

異型形状アルミニウム合金鋳物を対象とした 間接加熱炉の温度制御に関する検討

An Examination about Temperature Control of Indirect Heating Furnace for Different Shape Aluminum Alloy

小山 輝¹⁾

指導教員 米盛弘信¹⁾

1)サレジオ工業高等専門学校 産業応用研究室

キーワード：異型形状アルミニウム合金鋳物・時効熱処理・誘導加熱式間接加熱・PI制御

1. 緒言

現在、AC4C材を用いた異型形状アルミニウム合金鋳物（work）は、熱処理により材料特有の性質を改善する調質が主に行われている。熱処理では、電熱線などにより加熱する抵抗加熱方式が主として用いられるが、同方式は加熱炉内の温度上昇が遅く、炉内の空気を昇温するために膨大な電力を消費してしまう。そのため、本研究室では、急速加熱が可能な誘導加熱技術を応用した誘導加熱式間接加熱法^[1]を提案している。同手法は、通常の誘導加熱による加熱が困難なworkを磁性金属のチェーンを発熱体を使用して、同発熱体の熱を鋳物へ伝熱させて間接的に加熱する。本研究では、熱処理のなかでもT6処理における時効熱処理を対象としている。しかし、同手法に関する先行研究^[2]では、加熱装置の出力容量不足等により実際の時効熱処理を模擬した実験は行われていない。そのため、新たな駆動装置として40kHz級高周波誘導加熱インバータに着目し、同装置を用いた間接加熱システムの検討を行い、同システムに適する制御方法の解明も進めている。しかしながら、これまでに実装した制御方法^[3]は改善の余地があり、継続して最も適する制御方法の検討を行っている。

本稿では、PI制御により引張試験用ダンベル型試験片の温度制御を行った場合における試験片表面温度について報告する。

2. 誘導加熱式間接加熱システム

図1にwork加熱用の誘導加熱式間接加熱炉を示す。加熱コイル上に耐熱材であるトッププレートを設置し、トッププレート上に発熱体のチェーンを設置する。本研究に使用する加熱コイルは一般的なIH調理器に使用される直径200mmの円形コイルである。加熱対象のworkは、発熱体のチェーン上に配置する。炉内を恒温に保つための炉壁は、上部に耐熱ガラスと耐熱プレート、側面に石膏と木材を用いた。

図2に誘導加熱式間接加熱システムを示す。加熱システムの駆動部には、40kHz級高周波誘導加熱インバータを使用し、1次側（入力側）への電力供給は直流安定化電源を用いて行う。加熱対象の温度制御は、加熱炉上部に設置した放射温度計、及びマイコンボードと直流アンプを用いた制御部により、直流安定化電源の出力電圧を制御することで行う。

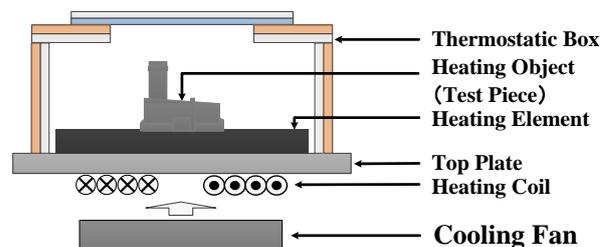


図1 誘導加熱式間接加熱炉の構成

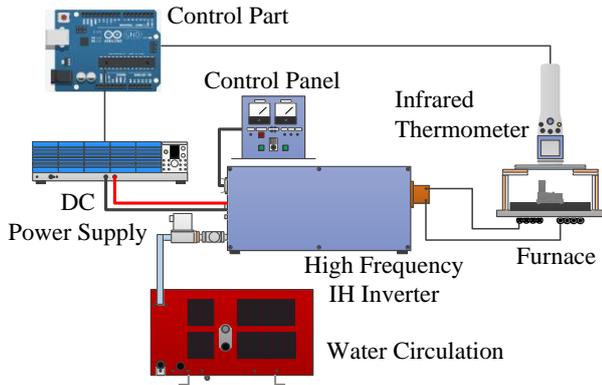


図2 誘導加熱式間接加熱システム

3. 実験方法

PI 制御により試験片の温度制御を行った場合の試験片表面温度を測定した。本実験では、艶消しの黒色塗料を塗布した引張試験用ダンベル型試験片を加熱対象として 60 分間の加熱を行った。なお、対象物の温度は試験片の中央付近を測定した。放射温度計から試験片までの距離は約 115mm、温度の測定範囲は直径 9.2mm の円内である。

本実験で用いた制御関数を (1) 式に示す。ここで、 u : 操作量、 K_p : 比例ゲイン、 K_i : 積分ゲイン、 e : 偏差、 ei : 偏差の積分値である。本実験では、比例ゲイン K_p を 40.0 (一定)、積分ゲイン K_i を 0.030, 0.045, 0.060 の 3 段階とした。偏差 e は目標の 180℃ と試験片温度の差、 ei は偏差 e の積分値である。目標の 180℃ は、マイコン内では 147.5 に相当する。加熱システムに用いたインバータの 1 次電圧は 15~250V の範囲とし、演算により範囲より小さくなった場合は 15V、大きくなった場合は 250V を印加する。

$$u = K_p \times e + K_i \times ei \quad \dots (1)$$

4. 実験結果

図3にPI制御により温度制御を行った場合の試験片の表面温度を示す。図3より積分ゲイン K_i が大きい 0.060 の場合、180℃ を超えて約 13℃ のオーバーシュートが発生することがわかる。対して、積分ゲインが小さい $K_i=0.030$ の場合、約 150℃ 付近で温度上昇が遅くなり、その後緩やかな昇温で

目標温度に達していることがわかる。さらに本実験結果より、ゲインを $K_p=40.0$, $K_i=0.045$ (②) に設定することで、オーバーシュートとオフセットが発生せずに、180℃ までスムーズに昇温し、維持できることがわかる。

5. 結言

本稿では、PI 制御により試験片の温度制御を行った場合の試験片表面温度について報告した。実験結果より、PI 制御による温度制御では、ゲインの調整を行うことでオーバーシュートとオフセットが発生せずに、180℃ まで昇温し、維持できることがわかった。

今後は、溶体化熱処理後の試験片を加熱対象とし、同試験片に時効熱処理を行うことで、誘導加熱式間接加熱法による時効熱処理が可能であるかを実験的に明らかにする予定である。

参考文献

- [1] 畔柳和好, 米盛弘信, 大沢泰樹:「誘導加熱装置」, 特許第 6005929 号, 特開 2013-118103, 特願 2011-265103, (2011).
- [2] 安達匡一, 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信:「誘導加熱による異形状アルミニウム合金の間接加熱装置に関する基礎検討」, 平成 24 年度電気設備学会全国大会講演論文集, pp.327-328(2012).
- [3] 小山輝, 米盛弘信:「誘導加熱式間接加熱炉の恒温化に関する一検討」, 第 29「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.607-612(2017).

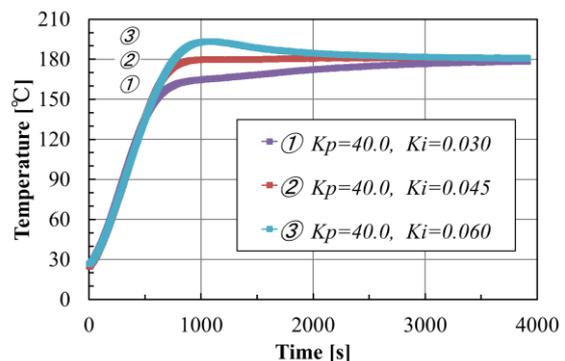


図3 PI 制御時の試験片表面温度