

・連載／ダイカストのロマン

横浸漬型保持炉アルアンダー の開発物語

今月の人
望月俊二氏

編集：新山英輔、西直美

1. 開発のきっかけ

私がダイカストに多く用いられている横浸漬型保持炉の実用化に向けた開発を始めたのは1981年であった。

私はダイカストや鋳造の専門家ではなく、金属加工品および鋳造品等の熱処理をする熱処理炉のメーカー東洋電熱工業㈱で設計を担当していた。

アルミニウムに関する経験は熱処理炉の設計経験しか



（望月 俊二氏 略歴）

1939年 静岡県富士宮市に生まれ

1942年 両親と死別

1954年 中学卒業後東芝に入社

1957年 夜間工業高校に進学

1967年 大阪の東洋電熱工業に入社

1968年 大阪工大二部入学

1981年 欄トウネツ設立、社長就任

2010年 社長を辞任し会長に就任

現在に至る

なくアルミニウム溶湯の溶解及び保持炉の経験は全くない未経験者だったが、幸いなことにソルトバス炉（塩浴炉ともいう高速度鋼の熱処理炉1300℃）で壁を貫通して電極の酸化を防止する構造の炉の経験があったので、お話をお聞きした時に何となくできそうな気がしてきた。

熱処理炉の設計者だったのでアルミニウム溶湯の保持炉の難しさを知らないことも幸いしてか、自由な発想ができたともいえるのではないかと思う。

人生において何が幸いするかわからないもので、当時私は夜間大学に通学しながらお世話になっていた勤務先が業種転換を行ったため、退職して故郷の静岡に帰る準備をしている時だった。そこへ突然三菱自動車㈱（MMC）より低圧鋳造炉の開発をしてみないかとのお願いがあったことがアルアンダー炉誕生のきっかけになった。

そこで故郷に帰るのを2年延期してこの開発を引き受けることにした。ところがその2年後に予定通り故郷に帰ることができなかったのは、開発が思ったより早くできて量産に向けて炉の製造も依頼されたためだった。おかげで関西（兵庫県尼崎市）に会社を設立することになった。

多くのユーザーに認められる製品の開発は、(1) 提案をする人、(2) 製作をする人、(3) 使用してくれる人の3拍子が整ったときに成功するもので、私が一人で成しえたものではなく、多くの人たちのご支援があったの事と感謝している。

この横浸漬型ヒーター炉は三菱自動車㈱（MMC）の鋳造部長の村中啓人氏（故人）、鋳造課長の富樫卓和氏、鋳造技術担当の田辺陸太郎氏（現欄田幸社長）の提案と絶大なるご協力がなければ実用化には至らなかったと思う。

いま国内外でわが社の横浸漬型ヒーター技術を使用している炉はダイカスト用保持炉と低圧鋳造炉を合せると3000台になろうとしている。横浸漬型アルミニウム溶湯保持炉の実用化開発ができたのは、提案者からの要求事項が明確であったために設計しやすかったことが最大の要因だった。

2. 試作段階

設備メーカーはよい設備を製作するにあたってまずユーザーの要求をよく理解することが重要だが、現在使用されている設備を勉強して熟知し、その改善が最も重要と考えている。また人生において失敗、成功、挫折の全てが無駄になることは無いと信じている。

それまでMMCで使用されていた炉は図1のような炉形で、その長所短所は以下のようなものであった。

〈長所〉

- 1、ワンショットごとの給湯のため溶湯の保持容量は少なく、炉体が小型軽量になっている。
- 2、溶湯を金型の中に注湯する速度を自在に調節できる機械的な構造である。

〈短所〉

- 1、レトルトが鑄鉄製で寿命が短い。
- 2、レトルトの鉄分が溶湯に溶け込む。
- 3、レトルトのメンテ及び代替交換のために炉の休止期間が長く、費用も嵩む。
- 4、レトルトの外周から加熱するので熱損失が多い。
- 5、ヒーターの断線が多く、メンテ費用がかかる。
- 6、レトルトの溶湯接触部にはコーティングが不可欠。
- 7、注湯速度調節にフロート構造を用いるため炉材と溶湯の接触・流動が頻繁で酸化物の生成量が多い。
- 8、鑄造時の押湯が溶湯のオーバーフロー堰の高さで決定されるので押湯を自由に設定できない。
- 9、フロートの加熱冷却による熱損失も大きく、フロート自体の損傷も多くメンテ費用が嵩む。

以上のように従来炉は注湯速度を機械的に調節できることと小型軽量化とを重点に置いた設計であったために、加熱ヒーターおよび溶湯接触部炉材の選定に苦労されたと思われる。試作炉の開発に当たっては従来炉の長所はそのまま残し、短所のみを改善することを方針とした。

A) 溶湯接触部材の選定

溶湯接触部の耐火材にはダイカスト溶湯保持炉に最近ばちばち使用され始めていたニチアス製ルミボードを採用した。炉壁からの放熱低減を重視して熱伝導率の小さい材質を選定した。加工も簡単だし納期の点で他の材質より優れていると判断しての採用であった。

B) チューブの選択

炉材が決まれば後は凝固のヒーターである。どんな形で加熱するかはほぼ決定しており、湯沸しポットのようにシーズヒーターをイメージしていたので、むしろどんな材質を選定するかが大きな課題であった。

炉壁を貫通して湯漏れを防止する技術は前述のソルトバスの設計実績があり自信もあったが、塩の凝固点が800℃前後であるのに対してアルミニウム合金は600℃なので炉壁の温度が600℃のところまで溶湯が浸透すると考えれば炉壁からの湯漏れの危険が多くなる。

内部温度740℃時の断熱計算上の壁外面温度は外気温度プラス60℃であったが、試作してみると受湯前で外気温度プラス54℃と計算より低かったので安心して受湯作業に移行した。

従来は溶湯保持用の鑄鉄レトルトの外側から金属ヒ-

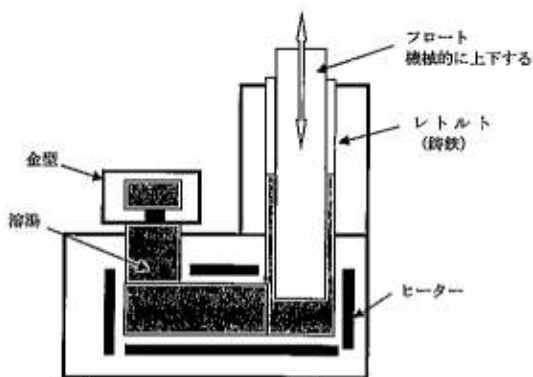


図1 フロートタイプ従来炉

ターで加熱して溶湯温度を維持していたが、これに対し思い切って溶湯の内部から加熱する方法を提案し、徹夜の議論の未決定された。

ちょうどそのころ前述の窒化素結合の炭化珪素耐火物であるレアスーパーによるチューブ製造が三井金属鉱業株 (TKR) にて開始されていたので、それに目をつけてヒーターチューブに採用した。

C) ヒーターの設計

チューブが決まり、残るはヒーターエレメントの設計であるが、この開発には山本泰義氏 (後にトウネツ技術部長) の功績が大きい。当時アルミニウムの保持炉で上部から挿入するチューブヒーターとして日本で唯一使用実績のあったのが米国のリンドパーク社の縦浸漬型のチューブヒーターである。このチューブは炭化珪素質で、ヒーターの発熱部も外部からの電気を流すための端子部も炭化珪素質であった。

このヒーターの欠点は端子部からの放熱量が大きく、最大発熱量の約15~20%であった。端子部からの放熱量が大きい理由としては炭化珪素質は金属に比べて電気抵抗が高く端子部での発熱量が大きくなるので断面積を大きくすれば発熱量は小さくなるが熱伝導による放熱量が増えることになってしまう。このため我々は当初から端子部の材料として電気抵抗の小さい耐熱金属を使うことにこだわり、炭化珪素質に比べて端子部からの放熱を極端に少なくするようなヒーターの設計に取り掛かろうとしていた。

その時に山本氏がMMCで使用していたガス浸漬炉用の金属ヒーターを流用することを提案してくれたので、そのヒーターの端子部に改善を施して使用することに決定した。この方法だと放熱量は最大発熱量の約5%になったのである。

次は万一のヒータートラブルを想定して、ヒーターが1本断線しても操業を続けられるようにするため、ヒーター数を1本か2本以上にするかの議論になったが、結局安全を見て2本式が採用された。これはヒーターチューブの信頼度がまだ低かった初期には結果的に正しい選択であった。

しかし後にヒーターチューブの信頼度が上がった時点では1本式も多数製造するようになった。というのは、アンダーヒーターの場合、チューブが破損した場合のチューブ交換には長時間を必要とするが、ヒーターエレメントだけの交換は非常に短時間で済むので、初期コスト低減を重視すると1本式が有利なのである。

D) 築炉技術

次は築炉技術が重要な論点になった。長年にわたり築炉業一筋に個人営業している“匠の技”の持ち主であった猪熊虎一氏（故人）の協力も特筆したい。

何せ理想論だけで新炉材を選定して、外形は従来炉と同寸法に納めなくてはならないという制限付設計である。これを満足させる築炉には細心の注意と技術が必要であったのである。設計者と施工者の意見が一致しなければとんでもないものができてしまうことは1品物では多く経験している。その点、猪熊虎一氏との信頼関係は十分であった。

特にチューブの炉壁貫通部の築炉は最大の関心事であった。貫通部のチューブにテーパをつけて炉壁穴に圧接できるようにすると共に、均等に圧力がかかるように穴の中心と同心にするために適度な角度をつけることを協議と実験の上で決定した。

現在でもこの形は受け継がれている。同時に貫通部のシール材も数種類の実験を繰り返した結果セラミックパッキンとセメントを用いる方法に決定した。

E) 性能確認試験

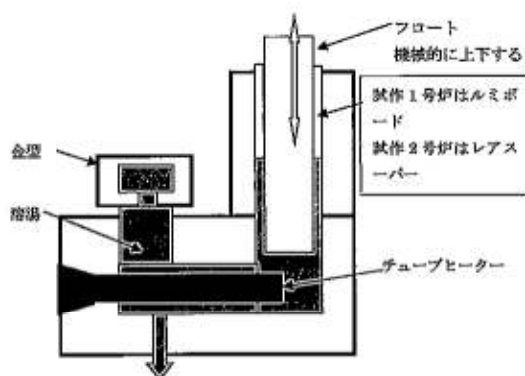


図2 アルアンダー試作品の炉構造

いよいよ試作品が完成したので性能確認試験になった。先ず乾燥（シーズニングともいう）は従来炉は約24時間で受湯できたが、本炉では7日間をかけた。炉壁も飽和状態になったので受湯を開始したところ1時間経過したとき大問題が発生した。

残念ながら溶湯漏れが起こってしまったのである。心配していたチューブの炉壁貫通部からの湯漏れではなく、炉壁のほぼ中間位置から湯漏れしていた。あらかじめ万一の想定をしていたのと、漏れが少量であったので大事には至らなかったことが幸いだった。

試作品の構造を(図2)に示す。

これでもうだめかと思ってションボリしていたとき村中部長から、原因の究明と対策をしっかりと行い試作2号炉に取り掛かるように、と叱咤激励されたとき、諦めないで最後までやることの大切さを教えていただいた。

F) 原因調査の結果

炉体の解体をして見ると断熱性能重視で採用したルミボードがヒーターチューブ近くで無残にも収縮してしま

い、大きな割れ目が無数にできて厚みも初期の半分以下になっていた。ヒーターチューブの温度がいちばん高くなる部分で収縮がひどかったための漏れが原因と判断された。解体をさらに進めて行き、心配していたチューブ貫通部からの漏れはないことが確認された。

乾燥時の炉内温度を740℃に設定した時のヒーターチューブの表面温度は980℃に到達していることが計算上で推定できた。この温度でルミボードがこれほどのダメージを受けることは無いのではないかとこの疑問はあったものの、とにかく炉材の検討を行うことになった。

G) 試作2号炉の主たる対策内容

乾燥時に高温にさらされることを考えて溶湯接触部分の材質を変更することにした。アルミニウム炉体のさらなる長寿命化を考えるとルミボードをやめ、当時亜鉛の製造に使用されていたアルミナ+窒化珪素系の三井金属鉱業㈱(TKR)のレアスーパーという材質を選定した。

この材質は三井金属鉱業㈱自身が亜鉛の製造に多用していた材質だけに、他社に販売することへの抵抗があったと思われる。しかし、坂本興二社長の英断と技術開発の柳下紀氏と営業技術の金子浩氏の指導と協力があって、これがなければアルアンダーは完成しなかったことは間違いない。

このお二人とは夜を徹して検討したため、最後は弊社宿直室で「こたつ、に足を突っ込みながらの協議であった。

この炉材の採用によりアルミニウム溶湯に対する抵抗性だけでなくアルミニウムの清浄度も飛躍的に向上し、一石二鳥の効果があった。

溶湯接触部炉材の変更以外には大幅な変更はせずに試作2号炉はシーズニングも問題なく終わり、無事に受湯までこぎつけ完成することができた。

参考までに溶湯用炉材についてまとめる。(表1参照)
H) 従来炉との性能比較 (表2参照)

表1 溶湯溶炉材の仕様

	アルミナ質キャストブル		レアスーパー		ファインセラミック(ハイセラ)		ルミボード
主成分 %	Al ₂ O ₃	83	Al ₂ O ₃	75	Si ₃ N ₄	100	CaO
	SiO ₂	11	SiO ₂	23			
嵩比重 kg/dm ³	2.85		2.68		3.2		0.84
見掛気孔率 %	14.5		13.0		<0.3		-----
気孔径 μm	0.4		0.2		0.0		-----
曲げ強度 RtMPa800℃MPa	20		45		700		95
	20		50		700		95
熱膨張率(RT-1000℃)	7.0x10-6m/m℃		4.3x10-6m/m℃		2.5x10-6m/m℃		4.4x10-6m/m℃
熱伝導率 W/m/℃	2.1		16.8		18.6		1.28

表2 従来炉との性能比較

項目	従来度	試作2号炉
設備電力	36kw	12kw
運転電力	19kw	10kw
溶湯温度	740℃	740℃
炉壁表面温度	周囲温度+125℃	周囲温度+58℃
鑄造サイクル	12分	12分
ワーク重量	12kg	12kg
接湯部材質	鑄鉄(レトルト)	レアスーパー
接液部材寿命	2ヶ月	3~5年
チューブ材質	なし	レアスーパー
チューブ寿命		6ヶ月
ヒーター設置場所	レトルトの外側	溶湯の内部
ヒーター材質	金属ヒーター	金属ヒーター
ヒーター寿命	3ヶ月	1年(予定寿命)

注) 試作2号炉については1年経過後の数値。

従来炉は加熱がレトルト外部よりの傍熱タイプなので、メンテナンス後の急速昇温のための設備電力が運転電力に比べて大きくなっている。これに対しアンダーヒーター型の炉はメンテナンス周期が長いので、設備電力を抑えて同じ電源設備でより多くの台数の鑄造設備を設置できることになったのも大きな特徴である。

その後、小型軽量小電力の特徴を利用して回転テーブル上に10台以上の鑄造機を載せたマルチステーションタイプの鑄造装置が完成した。この回転テーブル型鑄造装置は二名の作業者が鑄造機間を移動することなく定位にて作業ができる。この装置でシリンドープロックを生産している姿は実に合理的な鑄造方法と思えた。しかし給湯時の酸化物の増加に対する対策は従来炉のままである。将来的にはこれの改善を手がけたいと思っている。

3. 量産炉段階

試作炉で約1年経過して評価を行い、下記のような改善目標が出てきた。

A) ヒーターチューブの寿命

肉厚10mmのチューブに溶湯が半年位で浸透してしまいチューブ内部のヒーターを断線させてしまう。これは開発時の想定内事項ではあったのだが、鑄造工場の高湿環境でのチューブの交換作業が問題となった。交換作業から何とかアルミニウムの浸透を防止する技術を確立して欲しいとの要望が出た。

さっそく三井金属鉱業㈱（TKR）と協議した結果、レアスーパーチューブの表面に緻密な層を作り浸透を防止する対策をとり、実機でのテストを行ったが期待できる結果ではなかった。

あれこれ実験しているうちに窒化珪素100%のファインセラミック（サイアロン）が発表された。しかし価格が高く、量産実用炉には高価すぎると判断して何とか廉価な方法がないか模索して毎日悶々としていた。

しかし、作業者は3R現場での作業に耐えられなくて退職してしまう状況だった。このままではこのアンダーヒーター炉も発展しないと思い、何とか打開の道求めて三井金属鉱業㈱（TKR）の本社に田代直弘常務をお訪ねし、当時同社は小型のファインセラミック部品を製造していたのだが大型のファインセラミックチューブの製作を依頼した。

当時サイアロンで制作すると一本当たり200万円程度と記憶している。これではいくら良くても採用しきれないと判断していたが、同社での製造技術開発のおかげで約1/2の価格で製造してもらえることができた。

この廉価なファインセラミックチューブの完成がなけ

ればアンダーヒーター炉も普及しなかったことは間違いない。田代直弘常務の鶴の一声がなければいまや世界中で使用されている横浸漬アンダー炉（トウネツ製アルアンダー）も夢で終わっていただろう。このチューブの出現でアルミニウムの浸透はなくなり、寿命は5年以上となり、弊社の交換作業者の退職もなくなり、アルアンダー炉の需要が急激に増加してきた。

B) ダイカスト用保持炉への採用

小型で大湯量出湯が目標の低圧鑄造炉だけでなく、ダイカスト用保持炉にも多数採用されるようになったことはいうまでもない。ダイカスト用保持炉の増加に伴い名前を「アルアンダー」（商標登録済み）と名付けた。ちなみに名付け親は月刊「ある」の上島孝一社長だった（感謝）。

ダイカスト用の保持炉アルアンダーの拡販には橋本産商㈱の橋本清一社長（故人）と岡田千春常務の絶大な協力があり急拡大していったと思っている。

ダイカスト用保持炉は低圧鑄造炉と比較して溶湯温度が低圧鑄造炉の740℃より680℃程度と低いことと押湯もない。そこで当時ルミボードの拡販中だった橋本産商㈱の勧めでダイカスト用保持炉にルミボードを採用してみた。

ルミボードバス（内張り材）とアンダーヒーターの組み合わせをすることで保持電力の低減と外壁温度が下がりケーシングの変形も少なくて炉体の長寿命化が実現でき販売に大きく貢献した。

この組み合わせは低圧鑄造炉試作1号炉ではシーズニング時に炉内温度を740℃と高く設定して局部的に高温度になり、ボードを損傷し失敗に終わったが、ダイカスト用保持炉は2日間かけてゆっくり昇温して炉内温度が600℃を超えたところで受湯し、680℃前後で安定して問題なく使用できている。ボードは事前に焼成を行い、水分を十分抜き取ってから加工し注意深く築炉を行っている。

ここでアルアンダー保持炉の特徴について記すと、

イ) 温度分布が良い（表3参照）

ロ) 保持電力が少ない

ハ) シーズニング時間が短い

炉内の温度分布は底部にヒーターがあることで溶湯の自然対流が起り分布が良くなる（図3参照）

表3 各層の温度分布

上層部	682℃
中層部	681℃
下層部	681℃

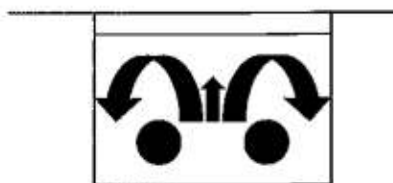


図3 自然対流のイメージ図

チューブの炉内状態は図4を参照。

4. その後のアンダーヒーター技術の展開

アンダーヒーターを利用した技術としては前述のフロートタイプの低圧鋳造炉とダイカスト用保持炉以外に次のような炉が関係技術者の間で考案され、それぞれ好結果を得ている。

a) 小型連続低圧鋳造炉（パイ炉）

この炉は当時エンケイ㈱の開発技術者であった塚本敏之氏が考案したもので、セラミックストッパーを使用して配湯時の酸化物減少と鋳造炉の小型化を実現した最初の炉である。保持炉からの給湯をALPS（アルミ溶湯配管給湯システム）のような高温で使用可能なもので連結すれば、連続して鋳造でき酸化物の増加が抑制できる優れたものである。この炉でも小型化に対してアンダーヒーター技術が大きく貢献している。

b) 大型2槽式低圧鋳造炉

この炉は大きな保持室を付帯しており、保持室と加圧室の間に特殊ストッパーを設けてある。加圧室は可能な限り小型化して加圧のレスポンス改善と溶湯の清浄度向上を図っている。現在は主にアルミニウムホイール生産に使用されている。

c) ピットレス2槽式低圧鋳造炉

海外向けに考案された炉形で据付時にピットを必要としない構造に小型化している。機能そのものはB)の2槽炉と同様である。

d) MLP炉（別名3槽炉ともいう）

保持室と出湯室の間に加圧室を設けた3槽タイプの炉で、特長として加圧気体量が他のいずれのタイプより少なく済むようになっている。従って加圧空気による酸化物の増加は少なく済み、加圧レスポンスがよく、廉価で簡易な加圧制御装置を用いることができる。（日本、中国特許取得）

e) アルハート低圧鋳造炉（AHL P炉ともいう）

この炉は保持室と出湯室の間に減圧加圧室が設置されていて、この室には2本のストッパーがある。保持室の湯面が加圧室の湯面より低いときでも使用することができる。従ってストッパーが損傷した場合でも溶湯が外



図4 チューブの炉内状態

部に流失することはない。（日本、中国、米国特許取得）

f) 溶解炉付低圧鋳造炉

この炉は時間当たり300kg以下の出湯量の比較的小型のアンダーヒーター式溶解炉を付属した低圧鋳造炉である。必要な量を溶解しながら鋳造する。この装置はワンショット鋳造にも期待できる。特に介在物などを気にする製品及び特殊ホイールなどの製造に用いられる。

g) 脱ガス炉

この炉は回転脱ガス炉として使用するものである。従来は天井部よりチューブヒーターをつるしているのが常識とされてきた。しかし、湯面に酸化物が浮上し、チューブに付着するためチューブの損傷が激しかった。これを横浸漬アンダーヒータータイプに変更したところ何の問題もなく使用できるようになった。回転脱ガス装置での脱ガスの場合、酸化物は底部には溜まることがなく、上部湯面上に浮上するのでアンダーヒーターの障害にはならない。（日本、米国特許取得パイロテックとの共願）

5. むすび

上述のように低圧鋳造炉から出発し、以来ダイカスト用保持炉をはじめとして適用範囲を多面的に拡大してきた。その結果、いまや「アルアンダー炉」はこうしたアンダーヒーターを使用した一連の炉に対する総合的な商品名となった。

㈱トウネツを設立して32期目の決算を迎える今日まで、多くのユーザー及び先輩、知人に恵まれた上、好きな技術の仕事に打ち込んでこられたことに感謝いたします。技術三味の社長を社内から支えてくれた三原恒宏元専務と森本幸子元総務部長と社員の皆様に御礼申し上げます。今後は配湯装置（ALPS）の実現に向けて力を尽くして参りたいと思っております。