル

低密度造形部をもつガスベント一体金型の成形性（通気性および樹脂流動性）を評価するため、図7、図8に示すメッシュ形状部品を取り上げる。なお、メッシュの線径は $\phi 0.4$ mm、ピッチは1 mmである。

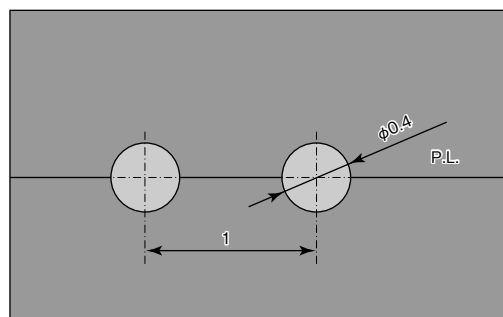


図8 メッシュ断面形状およびピッチ

3.3 金型製作と成形評価

金属光造形複合加工法により、低密度造形部を有するガスベント一体金型を作製し、その成形性の評価を行う。

2.15 J/mm²のエネルギー密度で造形した通気性のある低密度造形金型と、9.9 J/mm²のエネルギー密度で造形した通気性のない高密度造形金型の2種類を作製した。図9に低密度造形による金型の型部（コア側）外観を示す。

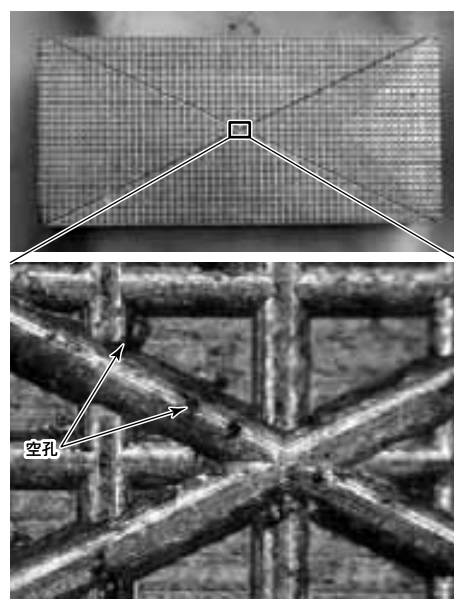


図9 型部外観

成形材料としては、成形が比較的容易なポリプロピレン（polypropylene）を用いている。図10に金型温度を75℃、射出圧力を75 MPaの条件下で成形したときの試作品の写

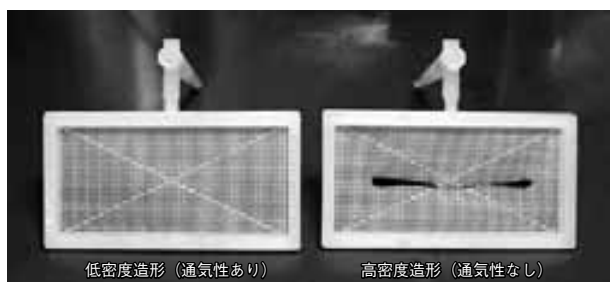


図10 同一成形条件での充填状態

真（金型への充填状態の差）を示す。

通気性のない高密度造形金型を用いた場合は、ガス溜りにより樹脂は完全に充填せず、成形ばりやガス焼けが発生した。また、射出圧力を110 MPaまで高めた高圧条件下においても改善は認められなかった。これに対し、通気性のある低密度造形金型を用いた場合は、射出圧力を45 MPaまで低減させた低圧条件下においても、樹脂は容易に充填し、成形ばりやガス焼けはまったく発生せず、良好な成形体が得られる。

3.4 低密度造形金型の事例

図11に金属光造形複加工システムにおける低密度造形部を有するガスベント一体金型の活用事例を示す。

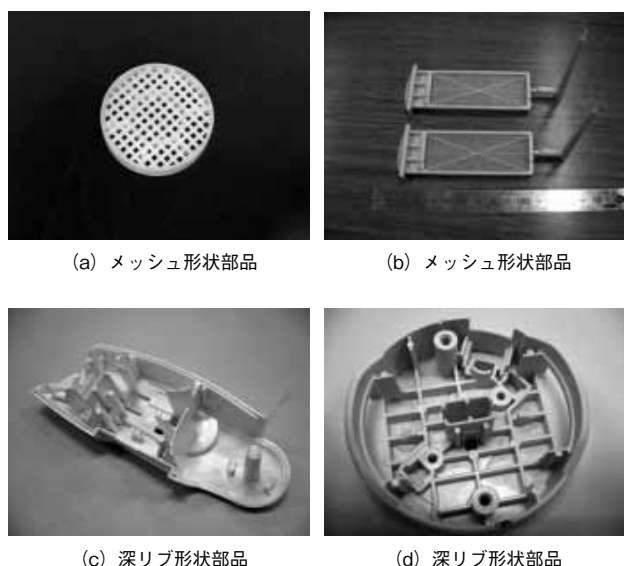


図11 低密度造形金型の活用事例

メッシュ形状部品である（a）および（b）、深リブ形状部品である（c）および（d）において、金型の中に低密度造形部から成るガスベント層を配置したことにより、いずれも良好な成形体が得られる。

このように、金属光造形により製作された低密度ガスベント一体金型は短納期で作製可能であり、かつメッシュ形

状部品および薄肉成形部品に対しても低圧で成形できる特徴をもつことが立証される。

4. あとがき

金属光造形金型において、レーザ照射条件により造形密度のコントロールが可能という特徴を活かし、金型設計時にガス抜き用の経路として金型内部の任意箇所に低密度造形層をあらかじめ配置することにより、一体構造でありながらガスベント機能を有する金型を開発した。

これにより、金型を分割構造にする必要がなく、組立調整工数を大幅に削減できる。さらに低圧条件における射出成形が可能となるため、省エネルギー成形も期待できる。

しかし、低密度造形層表面に形成される空孔にはばらつきがあり、小さ過ぎる部位ではガスの通気性が悪くなり、逆に大き過ぎる部位ではこの空孔が成形面に転写され表面が粗くなるといった課題を残している。今後、これら空孔の大きさや分布を精密に制御することが重要となる。

なお、本研究は平成15、16、17年度中小企業総合事業団戦略的基盤技術力強化事業「金属光造形複加工技術の高度化による革新的金型製造法の研究開発」の委託を受けて行ったものである。

*参考文献

- 1) 東 喜万, 阿部 諭, 峠山 裕彦, 吉田 徳雄, 不破 勲: 金属光造形の開発と金型への応用, 松下電工技報, No. 78, p. 57-63 (2002)
- 2) 阿部 諭, 不破 勲, 東 喜万, 峠山 裕彦, 吉田 徳雄, 太田 卯三: 金属光造形複合加工システムによる高機能射出成形金型製作, 松下電工技報, Vol. 53, No. 2, p. 5-11 (2005)
- 3) 米山 猛, 香川 博之, 鈴木 裕, 阿部 諭, 宮丸 充, 中村 芳信, 五香 征広, 角南 不二夫: 金属光造形複合加工を用いた金型内冷却水路の配置と射出成形精度の向上, 型技術, Vol. 19, No. 13, p. 18-19 (2004)
- 4) 加藤 龍彦, 西川 和之: 通気性金型型材「ポーセラックス II」の射出成形への適用, プラスチック成形加工学会誌「成形加工」, Vol. 5, No. 3, p. 177-182 (1993)
- 5) 加藤 龍彦, 西川 和之: 特集「通気性金型型材」, 型技術, Vol. 8, No. 12, p. 52-56 (1993)
- 6) 小島 道雄, 鈴木 裕, 植原 弘之, 阿部 諭: 金属光造形複合加工法を用いた機能性金型のエアバント効果, 型技術, Vol. 21, No. 8, p. 106-107 (2006)

◆執筆者紹介



不破 勲
生産技術研究所



東 喜万
生産技術研究所



阿部 諭
生産技術研究所



武南 正孝
生産技術研究所