

金属粉末積層造形装置を用いた新規熱交換構造に関する実験的検討

平野 繁樹, 戸羽 篤也, 鈴木 逸人, 保科 秀夫

An Experimental Investigation on Advanced Heat Exchanging Units by using Selective Laser Sintering Machine

Shigeki HIRANO, Atsuya TOBA, Hayato SUZUKI, Hideo HOSHINA

抄 録

粉末や樹脂を積層し、光や熱により溶融または焼結し順次造形していくいわゆる3Dプリンタの高機能化、迅速化、および普及などにより、これまでには作製することのできなかった造形が可能となってきている。その結果、電子部品素材や医療用、航空宇宙用素材など、従来工法では作製することのできなかった機能性を有する複雑造形がなされている。なかでも金属粉末を材料として使用し、高出力レーザーにより焼結し直接造形を行う金属粉末積層造形装置によって、強度や耐久性、耐熱性が著しく向上した造形物の作製が可能となった。ここでは金属粉末焼結体の熱特性に注目し、これまでにない新規な熱交換構造体を金属粉末3Dプリンタを用いて作製し、その熱的評価を行った。

キーワード：3Dプリンタ、熱交換器

1. はじめに

造形材料を積層し光や熱により溶融または焼結造形を行う3Dプリンタにより、従来の機械加工法では加工が困難であった形状についても造形が可能となってきている。特に金属材料の造形が可能な造形装置では、機械的特性にすぐれた金属構造体の造形が可能であり、3D-CADデータからの連携などにより、迅速でかつ高い機能性を有する機械部材の造形手法についての研究が進められている^{1,2)}。本研究では、金属粉末造形装置により作製された造形物が有するすぐれた機械特性のなかでも熱的特性について注目し、熱交換が可能な構造体を設計・造形し実験的に検討を行った。造形に際し、レーザー照射条件が部材に与える影響について検討し、金属粉末積層厚さとレーザー照射について検討し、適切なレーザー照射条件について把握した。これらの条件をもとに、従来工法では作製が困難であった形状の新規熱交換構造体を設計し、熱交換特性について実験的に検討した。また、3Dプリンタの特長として、同一データから同一形状を有する構造体を造形できる（コピーが可能である）ことから、複数の固体をユニット化する多段化についても検討し、その熱特性について実験を行った。

2. 金属粉末積層造形装置

熱交換構造体の造形に使用した造形装置は金属光造形複合加工装置LUMEX Avance-25（松浦機械製作所(株)製）であり、その外観を図1に示す。



図1 金属粉末積層造形装置の外観

事業名：経常研究

課題名：高効率熱交換構造に関する研究

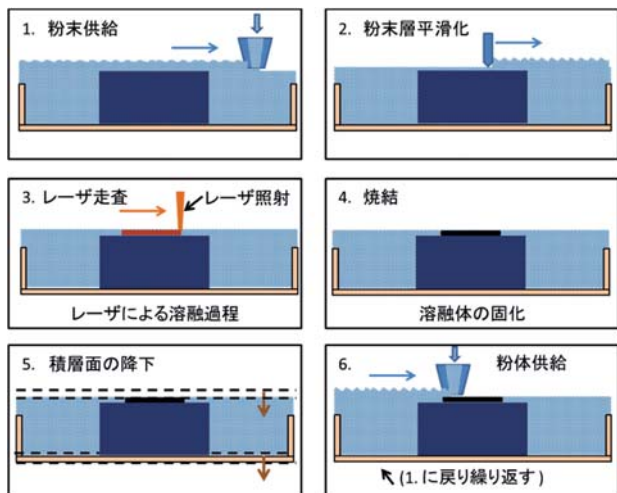


図2 金属粉末積層造形装置における造形模式図

粉体積層造形時の模式図を図2に示す。造形層に粉体を敷き詰め平滑化した後、レーザーにより粉体を焼結し、造形層を一段下げて、再び粉体層を形成し造形を繰り返し積層させていく。なお、図中では、一部の連続した工程を分割して表示している。また、造形条件によっては、図示した積層造形工程に加えて、複数の積層を繰り返した後、エンドミルによる機械加工が施される場合があり、これらの工程を組み合わせる積層造形を行っている。

3. 3D-CADによる熱交換構造の設計

3D-CADソフトであるSolidWorksにより、対向流型の熱交換構造の設計を行った。正方形の主流路の周囲を対向流路が覆う断面形状を有する。この形状は従来工法では作製することができない。これにより対向する高温流体と低温流体との熱交換が可能な構造となった(図3)。

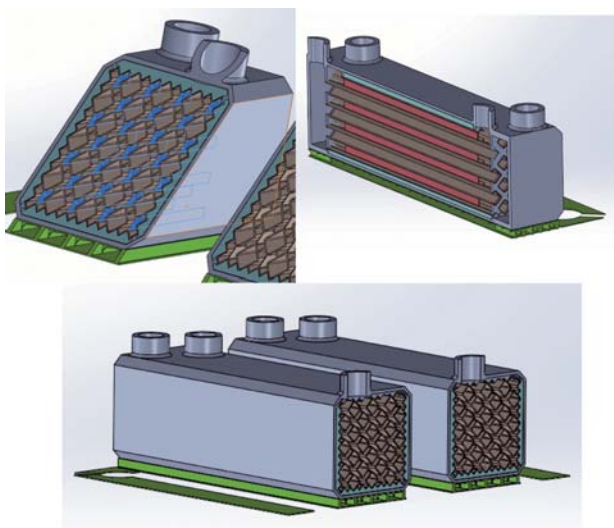


図3 3D-CADによる熱交換構造体設計

4. 金属粉末積層造形装置による熱交換構造の作製

3D-CADデータを基に金属粉末積層造形装置により熱交換構造体を試作した。その外観を図4に示す。炭素鋼ベースプレート上に順次金属粉末を積層・造形を行い、34mm×34mm×120mmの直方体に熱交換流体の出入口4個を有する熱交換構造体を2基作製した。ベースプレートから分離し研磨処理された1基の重量は約570gであった。一基はカットモデルとし、断面形状の確認を行った。積層造形において難しいとされる管頂部の造形についても良好であり(図5)、造形データとの公差は0.1mm以下であった。水流の加圧試験(0.5MPa)においても、水漏れ等は見られず、内部流路においても良好な造形がなされていることが確認された。

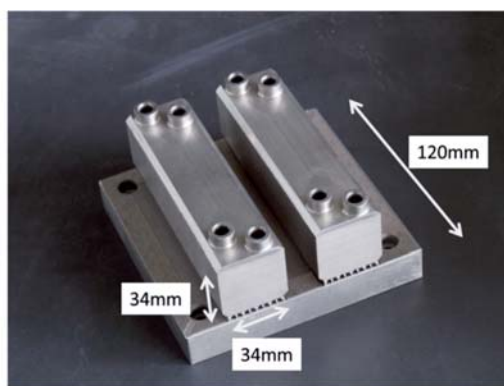


図4 造形された熱交換構造体

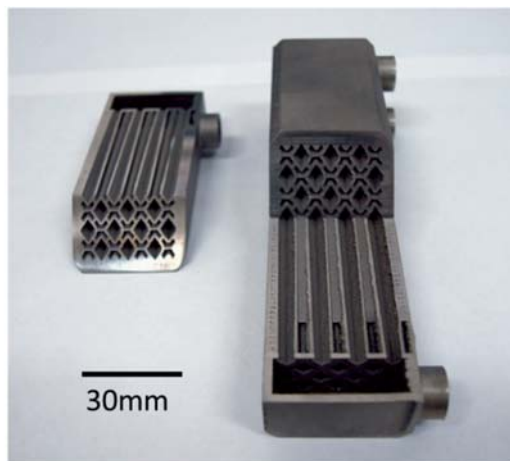


図5 カットモデルによる造形物の断面形状

5. 熱交換構造の熱的特性

5.1 単体による熱交換特性の計測

作製した熱交換構造体の熱特性を実験により測定した。2台の恒温槽を用意し、それぞれ高温流体循環系、低温流体循環系とし、それぞれ一定温度になるよう調整した。それぞれの液体を熱交換構造体へと接続し、流量と温度変化を測定することで熱交換特性の測定を行った。なお、高温水槽から熱

交換構造へと入る場合の温度を T_{Hin} 、熱交換構造から出る場合の温度を T_{Hout} とし、また、同様に低温水槽から熱交換構造へ入る場合の温度を T_{Lin} 、また、熱交換構造から出る場合の温度を T_{Lout} とする (図 6)。

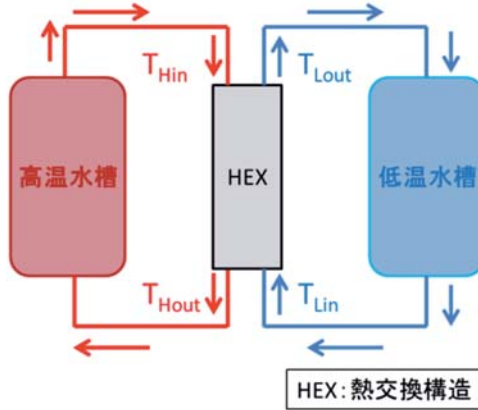


図 6 熱交換特性実験模式図

設定温度は高温側を 14°C から 24°C まで、また、低温側を 4°C から 16°C の範囲で設定し、それぞれの熱交換量と温度効率を測定した。その結果を図 7 に示す。なお、温度効率は高温側の温度効率 η_H を式(1)より、また、低温側の温度効率 η_L を式(2)により算出した。

$$\eta_H = \frac{T_{Hin} - T_{Hout}}{T_{Hin} - T_{Lin}} \quad (1)$$

$$\eta_L = \frac{T_{Lout} - T_{Lin}}{T_{Hin} - T_{Lin}} \quad (2)$$

この結果より、熱交換構造体の単体での温度効率は熱交換量の大きさに影響され高温側、低温側でもほぼ同じ約 0.18 となった。熱交換器は使用条件によって効率が異なるため、一般的に論じることは難しいが、同一条件においては既存のものと比較し効率が低いとは言えない結果となった。粉末金属焼結体は熱伝導率がバルク金属に対して小さくなること³⁾が理由の一つであると考えられる。

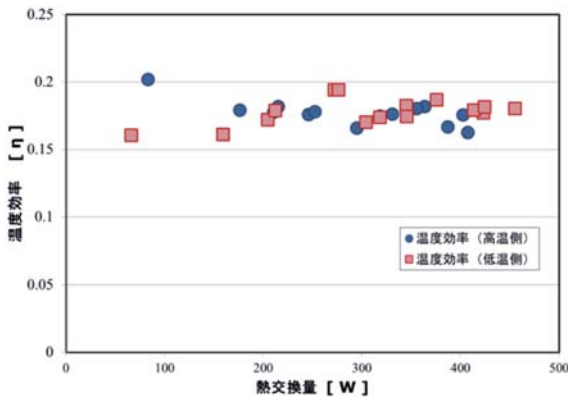


図 7 熱交換構造体の温度効率

5.2 多段化による熱交換特性の計測

3D プリントは同一形状の複製造形が可能であるため、複製された熱交換構造体を流体カップラで接続することで、多段化による大容量化が可能である。ここではその熱特性について実験により測定を行った。流体カップラによる多段化の様子を図 8 に示す。多段化した熱交換構造を、前節 5.1 における 1 基のユニットによる試験と同様に温度効率の測定を行った。その結果を単段との結果と比較し図 9 に示す。これより、多段化により温度効率は約 0.29 となり、単段の場合に比べて、約 61% 向上したことがわかった。これにより多段化により大容量化と効率向上が得られる可能性があることがわかった。



図 8 流体カップラにより多段化された熱交換構造体

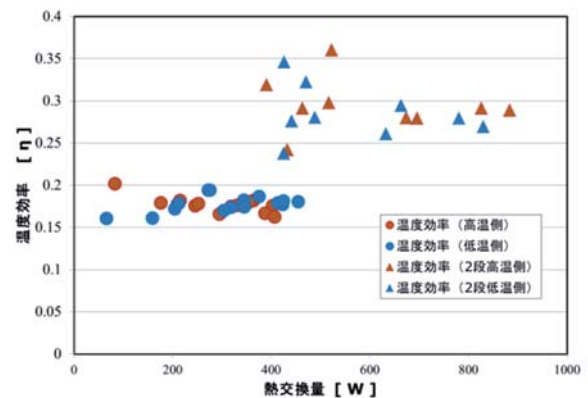


図 9 多段化された熱交換構造体の温度効率

7. おわりに

金属用 3D プリントを用いて、熱交換構造体を作製し、その熱特性について実験的に検証を行い、以下の結論を得た。

- (1) 熱交換構造体の造形は良好であり、十分な機能を発揮することが確認された。また、同一データからの複製品の精度も十分に高いものであった。

(2) 熱交換構造体単体では、温度効率約0.18であった。値そのものは同一条件における既存の熱交換器に比して大きなものではなかった。

(3) 熱交換構造を簡易な流体カップラにて接続し多段化することにより、約61%の温度効率の向上が見られた。多段化により熱交換量、温度効率ともに向上することがわかった。

今後は、この研究により得られた金属粉末造形装置による熱交換構造の造形に関する知見や、熱特性に関する結果を基に、新たな熱媒体とともにヒートシンクとして活用する研究を行っていく予定である。このヒートシンクは熱交換構造体の一つであることから、積層造形装置による造形の特長をさらに活かすため、熱伝導率の高い材料や効率向上が可能な断面形状の造形特性について検討を行っていく。

引用文献

- 1) N.Nakamoto, N. Shirakawa, Y. Miyata, T. Sone and H. Inui, Int. J. of Automation Tech. No.2, 168-174, 2008.
- 2) 木村貴広, 中本貴之, 粉体および粉体冶金, No.61, 531-537, 2014.
- 3) 戸羽篤也, 中村勝男, 平野繁樹, 稲野浩行, 北海道立総合研究機構工業試験場報告, No.314, 67-76, 2015.
北海道立総合研究機構工業試験場報告 No.315