

高周波押湯加熱システムの適用による砂型アルミ鑄物の鑄巣防止

(株) 田島軽金属 ○松浦 誠 田島三知男
(株) ダイハツメタル 高田真司
第一高周波工業 (株) 平山鋼太郎 林 直喜

1. 緒言

高周波によって押湯の強制加熱を行う押湯加熱システムは、ダクタイルや合金鑄鉄、銅合金等の鑄造において既に実用化され、押湯小型化等によるコスト低減や生産性の向上に大きな効果を上げている。今回、砂型アルミ鑄造を対象として、新たに温度制御性に優れた間接加熱方式のアルミ用押湯加熱システムを開発した。

本報告では、アルミ用高周波加熱システムの概要と、それを自硬性砂型アルミ鑄造に適用した場合の鑄巣欠陥の防止効果、さらに押湯加熱の経済的な効果などについて調査した結果を報告する。

2. アルミ用高周波押湯加熱システムの開発

2.1 アルミ用高周波押湯加熱装置の原理と構造

図 1 に、アルミ鑄造用として新たに開発した押湯加熱装置（「スリムライザー・ライト」）の原理と構造を示す。

鉄や銅合金を対象とした従来型の高周波押湯加熱装置は、押湯部分の熔融金属を直接、高周波で誘導加熱する構造となっている。一方、今回のアルミ用の装置は、熔融金属の加熱方法とその温度制御方法が従来型と異なり、アルミの加熱方法として、押湯部に設置した鋼製スリーブを誘導加熱し、その発熱により内部のアルミ溶湯を加熱する間接加熱方式を新たに開発した。アルミを直接誘導加熱する場合に比べ、必要な加熱電力が大幅に低減し、一電源で 6 個までの複数コイルの駆動が可能となった。

また押湯の加熱制御について、アルミ用高周波押湯加熱装置では、鋼製発熱スリーブの磁気変態点を利用した極めてシンプルな構造で、かつ正確に温度制御できる新しい温度制御方法を考案し実用化した。

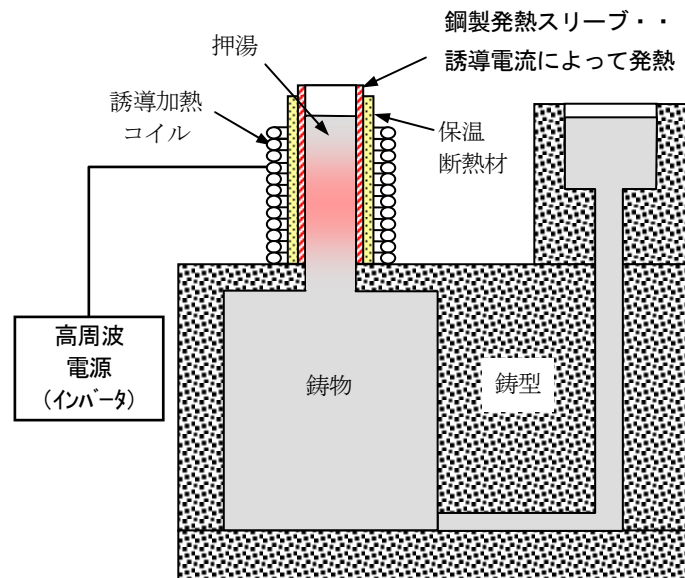


図 1 新規開発のアルミ用高周波押湯加熱システムの原理と構造

その原理は、鋼などの磁性金属が磁気変態点温度以上で磁性を消失し電磁誘導発熱が抑制される性質を利用して、鋼製発熱スリーブ自体に自己温度調節機能を持たせことである。本装置の鋼製スリーブの材質は 800℃近辺に磁気変態点を持ち、誘導加熱によりスリーブ温度が変態点に近づくと透磁率が急激に低下する。それに応じてインバータ出力が自動的に低下し、温度上昇が停止して 800℃近辺の一定温度に保たれるようになっており、温調装置等は不要である。

このようにアルミ用高周波押湯加熱装置では、スリーブ自身が温度制御を行うために温度調節装置は不要となり、極めてシンプルな構造でかつ正確な温度制御が可能である。

2.2 アルミ用高周波押湯加熱装置の主な仕様

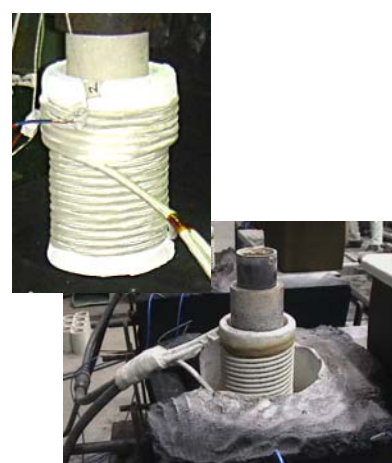
表 1 に、アルミ用高周波押湯加熱装置の主な仕様を、また図 2 に、高周波加熱電源装置及び誘導加熱コイルの外観写真を示す。

表 1 アルミ用高周波押湯加熱装置の主な仕様

項目	アルミ用高周波押湯加熱システム
押湯加熱方式	鋼製発熱スリーブ加熱による間接加熱方式
加熱温度	約 800℃ (発熱スリーブ)
出力	25 kW
押湯加熱数 (コイル数)	押湯加熱力所 1～6カ所 (選択可)
コイル冷却方法	自然空冷式
コイル寸法	内径φ118×高さ230mm
寸法・重量	寸法：W500×D450×H1000 重量：100kg



(a) 高周波加熱電源装置
(右は電源の水冷ユニット)



(b) 誘導加熱コイル (上)
スリーブのセット状態 (下)

図 2 高周波電源装置と誘導加熱コイルの外観

3. アルミ用高周波押湯加熱システムによる鑄造基礎実験

本システムの基本性能の確認と基礎的な鑄造条件の調査のために、角ブロック形状のテストピースによる鑄造基礎実験を行った。

3.1 実験方法

3.1.1 使用材料及び試験条件

- ・アルミ合金材質・・・AC4A (Al-Si-Mg系)
- ・溶解温度・・・730℃
- ・注湯温度・・・700℃
- ・鑄型・・・フラン自硬性鑄型 (骨材：フラタリーサンド6号)

3.1.2 テストピースの形状と実験用鑄型

図3に、テストピースの形状と実験用鑄型の概要を示す。テストピースは、 $\square 200 \times H 300$ mmの角ブロックで、押湯を除く重量は約30 kgである。押湯はブロックの上部中央に、直径約50 mm (2インチ鋼管製スリーブ)の加熱押湯を一カ所設けた。また、鑄型底面に、図のように冷し金を設置した。

鑄造時の鑄物内部及び押湯部の温度を測定するとともに、鑄造後、鑄物テストピース断面の観察を行った。

3.2 実験結果

図4に、注湯後の鑄物、押湯内の温度及び押湯加熱の電力 (インバータ出力) の変化を示す。

注湯開始後、押湯部のアルミは発熱スリーブによって加熱され、押湯の中心部及び下部の温度は、注湯直後に急速に上昇する。その後、押湯中心部の温度はスリーブの磁気変態点より少し低い温度にほぼ一定に保たれる。

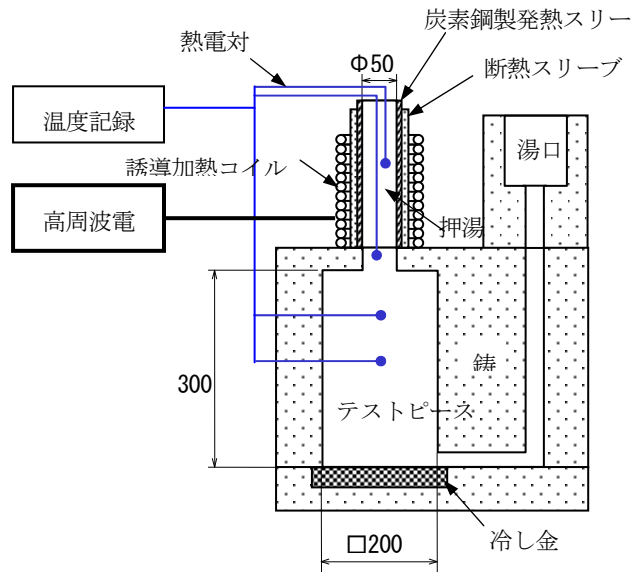


図3 押湯加熱基礎実験用の鑄型

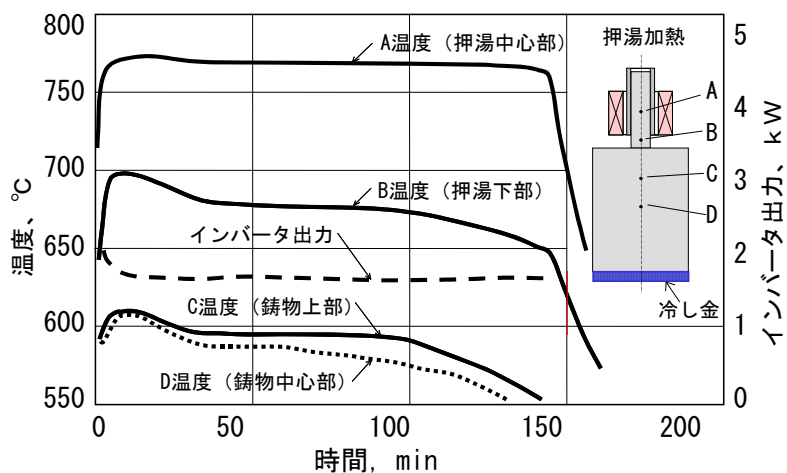


図4 押湯加熱時の鑄物、押湯内の温度及びインバータ出力の変化 (冷し金有り)

押湯下部については、発熱スリーブの加熱帯から外れているので温度はピークを示した後、鋳物部の冷却につれて温度は低下していく。

鋳物部の温度は、中心部、上部とも鋳込み直後には押湯加熱の影響を受けて若干の温度上昇が見られるが、その後は冷却凝固の進行につれて緩やかな温度低下と共晶反応による温度停滞を経て、凝固後に再び温度が低下していく。

ここで、押湯も含めて鋳物全体の温度分布についてみると、押湯中心から押湯下部、鋳物上部、鋳物中心部へと順次温度が低くなるような温度勾配をもって凝固が進み、指向性凝固が行われている。このように押湯加熱による鋳込みでは、鋳物の凝固中においても、押湯中心部は加熱により一定の高温状態に保たれるため、より強い指向性と十分な溶湯補給状態が維持されていることがわかる。

インバータ出力は、注湯直後に一時的に上昇した後、出力は一定となっている。その時の電力は、1.5 kW程度と、押湯温度を維持するための電力は非常に少なく済むことがわかる。

図5に、鋳造後のテストピースを中央で切断したときの断面写真を示す。

最終凝固部となる押し湯中央部に引け巣が見られるが、鋳物部分には引け巣は認められず健全な製品部が得られた。この場合の加熱押湯は、製品体積に対し約5%と通常押湯に比べ非常に小さいが、上述のように指向性凝固が確保されているために、押湯加熱の効果は十分に得られることがわかる。このように高周波押湯加熱システムは、鋳巣防止に極めて有効であり、さらに押湯の大幅な小型化も可能であることがわかった。

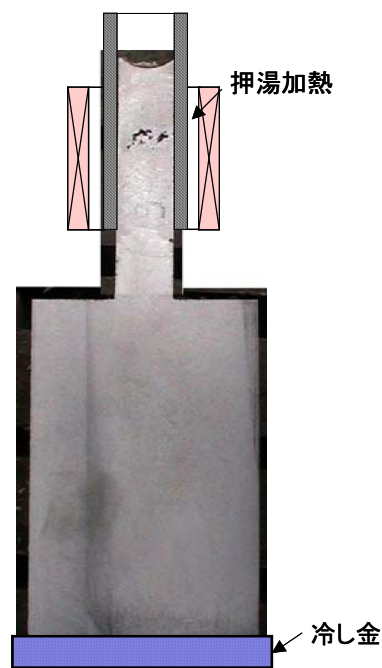


図5 テストピースの断面
(冷し金有り)

4. アルミ用高周波押湯加熱システムの実製品への適用

実製品を対象にアルミ用高周波押湯加熱装置による鋳造試作を行い、量産への適用を図った。なお、試作にあたっては、流動・凝固解析を用いて加熱押湯の位置や本数などについて事前の方案検討を行った。

4.1 ベース鋳物への適用事例

重量約105kgのAC4A材質のベース鋳物(図6)へのアルミ用高周波押湯加熱システムの適用について検討した。この製品は、場所によっては200mm以上の肉厚があるブロック状の製品で、図7に示すように、従来は厚肉部の各所に鋳巣が出やすかった。

製品重量 : 約105kg



図6 アルミ製ベース鋳物

●: 鑄巣欠陥

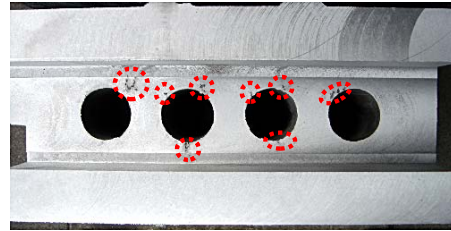


図7 従来の鑄巣欠陥の発生状況

図8に従来の押湯の配置を示す。押湯の数も多くまた冷し金も多用していたが、厚肉で製品部の熱容量が大きいため押湯が効き難く、引け巣を完全に防止することは困難であった。このベース鋳物への押湯加熱の適用にあたって、まず図8に示す上半分の押湯4カ所を残し、残りの6カ所を1カ所の加熱押湯で置き換えて、試作実験を行うことにした。

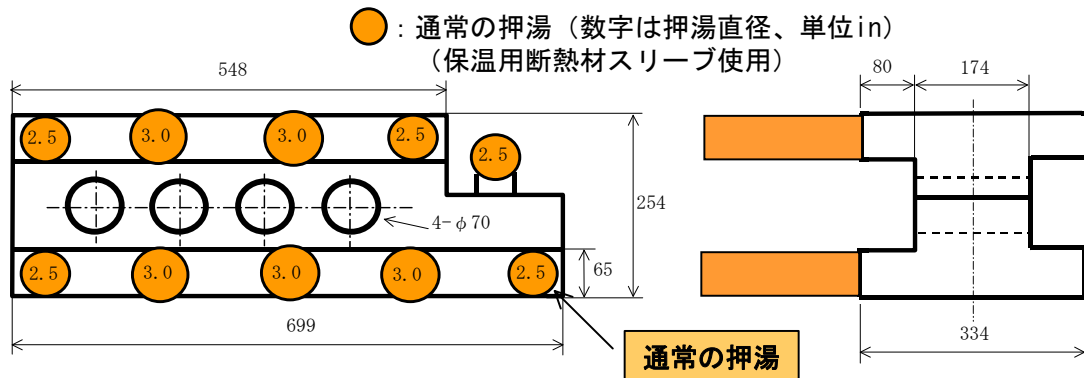


図8 従来の押湯の配置

図9に、その加熱押湯の配置を示す。加熱押湯は製品の中央からやや左寄りの位置に1カ所設置した。しかし押湯1カ所では製品の左右の端まで押湯効果が届かなくなる恐れがあるため、押湯から遠い場所には冷し金を設置して指向性凝固を促進させることとした。なお、これら押湯や冷し金の配置にあたっては凝固解析を利用して事前検討を行った。

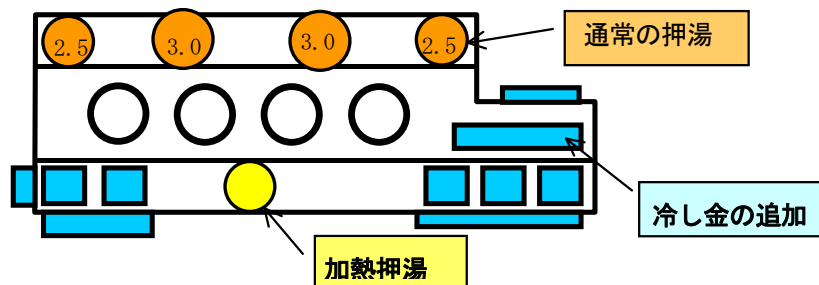


図9 加熱押湯の配置 (従来押湯6本を加熱押湯1本に置換えた)

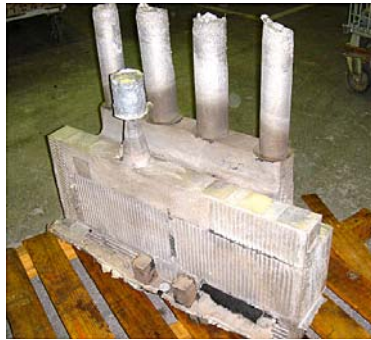


図10 鋳込み後の製品外観



図11 機械加工後の製品外観

図10は、図9の方案をもとに鋳込みを行った製品の外観写真である。後方の4本の従来タイプの押湯と手前の1本の加熱押湯との比較から、押湯加熱の適用によって押湯を大幅に低減できることが確認できた。また図11は、鋳物の機械加工後の製品写真であるが、加熱押湯の側にもまた従来押湯の側にも、従来発生していた鋳巣欠陥は全く認められず健全な製品が得られた。なお、量産においては、さらに残りの従来押湯4本を加熱押湯1本に置き換え、全体で加熱押湯2本のみにすることができた。このように、押湯加熱の適用によって品質向上と押湯の低減を同時に実現でき、その優れた実用性が確認できた。

本製品のような厚肉鋳物のほかにも、現在は薄肉の鋳物や偏肉の多い鋳物、また2トン程度の大型の鋳物など種々の製品の量産に高周波押湯加熱システムを適用しており、鋳巣防止や押湯低減などに成果を上げている。

5. 結言

アルミ鋳造用の高周波押湯加熱システムを開発し、それを用いて自硬性砂型アルミ鋳造における基本性能を調査し、さらに実製品へ適用した結果をまとめると次のようである。

- (1) アルミ用高周波押湯加熱装置では、押湯加熱の温度制御に鋼製発熱スリーブの磁気変態を利用した自己温調機能を利用し、それにより極めてシンプルな構造で正確な温度制御が可能である。
- (2) 押湯加熱の特徴としては、押湯の小型化とともに、押湯が高温に保持されることによる指向性凝固の促進並びに溶湯補給能の向上にある。その結果、従来の押湯に比べ優れた鋳巣防止効果が得られ、また押湯本数の削減が可能である。
- (3) アルミ用高周波押湯加熱システムの実製品への適用によって、押湯加熱の品質面、経済面での様々の有効性を確認することができた。即ち、鋳巣欠陥の防止、押湯低減や薄肉化による材料歩留向上、鋳仕上げ工数削減、保温断熱スリーブの削減等である。