



# 電磁鋼板用 高速冷却焼なまし炉の開発



杉山 雅紀\* 高橋 謙介\*\*

## 1. はじめに

モーターコアの焼なましは、1980年代から家電用コンプレッサー向けなどを中心に、広く採用されてきた歴史がある。それは素材が無方向性電磁鋼板の中でも、セミプロセス材とよばれる結晶組織が十分に成長していない材料が使用されていたため、プレス後の歪取りと結晶粒の成長として、焼なましが工程上必要とされてきた。焼なましをすることで、モーターの損失である鉄損の中のヒステリシス損を低減できるためである。

セミプロセス材は、日本はもとより欧米でも広く使われており、モーターコア業界では焼なまし炉が世界中で使われていたと言っても過言ではない。しかしながら、より低コストで品質を満足させるために、鋼板の状態で結晶粒が十分に成長したフルプロセス材が開発・供給されるようになった。また材料板厚を薄くすることで、渦電流損の低減も図られている。これにより焼なましを行わずとも十分なモーター性能を得られるとのことで、焼なまし工程を経ないモーターコアが増加し、焼なまし炉の需要は減少していった。

しかしながら、昨今では環境への取り組みとして、CO<sub>2</sub>排出量が厳しく制限される情勢となったことで、車の電動化が進み、車載主機用のモーター損失を低減する焼なましの必要性を再認識することとなった。高性能なフルプロセス材を採用し、その後焼なましを行い、残留応力を除去することで更に鉄損を低減させる案件が、徐々に増えてきている。

また車の限られた搭載スペースの中で、モーターは小型・高出力化に対するニーズが強く、モーター回転数を高速化する事でモーター出力をかせぐ設計がなされるようになった<sup>1)</sup>。その結果、モーターはより高回転領域で使用され、鉄損の影響も増加している。

さらに足元では、車載主機用の高性能な無方向性電磁鋼板が各社で開発され<sup>2~4)</sup>、その中には低鉄損を求める固定子のステーターでは、焼なましが必須となるような素材も含まれており、こういった素材に対して最適な焼なましを検討することは喫緊の課題となっている。

ただ従来の焼なましは、加熱保持後の徐冷を推

\* トヨタ紡織株式会社 電動製品生産技術部 部品生準室 室長 M. Sugiyama

\*\* 関東冶金工業株式会社 取締役 K. Takahashi



## ろう接の基礎と継手の特性 (その3: 最終回)

渡辺 健彦\*

前号 (2024年9月) のつづき

### 3. ろう接継手の基本形状と継手の強さ

ろう接継手は、熔融溶接継手など異なり、ろうが熔融する温度まで接合部が加熱され、毛管 (毛细管) 現象を利用して接合が達成されることから、母材への熱影響が小さくて継手の変形も少ない等の特長を有する。一方、接合部は母材と「ろう」という異種金属が接触している構造のため、ろう接継手の機械的性質、化学的性質 (耐食性等) や電気的性質 (導電性等) の点では熔融溶接継手より劣る場合がある。

ろう接継手の形状としては、上記の性質を考慮するとともに、気密性や水密性への考慮や耐食性、耐熱性等への配慮も必要である。図1に、ろう接継手の基本形状を示す。多くの場合、重ね継手や突合せ継手が用いられている。

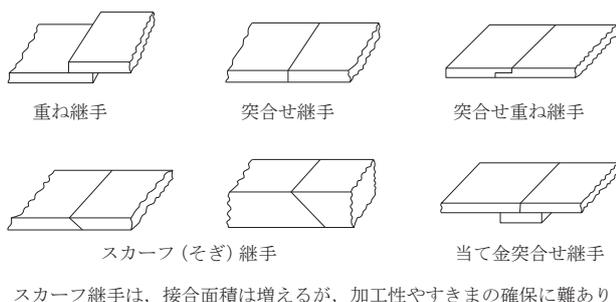


図1 ろう付継手の基本的な形状

### 3.1 ろう接継手の強さに影響する因子

ろう接継手の強さに影響する因子として、接合面の「粗さ」、ろう接部の「すきま」の大きさ、重ね継手の「重ね代」や母材の強さ及び母材とろうの「相互溶解度 (固溶度)」や「ボイド等の欠陥」の存在などが考えられる。

#### 3.1.1 ろう接面の「粗さ」と「ぬれ」と継手強さ

一般に、ろう接接合面は完全な平滑ではなく、ある程度の粗さを有しており、接触角  $\theta$  は粗さによって変化する。今、固体の表面が真に平滑面である時の表面積を  $A_0$  とし、表面に微小な凹凸のある実際の表面積を  $A$  とすると、当然、 $A \geq A_0$  となる。 $A/A_0 = r$  (表面積比,  $r \geq 1$ ) とし、凹凸面での見かけの接触角を  $\theta_w$  とすると、 $r \times \gamma_s = \gamma_L \times \cos \theta_w + r \times \gamma_{SL}$  となる。平滑面では、 $\gamma_s = \gamma_L \times \cos \theta + \gamma_{SL}$  であるから、 $\cos \theta_w = r \times \cos \theta$  の関係が得られる。 $\theta_w$  は Wenzel の接触角と呼ばれる。ここで、 $\gamma_s$ 、 $\gamma_L$  及び  $\gamma_{SL}$  はそれぞれ固体の表面張力、液体の表面張力及び固液界面張力である。

固体表面の凹凸のために、実際の表面積は大きくなり、この表面積に関係する  $\gamma_s$  と  $\gamma_{SL}$  が凹凸に影響されて ( $\gamma_L$  は影響されないで、一定)、 $\cos \theta$  が  $r$  倍に補正された形になっている。

凹凸面上における液体のぬれは図2に示すようである。ぬれる時は、 $\gamma_s > \gamma_{SL}$  であることから、

\* 新潟大学 名誉教授 T.Watanabe 連絡先 E-Mail アドレス : twatanab@eng.niigata-u.ac.jp

# 1200℃に対応する工業炉循環ファンの開発

足立 仁\*  
 佐々木 闘志也\*\*  
 森 大 介\*\*\*  
 飯久保 知人\*\*\*\*

## 1. はじめに

足立機工は昨年(2023年)で創業60年を迎え、空調用送風機、集塵機、コンプレッサ内部の送風機、洗車機用ブロワ、食品、木材の乾燥他、様々な送風機的设计製作を行ってきた。耐熱送風機については、当社が名古屋市に位置していることから、鉄鋼・自動車産業向けのプラントメーカーが多数あったこともあり、冷却・乾燥また、熱処理プラントに使用される吸排気ファン、炉内循環ファン等の引き合いが多くあった。特に2008年のリーマンショック後からは、自社の強みを耐熱送風機と位置づけ、2009年に工業炉協会へ賛助会員として加入し、その後、設計を一から見直し工業炉に適した炉内循環ファンの設計・開発に注力してきた。

本稿は、2022年から1200℃の炉内温度雰囲気に対応する炉内循環ファンの開発を行い、2024年3月に「工業炉循環ファン」として特許取得するまでの経緯とともに、構造、及びインペラに使用される材料の選定等を中心に解説する。

## 2. 炉内循環ファンの役割と問題点

炉内循環ファンは、炉内雰囲気温度の均熱化を促進(炉内雰囲気かくはんの攪拌・循環)することが主な役割である。特に工業炉における炉内循環ファンの有無はエネルギーコストに大きく影響し、ガスバーナを用いる熱処理炉においては、ファンの有無でガスの使用量は最大30%省エネ化ができる。(表1<sup>1)</sup>) また、ワーク表面の流体速度を増すことで、熱伝達率を高める効果もあり、炉内雰囲気かくはんの攪拌・循環にファンを用いることは非常に有効な手段である。

その一方で高温雰囲気内にインペラ(回転体)を設置するため、熱源からの影響を考慮した配置、スペースの確保、インペラからの熱伝導によるファン軸受保護のための設備(ポンプ、配管等)が必要になることや、振動、水漏れリスク等、懸念材料も多い。また、炉内循環ファンのインペラ材料として使用される耐熱鋼は、雰囲気温度、使用ガスによってSUS、INCONEL、SCH等が用いられるが900℃を超える炉内雰囲気では急激に強度が低下する傾向にある。インペラ材料にセラミック、

\* 足立機工株式会社 代表取締役社長 H. Adachi

\*\* 同 設計部 部長 T. Sasaki

\*\*\* 同 同 課長 D. Mori

\*\*\*\* 同 同 技術顧問 I. Tomohito