

技術紹介

3D プリンタ製の誘導加熱コイル

今増 寿尚* 大沼 悠人** 水野谷敦司***

Induction Heating Coil Made by 3D Printer

Hisanao Imamasu, Yuto Onuma and Atsushi Mizunoya

誘導加熱用コイルの製作で、金属 3D プリンタを使用したコイル製作の開発を進め、純銅粉末での造形が難しいレーザー式金属 3D プリンタを使用して、銅合金粉末での造形評価を繰り返し行った。その結果、現在製作している誘導加熱用コイルと同等の性能・耐久性を持つコイル造形に成功し、現状のコイル製作時間を大幅に短縮することが可能で、複雑形状のコイルでも一定時間内での製作ができるようになった。

In the production of induction heating coils, the coil production using a metal 3D printer was developed. And the molding evaluation with copper alloy powder was repeatedly conducted by using a laser-type metal 3D printer, which is difficult to mold with pure copper powder. As a result, we succeeded in forming a coil with the same performance and durability as the induction heating coil which is currently manufactured and drastically reducing the coil manufacturing time. And even coils with complex shapes can be manufactured within a fixed time.

1. はじめに

今までの誘導加熱用コイルは、銅材の加工、ロウ付け作業により製作されている。特に、ロウ付け作業は、作業者の技量が必要で、製作にかなりの時間を要していた。その解決策として、3D プリンタ造形に着目し、研究開発を進めた。

一般に、金属 3D プリンタは、レーザー式と電子線式があり、レーザー式は、造形面の粗さが小さいものの、純銅粉末造形では密度が低くなり、コイル造形には適さない。一方、電子線式は、純銅粉末造形が可能であるが、造形面の粗さが大きく、造形後に追加工が必要であった。そこで、レーザー式 3D プリンタ(写真 1)を使用し、材料を銅合金粉末として、誘導加熱用コイルの製作評価を行った。



写真 1 レーザー式 3D プリンタ

2. 銅合金粉末による造形評価

2.1 レーザー式 3D プリンタ造形での課題

3D プリンタ導入当初の課題は、以下の 2 点である(表 1)。

- ①純銅粉末造形では、造形後の密度が低く、パイプ形状などの水路としては使用できない(水漏れする)。

表 1 造形直後の密度・導電率

	目標	純銅粉末	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
密度	97% 以上	93.60%	99.90%	98.60%
導電率	80% 以上	66.48 %IACS	17.41 %IACS	26.16 %IACS

* 高周波統括部 開発部

** 高周波工業(株)出向中

*** 高周波工業株式会社

②銅合金粉末造形では、高密度造形は可能であるが、導電率(電気伝導度)が低い。

2.2 導電率向上のための熱処理

2.1 項の課題に対して、①については、照射するレーザー光の改良が必要であるため、装置自体の改造になることから断念した。②については、造形後の後処理で導電率の向上を図ることとした。その際、目標とした導電率は誘導加熱用コイルにも使用されているリン脱酸銅(82~86%IACS)程度とし、80%IACS以上とした。そこで、銅合金粉末A・Bで造形した試験片に熱処理を施すと、表2のように目標の80%IACS以上の導電率が得られた。

2.3 誘導加熱コイル造形と高周波焼入評価

2.2 項で使用した銅合金粉末A・Bでコイル頭部を

表2 熱処理前後の導電率

	目標	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
導電率(熱処理前)	80% 以上	17.41 %IACS	26.16 %IACS
導電率(熱処理後)		81.21 %IACS	85.50 %IACS

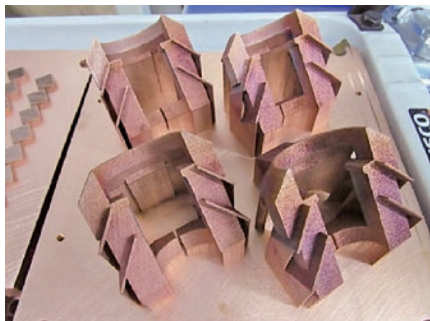


写真2 コイル頭部造形

造形し、熱処理(写真2)を施して誘導加熱用コイル(写真3)を製作した。

高周波焼入評価は、通常製作の誘導加熱コイルと同一設定値のもとで測定される電流・電力などのパラメータ値と焼入品質を比較した。表3のように、銅合金粉末Aは通常製作コイルと比べパラメータ値が若干高くなり、完全再現しているとは言い難い。しかし、銅合金粉末Bは、ほぼ同一のパラメータ値となり、完全再現している。表4は、焼入品質結果

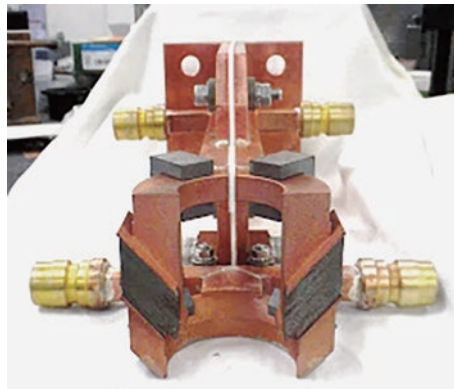
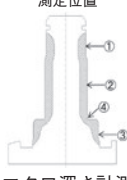





写真3 誘導加熱コイル

表3 焼入設定条件と測定値

焼入設定条件	通常製作コイル	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
周波数(kHz)	8.0	8.0(7.1~7.8)	8.0(7.1~7.8)
設定電圧(V)	210	210	210
実測電圧(V)		205(202~207)	206(204~207)
実測電流(A)		455(453~517)	450(450~512)
実測電力(kW)		83(83~95)	84(84~95)
加熱時間(sec)	5.0		
空冷時間(sec)	1.0		
冷却時間(sec)	10.0		
焼入水流量(l/min)	100		

表4 焼入品質結果

焼入品質結果	通常製作コイル	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
測定位置  マクロ深さ計測			
	① 4.4mm	① 4.5mm	① 4.4mm
	② 4.3mm	② 4.5mm	② 4.4mm
	③ 5.0mm	③ 4.9mm	③ 4.9mm
	④ 2.2mm	④ 2.2mm	④ 2.2mm

で銅合金粉末 A・B ともに完全再現している。このことから、銅合金粉末 B での 3D 造形は誘導加熱用コイル製作に適していると判断した。

3. 製品化に向けた性能評価

3.1 各周波数帯での高周波焼入評価

2.3 項では 8kHz (7.1~7.8kHz) での評価であったが、更に 30kHz・50kHz・200kHz での高周波焼入評価を行った。写真 4 のように丸棒ワークを 1 ターンコイルで高周波焼入して、通常製作コイルとの品質結果を比較した。表 5 は各周波数帯での焼入結果で、差がないことが確認された。

3.2 耐久性評価

丸棒ワークに通常の高周波焼入時の 1.5 倍の高負



写真 4 1 ターンコイル

荷(コイル電流値)をかけ、耐久性評価を行った。表 6 のようにコイルの劣化状況・品質結果ともに問題ないことが確認された。

3.3 造形精度(繰り返し精度)の確認

3D プリント造形では、図 1 のように造形したいもの(コイル)以外に、それを支えるサポートを含めた専用設計が必要になる。サポートの配置や造形角度など材料の膨張収縮を考慮した設計により、設計寸法通りの造形を可能にしている。また、繰り返しの造形精度は、4 個平均での差が 0.05mm 以内であり、造形精度差の少ないコイル造形が可能である。

4. む す び

レーザー式 3D プリントによる誘導加熱用コイルの造形は、銅合金粉末 B と熱処理を施すことにより可能になった。コイルの大きさにもよるが、造形に 2 日、熱処理やその他後処理で 3 日としても、1 週間でコイル頭部が完成する。また、性能は、先に述べたように、通常製作コイルと同等であり、問題がないことが確認された。

最後に、今回の開発結果より、コイル製作リード

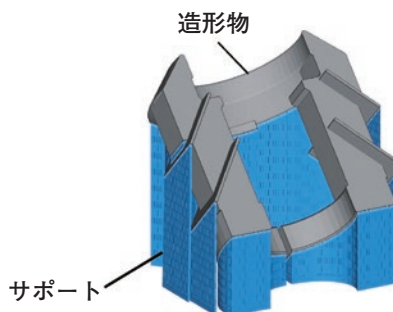


図 1 3D 造形モデル

表 5 各周波数帯での焼入結果

		30KHz	50KHz	200KHz
TP: S53C(丸棒・中実) 【測定項目】測定荷重: 0.5Kgf ①部 表面硬度 Hv(0.2mm点) 有効深さ mm(Hv0.13地点) A部 焼入範囲(全マクロにて)	通常製作コイル	220A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv818 ①有効深さ: 2.84mm A部: 11.0mm	270A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv814 ①有効深さ: 2.40mm A部: 9.5mm	320A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv820 ①有効深さ: 1.93mm A部: 12.0mm
	銅合金粉末 B	220A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv816 ①有効深さ: 2.86mm A部: 11.0mm	270A 設定 (54 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv811 ①有効深さ: 2.41mm A部: 9.4mm	320A 設定 (53 ~ 61KW) ①表面硬度: Hv818 ①有効深さ: 1.94mm A部: 11.9mm

