

# アルミニウム部品の急速加熱による 高品質・高効率熱処理技術の開発 (第1報)

八代 浩二・鈴木 大介・清水 誠司・阿部 正人・中山 栄浩\*<sup>1</sup>  
清弘 智昭\*<sup>1</sup>・杉田 良雄\*<sup>2</sup>・齋藤 基樹\*<sup>3</sup>・久保田勝彦\*<sup>4</sup>

## Development of High Quality and High Efficiency Heat Treatment for Aluminum Ware by Rapid Heating (1st report)

Koji YATSUSHIRO, Daisuke SUZUKI, Seiji SHIMIZU, Masahito ABE, Yoshihiro NAKAYAMA\*<sup>1</sup>,  
Tomoaki KIYOHIRO\*<sup>1</sup>, Yoshio SUGITA\*<sup>2</sup>, Motoki SAITO\*<sup>3</sup> and Katsuhiko KUBOTA\*<sup>4</sup>

### 要 約

急速短時間加熱によるアルミニウム合金の高品質で高効率な熱処理技術に取り組み、高周波誘導加熱における温度制御技術の開発に関して実験を行った。その結果、超高周波電源 (2MHz) を用いてアルミ素材の加熱が可能であることが確認できた。放射温度計による温度計測に際しては、放射率の設定が重要であり、設定値が大きいと実際の値より100℃程度温度が低く表示された。また、放射率を0.3近傍に設定すると熱電対と同等な値が計測されることが明らかとなった。

### Abstract

We wrestled in the heat-treatment technology that was high efficiency and a high quality of aluminum alloy by the rapid short time heating. We tested about development of temperature control technology in high frequency induction heating. As a result, we confirmed that heating of aluminum material was possible with an ultra-high frequency power supply (2MHz). On the occasion of a temperature measurement by a radiation thermometer, setting of Emittance is important. If the set point was big, under the 100 degrees Celsius temperature to the real value was displayed. Also, it became clear that temperatures of a thermocouple and a radiation thermometer were almost equal when the Emittance was set about 0.3.

## 1. 緒 言

### 1-1 背景

アルミニウムは代表的な軽金属であり、軽量化による低燃費実現や運動性能の向上を目的として、また、リサイクル性が良好という特徴を有していることから自動車等の輸送機械向け部品に多く用いられている<sup>1)</sup>。平成16年度の統計では輸送機械用アルミニウム製部品の生産は158万トンであり、国内の全アルミニウム製品生産量の36%を占めている<sup>2)</sup>。

アルミニウム部品は鋳造や鍛造等による成形加工後、熱処理を行うことが多いが、現在、その加熱方法は電気炉やガス炉を用いたエネルギー効率が低く加熱時間を要

する間接加熱がほとんどである。このため、アルミニウムの熱処理現場では、長い納期で膨大なエネルギーを消費しながら生産を行っているのが現状である。また、加熱時間が長いことから金属結晶が成長して素材強度が発揮できない等の問題点がある。

これらの問題解決には、アルミニウム素材を急速加熱することが極めて有効であり、その結果として以下のようなメリットが実現可能となる。すなわち、

#### ○部品の高機能化

- ・高強度：結晶粒の微細化による素材の機械的強度向上
- ・低変形：急速部分加熱による部品の熱変形低減

#### ○生産効率の向上

- ・部分処理：部品全体でなく、必要な部位を選択的に処理することで短納期生産可
- ・短納期：材料の直接加熱による処理時間短縮
- ・インライン化：シンプルな加熱システムによる前後加工工程とのインライン化実現

\*1 山梨大学

\*2 ワイエス電子工業株式会社

\*3 浅川熱処理株式会社

\*4 有限会社丸真熱処理工業

○省エネ効果

・低エネルギー：急速，短時間，高エネルギー効率な加熱による省エネルギー化

1-2 目的

上述のような背景から，本研究では従来行われていなかった急速短時間加熱によるアルミニウム合金の高品質で高効率な熱処理技術開発を目指し，下記の課題解決に取り組んでいく。開発の終了後にはアルミニウム合金の高周波熱処理装置の製品化と受託加工の実用化を目指す。

①アルミニウムへの熱処理技術の開発

①-1 アルミニウムへの熱処理とその評価

①-2 シミュレーション技術によるコイル開発および熱処理条件の最適化

①-3 アルミニウム用高周波熱処理装置の試作開発

②誘導加熱装置の高度化技術開発

②-1 高周波誘導加熱における温度制御技術の開発

②-2 高出力電源の開発

なお，本研究は平成18年度の戦略的基盤技術高度化支援事業による産学官の共同研究であるが，本報告は上記の研究項目の中から，「②-1 高周波誘導加熱における温度制御技術の開発」について記述する。

急速加熱を行う際，ばらつきの少ない安定した熱処理を行うためには，素材を均等に加熱保持し，金属組織を制御する必要がある。このため，電源出力に対する素材表面温度変化を測定し，素材温度をコントロールするソフトウェアの開発を行う必要があるが，本年度は超高周波によるアルミニウムの加熱能力検証，素材表面温度の正確な計測および温度校正のため，温度校正器具を用いて加熱実験を行ったので報告する。

2. 実験方法

試験片形状と熱電対の配置を図1に示す。また，図2に加熱装置にセットされた試験片の写真を示す。

試験片材質はアルミニウム合金JIS-A6061で，直径10ミリ，長さ150ミリの丸棒を用意した。外周から中心まで直径0.5ミリの3本の熱電対を配置したが，その位置は外周から2ミリ，3ミリ，5ミリ（中心）である。なお，熱電対の埋め込み穴は直径0.6ミリ，深さ20ミリで，機械加工で形成した。

図3に加熱装置に装着した放射温度計の測定部写真，ならびに図4に放射温度計の本体写真を各々示す。

放射温度計は，試験片に対してコイルと反対側に配置し，加熱部に対して上方の約45℃から测温した。センサーで得られた赤外線は光ファイバーを介して本体に送られ，表示されると共にデータロガーで熱電対からのデータと共に収集される。データの記録速度は，急激な昇温を想定して10データ毎秒，すなわち0.1秒毎に設定した。

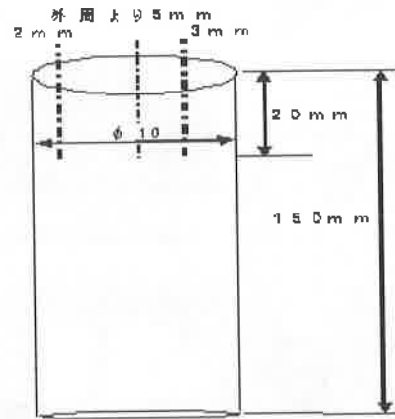


図1 試験片形状

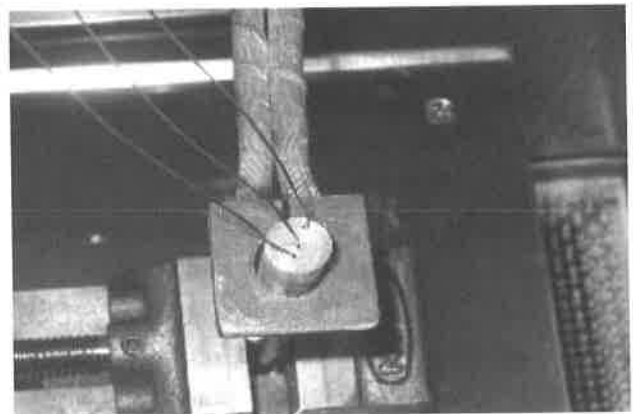


図2 加熱装置にセットされた試験片

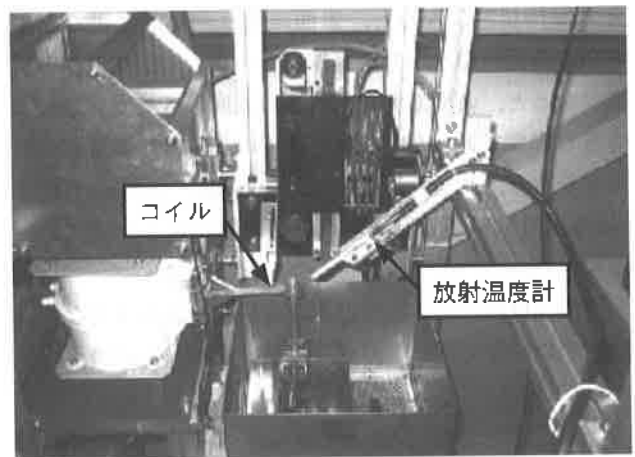


図3 加熱装置に装着した放射温度計の測定部写真

加熱電源は，既存の鉄鋼用加熱装置を用いた。発振周波数は2 MHzで最大出力は10kWである。温度校正を目的としているので，急速な温度上昇を抑止するため加熱時の出力は最大出力の約50%とし，電圧値で設定を行った。加熱開始後，目標温度に到達する手前で出力をマニュアルで低下させ，所定時間保持した後，冷却した。

加熱時には試験片の移動は行わない，いわゆる一発焼きの状態であり，冷却は加熱を止めるのみの自然放冷とした。

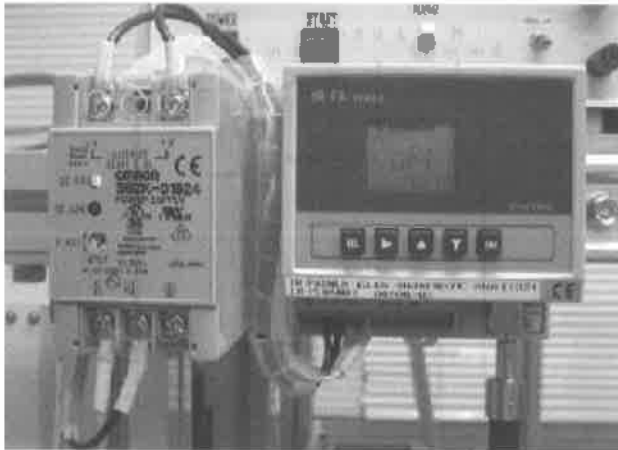


図4 放射温度計の本体写真

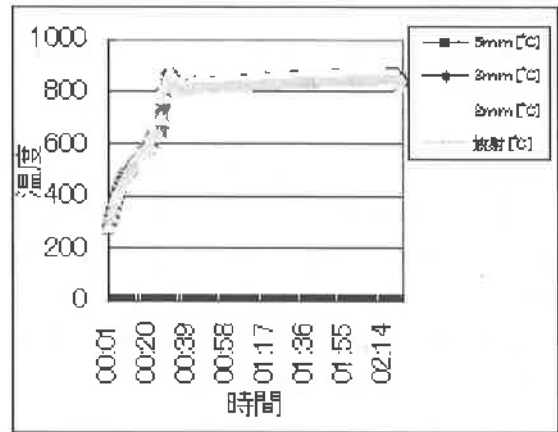


図5 鉄鋼の加熱曲線の一例

### 3. 結果および考察

#### 3-1 鉄鋼材料の加熱実験

アルミ材料の加熱実験を行う前に、本計測装置の適否を調べるため、鉄鋼（炭素鋼（JIS-S45C））の加熱実験を行った。その加熱曲線の一例を図5に示した。また、表1に加熱実験における温度データの一例を示した。なお、このときの電源出力は、最大で130V-10Aである。

図5において、表面と内部との温度差はそれほど大きくなく、加熱曲線は同様な傾向が得られた。

表1において、表面温度と内部の2mmおよび3mmにおける温度を比較すると、表面温度が500°Cから700°C程度までの昇温時は表面温度が先行したが、800°Cを越えて保持状態になると、表面温度は熱電対による測定結果より低い値を示した。加熱を中止し、自然冷却の状態になると、表面温度と内部との温度差は減少し最大でも5°C程度であった。一方、内部の熱電対による測温結果を見ると、昇温時には中心部（5mm）は2mm及び3mm部より低いが、保持から冷却段階になるとほぼ同一となった。

放射温度計による温度計測において、最も重要なのは放射率の設定である。高温の金属材料は、表面酸化の状

態や温度により放射率が変化するため、温度計の指示が実体に合致するように放射率を設定する必要がある。本実験では放射率に温度計メーカーの推奨値である0.7を用い、実体温度の測定にトレーサビリティの取れた熱電対を用いた。その結果、3本の熱電対の示す温度が異なる非定常な状態の加熱段階や保持時間においても、熱電対の指示値と放射温度計の指示値との差は少なく、また、加熱を止めた定常状態に近いといえる冷却段階では熱電対と放射温度計の値はほぼ同一であった。このことから、鉄鋼における温度計測は、実用的には問題ないものと考えられる。

#### 3-2 アルミ材料の加熱実験

つぎにアルミ材料を用いた加熱実験を行い、図6に昇温曲線の一例を示した。なお、このときの放射率の設定は1.0である。

加熱開始から、時間の経過と共に温度が上昇し、アルミ素材についても鉄鋼素材と同様に熱処理が可能な温度域まで十分な加熱が行われた。出力は最大で130Vであり、最大出力の50%程度であったが、一般的なkHz帯の発振器では加熱が困難とされるアルミ素材も加熱が可能であることが確認できた。

表1 加熱実験における温度データの一例

	表面（放射温度計）[°C]	2mm熱電対[°C]	3mm熱電対[°C]	5mm（中心）熱電対[°C]
加熱	500.1	494.6	488.6	479.7
	600.4	599.6	592.2	584
	717.4	705.4	669.4	645.2
	800.1	841	838	784.3
	848	863.9	865.4	855.1
冷却	798.9	796.2	800.6	802.2
	699.8	694.9	697.4	699.7
	599.8	590	594	595
	499.7	496.2	498.6	498.7
	400	399.3	400.7	400.5

熱電対から得られたデータは、測定位置による差はあるものの、ほぼ安定した数値が得られた。しかしながら、放射温度計による表面温度は、熱電対の値と比較して約100℃程度低い値であった。このことは、放射率の設定値が正確でないことを表し、この結果から、設定値の再検討が必要であることが明らかとなった。

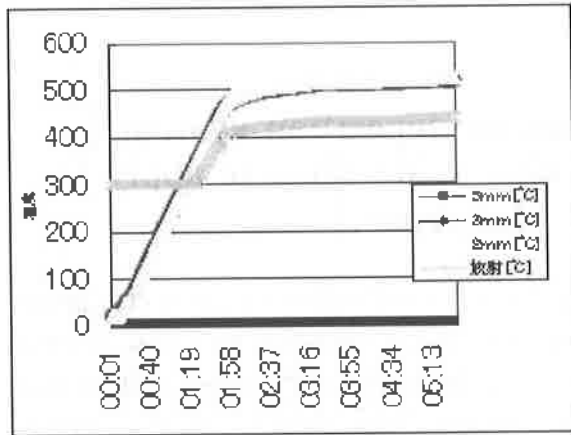


図6 アルミ材料の加熱曲線の一例

なお、放射温度計は300℃以上で記録が開始される仕様であるため、300℃以下では表示されない。

そこで、図7に放射率の設定値を変化させたときの熱電対と放射温度計の温度差  $\Delta T$  を示した。

放射温度計に入力する放射率を低く設定すると、温度が高く表示され、設定値の増加と共に温度が低く表示された。両者の関係は、ほぼ直線的であり、本装置の場合、放射率を0.3近傍に設定すると熱電対と同等な値が計測されることが明らかとなった。

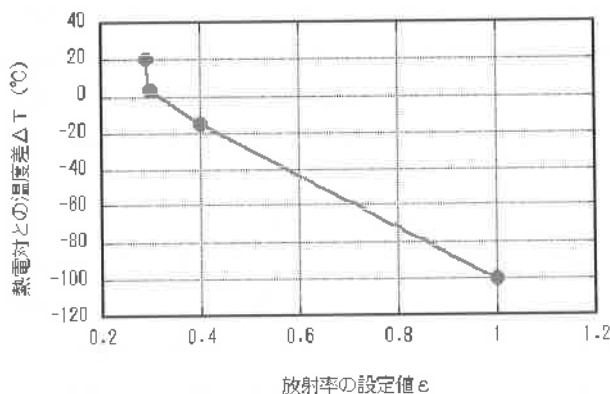


図7 放射率の設定値と熱電対による測定値との差

このように、放射率の設定値を変えると表示される値が変化する。放射率は、センサと測定位置との距離、角度、試料形状（直径）などで異なることから、実際に熱処理する試料を用いて温度校正を行う必要があることが判明した。量産にあたっては、まず同形状で同素材の試料を

準備して温度校正を行うとともに、放射率を決定した後も定期的に校正を行うことが望ましいと考えられる。

#### 4. 結 言

本実験において得られた結果は下記のとおりである。

1. 超高周波電源（2MHz）を用いてアルミ素材の加熱が可能であることが確認できた。
2. 放射温度計による温度計測に際しては、放射率の設定が重要であり、設定値が大きいと実際の値より100℃程度も温度が低く表示された。
3. 本実験の場合、放射率を0.3近傍に設定すると熱電対と同等な値が計測されることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 高行男：JAMAGAZINE, No.3, (株)日本自動車工業会（2006）, <http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/200603/index.html>
- 2) 経済産業省 平成16年度工業統計（2004）