

粉末焼結型積層造形法における微細穴の成形条件

九州工業大学 ○榎原 弘之、小笠原 清二、鈴木 裕

要 旨

本研究では粉末焼結型積層造形法を用いて曲がり冷却管を持つ金型製造を可能とするために、品質工学を適用して残留粉末の除去の容易性を向上させる成形条件を求めた。確認実験から利得の再現性を確認でき、また円形の曲線管での造形実験においても除去性が向上し、除去性評価で得られた成形条件の有用性が確認された。

1. 結論

金型による成形加工は、加熱熔融した材料を金型内で冷却固化しながら形状付与するエネルギー変換プロセスであり、冷却設計はきわめて重要な設計項目となっている。しかしながら、金型内部には、冷却管のみならず他の構成部品が配置されており、エジェクタピンなど他の設計要素との干渉や、加工可能性の問題などから、現状では非常に不十分な設計のままで冷却管の形状が決められ、金型が製造されている。

レーザー焼結積層造形法（以下 SLS 法）は、図 1 に示すように、金属粉末などの材料を CO₂ レーザ光の照射により選択固化し 100 μm 程度の厚みの薄層を形成して積層溶着しながら立体形状を造形する技術である。切削加工と比較して、加工可能な形状に制限がない点に特徴がある。これまで不可能もしくは非常に費用が掛かると考えられる加工形状も、原理上は容易に加工ができる。

本研究で開発を行う金型設計製造技術は、SLS 法を用いて冷却路をあらかじめ最適形成した金型材をまず製造し、NC 切削により精密に仕上げた金型を実現するという新しい金型製造プロセスを開発することにある。他の設計要素と冷却路の物理的な干渉を迂回回避しながら理想的な冷却回路を配置することができる。これまでの設計手順と異なり、独立に最適問題を考えることができデジタルマニファクチュアリングを実現するための有力な設計生産手法となりうる。

本研究で提案する技術を確立するために必要な技術的課題として、以下が挙げられる。

- (1) 金型内に自由冷却路を生成するための CAE との連携技術の開発
- (2) SLS 法による冷却管成形技術の確立
- (3) CAE による解析を可能とするための、レーザー焼結積層造形金型の熱的物性値の計測

本報告では、提案する技術を開発するために必要な技術的課題の一つである、冷却管の成形、すなわち微細穴の成形条件について検討した結果を報告する。

2. 管内残留粉末のグリーンパーツからの除去性評価

2.1 実験方法

冷却管の設計自由度を増すためには、製造技術の制約条件について知ることと、その制約条件をできるだけ減らす製造技術を開発することが必要となる。レーザー焼結積層造形法で冷却管を製造する場合には、レーザー光の熱反応によって金属粉末同士を結合させるために、造形条件が適切でないと穴がつぶれてしまう現象が発生する。

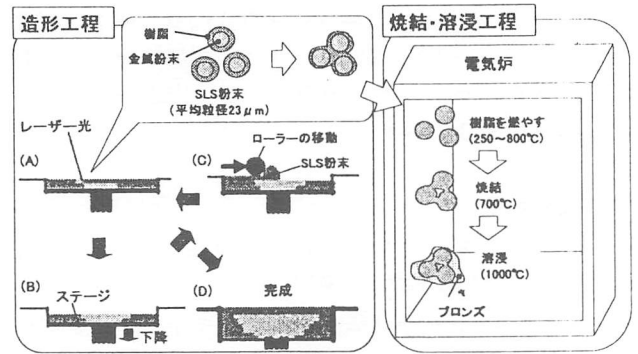


図 1 レーザ焼結積層造形法 (SLS 法)

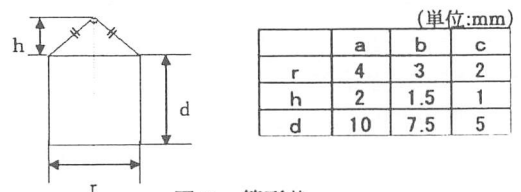


図 2. 管形状

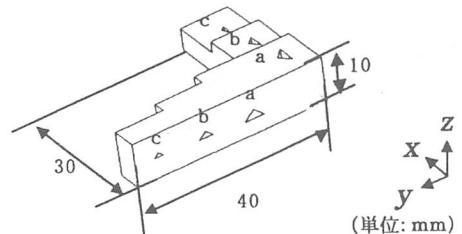


図 3. 造形モデル

表 1 制御因子

| | | 水準 1 | 水準 2 | 水準 3 |
|---|--------------------------|-------|-------|------|
| A | 積層後の待ち時間 (sec) | 0 | 10 | 20 |
| B | レーザーパワー(W) | 16 | 18 | 20 |
| C | アウトラインレーザーパワー(W) | 12 | 14 | 16 |
| D | 積層厚さ(μm) | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
| E | パートベッド加熱温度(°C) | 115 | 125 | 135 |
| F | ローラースピード(mm/s) | 100 | 125 | 150 |
| G | 吸引流量(mm ³ /s) | 81200 | 25100 | 2750 |
| H | アウトラインレーザー照射間隔(μs) | 31 | 36 | 41 |

■ 熱に関する造形条件 □ 状態に関する造形条件

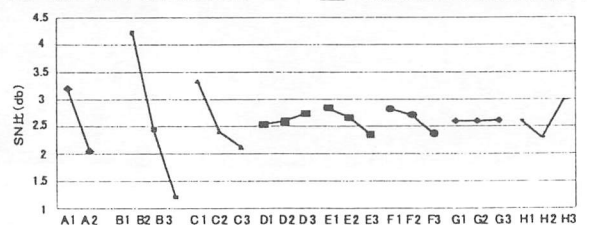


図 4 要因効果図

このことから、微細な穴も成形できるための成形条件を確立しておくことが重要であると考えられる。そのため、微細な曲がり穴を形成可能な成形条件について、品質工学の手法に基づき研究を行う。本研究では、管内残留粉末をどれだけ除去することができるかを品質工学の望小特性を用いて評価する。また改善した条件での確認実験を行い再現性の検討を行う。

2. 2 造形モデルと実験条件

品質工学では、ばらつきを評価し減少させることを問題とする。テストピースの製造過程では、CO₂ レーザ光を上部から照射し加熱すること、上部から予備加熱し材料の温度を上昇させるために、造形時の管の向きで穴の形成に影響がある。このため、管の向きを誤差因子として、図3に示すx方向,z方向に配置する。DTM社製のSinterstation2000 (CO₂ レーザ光、ビーム径 550 μm) で成形し、材料粉末は Laser Form ST-100(フェノール樹脂コーティング SUS420、平均粒径 23 μm)を用いた。

実験では、残留粉末を図2の管口片面より一定流量により15秒間吸引し除去する。次に管口より測定針を入れ深さ測定を行い、管内の残留粉末の割合を求めて除去性とした。

除去性について、熱の影響および造形装置の影響があると考え、それぞれの条件を変化させ制御因子とした(表1)。これらの制御因子を表1に示す水準で設定した。それぞれの水準をL18直交表に割り振り実験を行った。

3. 実験結果

3. 1 要因効果図

望小特性によりSN比を算出して求めた要因効果図を図4に示す。横軸に各因子の水準を、縦軸にSN比を示す。図4より因子Aの積層後の待ち時間、因子Bのレーザーパワー、因子Cのアウトラインレーザーパワー、要因Dの積層厚さ、因子Eのパートベッドの加熱温度、因子Fのローラースピードの傾きが、除去性に大きく影響を及ぼしていると考えられる。本実験内の最適条件としてA1-B1-C1-D3-E1-F1-G3-H3を選定した。

3. 2 確認実験および考察

要因効果図の、各因子の中間の水準である初期条件A2-B2-C2-D2-E2-F2-G2-H1と比較して確認実験を行った。結果を表3に示す。

確認実験では、z方向管形状のr=2mm管は除去ができなかった。しかしその他の管径においては除去性の向上を確認する事ができた。本実験では3.68dbの改善効果が得られた。推定値と確認実験での利得の差が約1db弱であるため、利得が推定値に近く再現性は良いと判断できる。

この造形条件で、図5に示す直径4mm~1mmの曲がり穴を持つテスト形状での成形実験を行った。結果を図6に示す。表4に改善前と改善後の曲がり穴の粉末除去量の比較を示す。改善前条件と比較して、1.5mm程度の微細な穴形状も造形可能となった。

6. 結論

本報告ではSLS法による曲がり穴成形に対し、微細穴の成形を可能とするために品質工学の手法に基づきテストピースを用いた実験によって残留粉末の除去性の評価を行い、以下のような結果が得られた。

1. 残留粉末の除去性にはレーザーパワー、アウトラインレーザーパワー、パートベッドの加熱温度の順に大きな影響がある事を確認した。
2. 確認実験より、利得の再現性を確認できた。また円形の曲線管での造形実験においても除去性の向上が確認でき除去性評価で得られた成形条件の有用性が確認された。

<謝辞>

本研究の一部は、九州産業技術センター産学R&D推進研究助成2001-2002:A-1, H13年度九州工業大学学術研究助成金,科学研究費補助金(No. 13555075)により行われた。ここに謝意を表する。

表3 確認実験

| 除去性 | 最適条件 | 初期条件 | 利得 |
|--------------|------|------|------|
| 推定値のSN比(db) | 6.36 | 1.75 | 4.61 |
| 確認実験のSN比(db) | 5.98 | 2.30 | 3.68 |

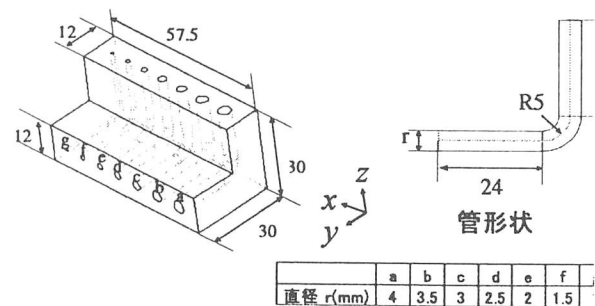


図5 テスト形状

表4 粉末除去量の比較

| | 改善前 | 改善後 |
|--------|-------|-------|
| 全重量(g) | 140.7 | 140.6 |
| 除去後(g) | 138.9 | 132.7 |
| 除去量(g) | 1.8 | 7.9 |

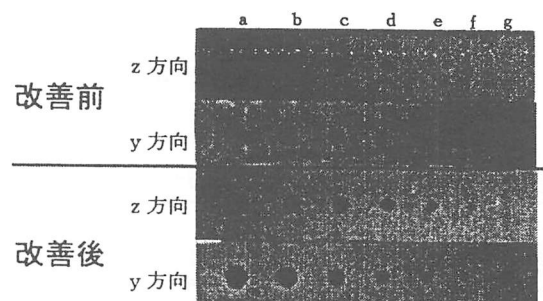


図6 穴成形の改善結果