

# 誘導加熱の鉄鋼業への応用



大崎 嘉彦\*・橋本 学夫\*・塚田 光政\*

## The Application of Induction Heating to Iron and Steel Industry

Yoshihiko OSAKI, Michio HASHIMOTO and Mitsumasa TSUKADA

### 1. 概 要

誘導加熱は電気の導体、特に金属を加熱するための技術、特に非接触で金属に通電する技術であり、わが国で最初に設置されたものは、1916年に(大正6年)に八幡製鉄所に輸入された誘導溶解炉であるとされている。1945年以前は、主に誘導溶解炉に多く用いられていた。加熱、焼入れ等への応用は少なかつたが、1932年米国でクランクシャフトの表面焼入れに高周波誘導加熱を利用したのが始まりである。わが国では、1953年頃に高周波焼入れ装置が製品化され、さらに、1963年に高周波鍛造加熱装置、1967年に鉄鋼メーカーに初めて、大容量鍛造加熱装置、1970年に鋳めつきライン向薄板加熱装置を、プロセスラインに設置したことで、鉄鋼業界に誘導加熱装置の地位を確立し、以後あらゆる分野に採用されている。最近のわが国の鉄鋼業界は、石油ショックを契機に、省エネルギー運動の拡充、海外製品との対抗上から連続化、高級化が進んでいるが、それらを推進する上での有効な手段として誘導加熱装置が注目され、役に立つてきている。本文では、この転換期に開発され、実用化した機種の特徴の代表例のいくつかを御紹介する。

### 2. 鋼管の誘導加熱装置<sup>1)~3)</sup>

鋼管の誘導加熱装置を用途別に分類してみると、熱処理用、熱間成型用、表面処理用に分けられる。それぞれの分類で、実際に稼動している設備を図1に示す。ここでは、各分類における代表例として、継目無鋼管の焼入れ焼もどし装置、アップセッター用管端加熱装置及びUO管のコーティング予熱装置について紹介する。

#### 2.1 継目無鋼管の焼入れ焼もどし装置

継目無鋼管は、主に石油掘削用に使われているが、現在、石油掘削井戸は地下約10kmにも達するほど大規模化し、その鋼管1本1本に要求される信頼性は、非常に厳しいものとなっている。文献によると本装置で熱処理された油井用ケーシング鋼管の品質の特徴として、熱処理後の矯正が不要で鋼管に残留応力や冷間ひずみが見とめられない。すなわちコラプス強度と耐硫化物応力腐食割れ性質の向上をはかることができる。さらに誘導加熱は、高電力密度で鋼管を加熱することができるため、短時間加熱による組織の微細化を通じて靱性の改善を可能とした。さらに誘導加熱で熱処理を行った場合の冶金学的特性の改善効果例を表1に示す。

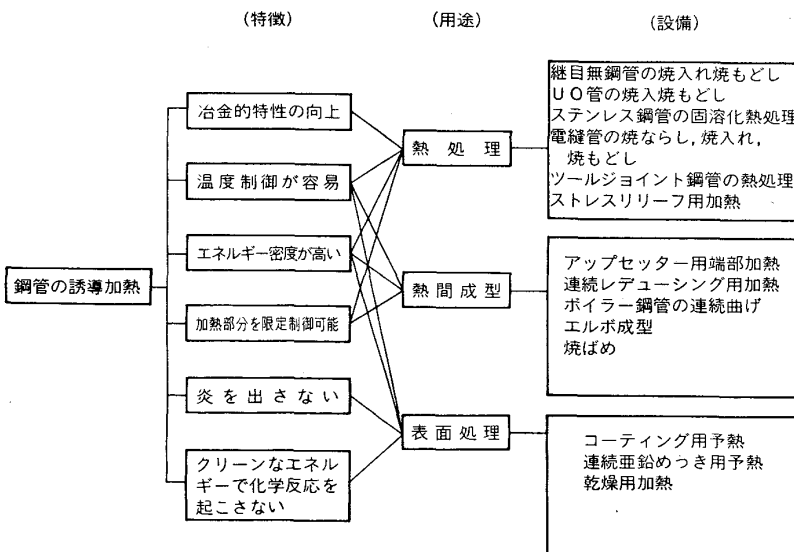


図1 鋼管の誘導加熱の特徴と用途

昭和60年7月25日受付 (Received July 25, 1985) (依頼技術資料)

\* 三菱電機(株)伊丹製作所 (Itami Works, Mitsubishi Electric Corp., 8-1-1 Tsukaguchihon-cho Amagasaki 661)

表1 誘導加熱により熱処理を行った場合の冶金学的特性の改善効果例

番号	誘導加熱による冶金的特長	実績データ										
		化学成分 (%)					引張試験			コラプス試験		
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	試験片長さ (mm)	コラプス値 (psi)	
1	引張強さの向上* (引張試験)											
2	圧壊力に対する強度改善* (コラプス試験)	API規格	≤0.40	≤0.35	≤1.90	≤0.040	≤0.060	56.2/66.8	≥66.8	≥18.0	≥489	≥4 750
		実績	0.29	0.26	1.31	0.017	0.008	63.6	74.8	31.1	1 143	6 710
油井用ケーシング L-80 の機械的性質 (外径 244.5 mm × 厚み 11.99 mm)												
3	低温脆性の改善**						鋼管種類 油井用ケーシング N-80 外径 139.7 mm 肉厚 7.72 mm					
4	残留応力が少ない** (誘導加熱の場合、短時間加熱のため曲がりや冷管曲がりとりが不要のため)	鋼管の種類	誘導加熱の場合		燃焼炉の場合							
		油井管ケーシング N-80 外径 139.7 mm, 肉厚 7.72 mm	1.46 kg/mm <sup>2</sup>		19.44 kg/mm <sup>2</sup>							

出典 \*...2), \*\*...3)

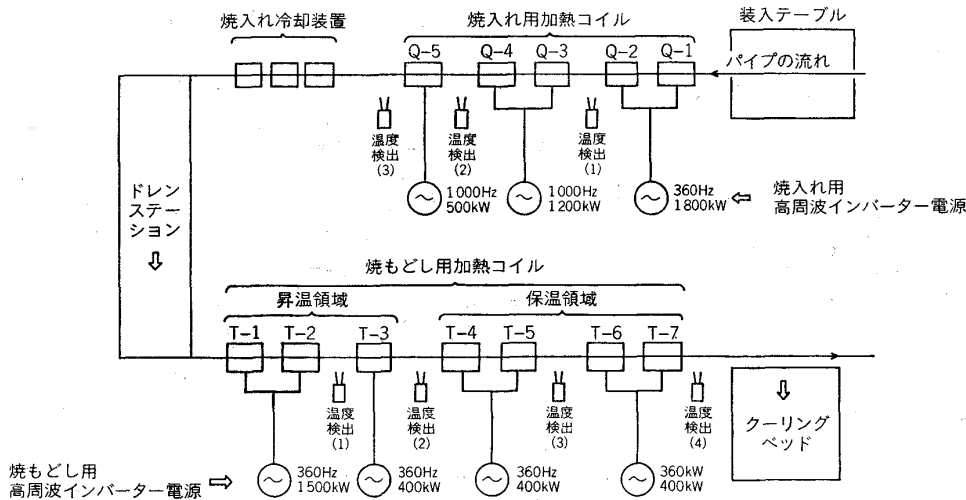


図2 焼入れ焼もどしライン構成例

装置の概要を説明すると、図2に示すように、鋼管は装入テーブルから1本ずつ焼入れラインの搬送ローラー上にキックインされ、加熱コイルに装入される。加熱ゾーンでの鋼管搬送を1本ずつ行くと、管端で温度むらが発生することがある。これは磁束の乱れによる誘導加熱特有の端部効果によるもので、管端から約30~50mmの範囲で20~150°C程度の温度むらとなる場合がある。この温度むらは、鋼管外径、肉厚、周波数、加熱温度領域等の要素で管端部が定常部に比べ、高くなつたり、低くなつたりする。そのため焼入れの加熱ゾーン、焼もどしの加熱ゾーンでは、先行管に後続管を加速、接合させ、管端間に間げきのない状態としている。焼入れ用加

熱コイルは、鋼のキュリー点以下では360Hz、キュリー点から最終加熱温度までは1kHzの周波数で、3電源5加熱コイルの構成で加熱している。焼入冷却装置は、環状リングに噴射ノズルを設け、焼入れ水を鋼管に噴射しているが、焼入れ水が先行管の後端に当たり、後続管の内面に逆流し温度低下することを防ぐため、加熱後、焼入冷却装置に入る前に先行管を増速させ、後続管との端間距離をとっている。焼入れされた管は、ドレンステーションを通過し、焼もどしラインに送られる。焼もどしは、キュリー点以下の加熱温度となるため加熱効率は非常に高く、省エネルギーの効果もある。焼もどし用加熱コイルは、2電源3加熱コイルで焼もどし温度まで昇

温させ、2電源4加熱コイルで保温している。焼もどし後の鋼管はクリーニングベッドに送られる。管の加熱温度は、放射形温度計により測定し、コンピューターによるフィードフォワード、フィードバック制御で確保される。さらにコンピューターでロギングされるデータは、ライン速度、搬送ローラー径の補正值、加熱温度の目標値とその許容範囲、鋼管1本ごとの最高、最低、平均温度電力原単位、電力配分、焼入水量、水圧などであり、十分な品質管理がなされている。継目無鋼管の焼入れ焼もどし装置の設計例を表2に示す。

2.2 アップセッター用鋼管端部加熱装置

油井管の端部は一般に増肉加工後、ねじ加工される。管端部の増肉加工は誘導加熱装置によつて1250°Cに加熱後、アップセッターにより増肉成型される。ねじ加工された油井管は、地上から回転させながら穴を掘るためのドリルパイプ、掘られた穴の内部に順次埋め込むケーシングパイプ及び油井を掘削後、石油やガスを取り出すために用いるチュービングパイプとして使用される。

アップセッター用鋼管端部加熱装置は、図3に示すように、右端から装入ローラー上の鋼管を加熱コイル内に装入すると、鋼管の先端がストッパー装置に当たり、所定の加熱長にセットされる。コイルの入側から出側に向かつては、スキッドレールとコンベアに登り勾配をつけ、加熱中の鋼管に回転を与えている。更に鋼管は横送りされて、出側にある抽出ローラーに落下し、コイルの外に抽出されて、アップセッターに供給される。鋼管の搬送に

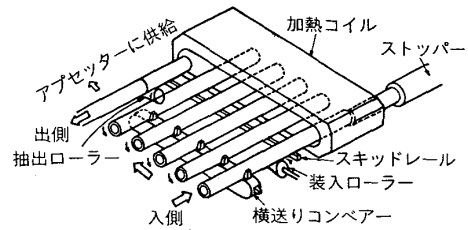


図3 鋼管端部加熱装置における鋼管の搬送方法と加熱方法<sup>1)</sup>

要する時間は、装入、位置決め、横送りで決定され、最小8秒に1本程度のサイクルで鋼管を加熱処理することができる。加熱時間は、コイル入側と出側までの間に入る鋼管の本数とサイクルタイムの積となるため、サイクルタイムが短い場合は、上記距離を長くすることにより、均熱に必要な加熱時間を得ることができる。図4に、加熱コイルの断面とコイル出側における加熱温度分布を示す。加熱コイルは、短絡コイルとNo.1~No.5まで5分割されたコイルブロックで構成され、全体を耐火セメントでモールドしている。短絡コイルは、通電コイルNo.1~No.5から発生する洩れ磁束に対して、逆方向の磁束を発生するため、加熱部と非加熱部の境界部分の温度勾配を大きくする役目を持ち、図4の例でも加熱部より160mmの点で約960°Cの温度差が見られ、アップセット時の製品の仕上がりを良くしている。また、加熱長が図4の例のように800mmの場合は、No.1~No.5までの加熱コイルブロックに通電するが、加熱長が300mm程度の場合は、No.1~No.3のコイルブロックに通電し、No.4, No.5のコイルブロックには通電を止め無駄な電力の消費を防止している。表3に

表2 継目無鋼管の焼入れ焼もどし装置設計例<sup>1)</sup>

番号	項目	焼入れライン	焼もどしライン	
1	加熱仕様	鋼管外径サイズ	16インチ~4½インチ	
		ハイブ肉厚	約20mm~4mm	
		処理重量	12t/h	
		加熱温度	1000°C	700°C
		加熱温度むら	±30°C	
2	設備概要	加熱機定格	360 Hz, 1800 kW 1 kHz, 1700 kW	360 Hz, 2700 kW
		インバータ定格	360 Hz, 1800 kW 1 kHz, 1200 kW 1 kHz, 500 kW	360 Hz, 1500 kW 360 Hz, 400 kW ×3台
		ライン構成	図2参照	
3	制御関係	制御機器	プラントコントローラー	
		制御内容	1. 搬送制御 チャッチアップシステム 2. 温度制御 フィードフォワード、フィードバック、学習制御 3. トラッキング 4. その他	
4	ユーティリティ	受電容量	4700 kVA	3700 kVA
		冷却水	125 t/h	100 t/h
		焼入液量	800 t/h (供給圧 7 kg/cm <sup>2</sup> )	—
5	総合効率	82~83%	85~89%	

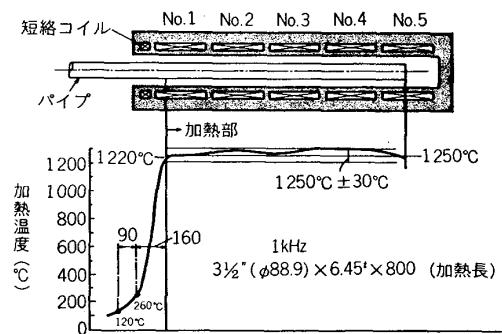


図4 コイル出側での長手方向温度分布の例<sup>1)</sup>

表3 鋼管端部加熱装置のサイクルタイムの例<sup>1)</sup>

加熱装置容量		1 kHz 2000 kW		
最大加熱長		400 mm		
加熱長		400 mm 以下	600 mm 以下	800 mm 以下
鋼管サイズ	2 ¾" φ × 6.5 t	8 s/本	8 s/本	10 s/本
	3 ½" φ × 9.5 t	11	13	17
	4 ½" φ × 9.5 t	15	17	22
	5 ½" φ × 9.5 t	18	21	27
	7" φ × 10.0 t	24	29	36
	8 ¾" φ × 10.0 t	30	36	45
	9 ¾" φ × 11.0 t	37	45	55

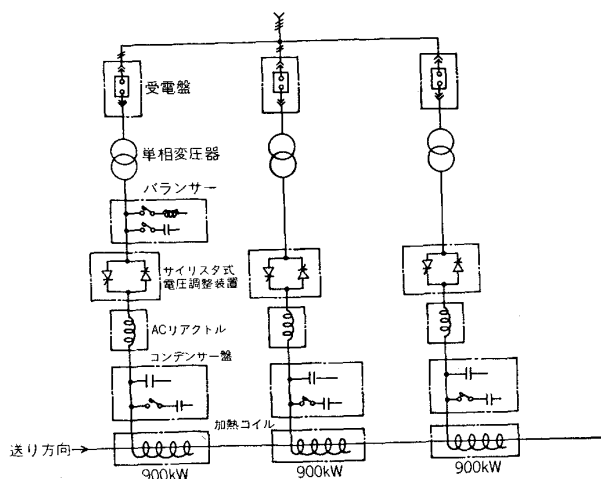


図5 UO管コーティング装置単線図

鋼管加熱装置のサイクルタイムの例を示す。

### 2.3 UO管のコーティング予熱装置

UO管の外表面コーティング予熱装置は、誘導加熱コイルの中にUO管を通過させ、管全体を、 $230^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ に加熱した後、UO管の外表面にエポキシ樹脂を、コーティングする装置である。他にポリエチレン樹脂をコーティングする場合は、管全体を $80^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ に加熱する。誘導加熱は、管の表面に燃焼物等が付着することのないクリーンな加熱となるため、鋼と樹脂の間に不純分の混在がなく、また、加熱温度の制御性に優れているため、品質の安定したコーティングが得られる特徴がある。

UO管は、外径が $16''\phi(406.4\phi\text{mm})\sim 64''\phi(1625.6\phi\text{mm})$ と大きく、肉厚も厚く、かつ加熱温度がキュリーポイント以下の加熱となるため、加熱電源は商用周波数を使用している。図5にUO管の加熱装置の一実施例の単線結線図を示す。鋼管の送り方向に加熱コイル3台を設け、3相電源の各相へそれぞれの加熱コイルを単相で接続させ、各相をできるだけバランスさせて電力を供給させている。ポリエチレン樹脂をコーティングするのように、加熱温度が低い場合は、入側の加熱コイルには電力を印加せず他の2加熱コイルで加熱するため、相バランスがくずれるので、入側加熱コイルの系統にバランスを入れ3相のバランスをとっている。電源容量は、 $900\text{kW}\times 3$ 加熱コイル= $2700\text{kW}$ である。

### 3. 局 部 加 熱<sup>(4)5)8)</sup>

誘導加熱の特徴のひとつとして、「エネルギー密度を高くできる」ことをあげることができる。この原理によって必要な部分のみの加熱が可能となり、製鉄分野ではエッジヒーターと総称される装置となっている。実機設備としては、鍛接管エッジヒーター、スラブエッジヒーター、粗バーエッジヒーターがある。これらは、いずれもトランスバース磁束(Transverse Flux)を利用した

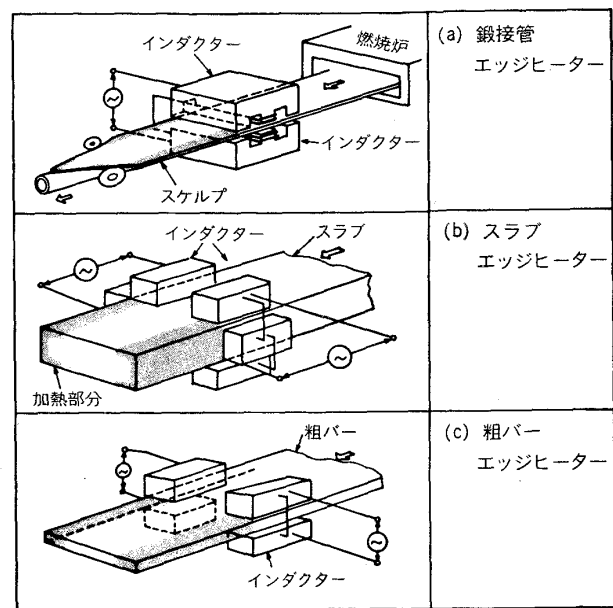


図6 各種エッジヒーターの加熱方法

誘導加熱方法で、磁束を材料面に垂直に貫通させている点が、従来と異なっている。図6に上記装置の加熱方法を示す。

#### 3.1 鍛接管エッジヒーター

鍛接管は帯鋼(以下スケルプと称する。対象寸法は概略 $450\text{mm}\sim 150\text{mm}$ 幅 $\times 2\text{mm}\sim 8\text{mm}$ 厚)を鍛接温度の約 $1350^{\circ}\text{C}$ に加熱し、ロール成形、鍛接、レデュースの工程で造管する方法である。この造管方法は、エッジの高温加熱を必要とするため、エネルギー多消費、スケルロス発生、加熱炉耐火物の寿命など、他の造管方法と比べ製造コストが割高となっている。この改善策として、従来の加熱炉から低温抽出し(約 $1200^{\circ}\text{C}$ )し、エッジ部(片側約 $20\text{mm}$ )を約 $1350^{\circ}\text{C}$ に加熱後、成形、造管する方法が開発された。この両エッジ部のみ昇温する手段として、鍛接管エッジヒーターが世界で初めて開発、導入されている。このエッジヒーターを採用することで、従来の、造管方法に比べて、 $20\%\sim 28\%$ の省エネ効果を上げている。この加熱方法は、図6で示すように、E形状の鉄心を使つて磁束を有効に、スケルプを貫通させ、スケルプの平面に、ループ状に電流を流す。インダクターは、スケルプ全体を覆うように配置されているが、発熱は電流が集中するエッジ部で、大部分を占め、図7のような、昇温パターンが得られる。インダクターがスケルプ全体を覆っているので、スケルプサイズの変更にも、インダクターを変える必要がなく、作業性が良い。エッジヒーター本体写真を写真1に示す。

#### 3.2 スラブエッジヒーター

連続鋳造工程で鋳造されるスラブを直接圧延工程に掛ける直送圧延法(以下CC-DRと称する)があるが、最大の問題はスラブの放冷時間が長くなるためにエッジ

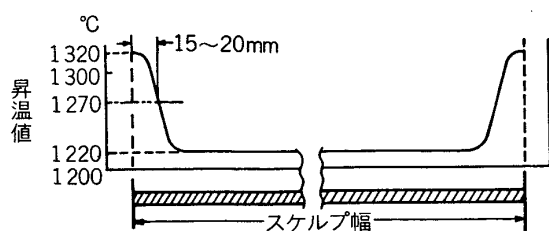


図7 鍛接管エッジヒーター昇温分布例

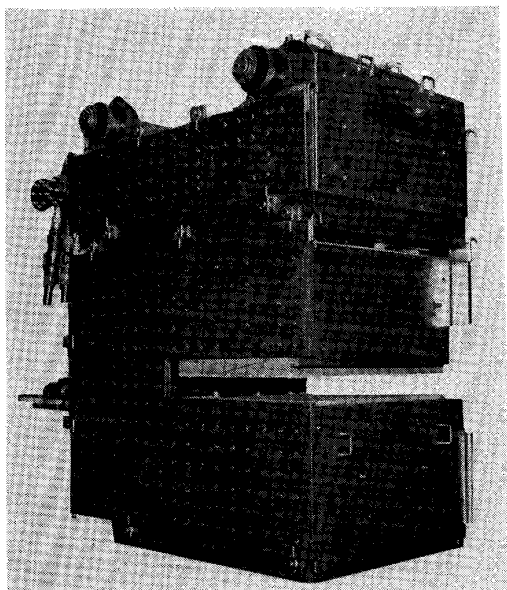


写真1 鍛接管エッジヒーター外観図

部の温度降下が大きく、ホットストリップ製品の品質に影響を与えることである。そこで、スラブエッジヒーターを使い、スラブのエッジ部温度を補償している。スラブエッジ部の上・下面及び側面にインダクターを配し、それぞれの発生磁束方向を、同方向または逆方向に組み合わせることで、最適な昇温パターンを得ている(図8)。エッジヒーターを検討する場合、入口の初期温度分布と改善後の温度分布が与えられ、その比較から、昇温に必要な部分と必要昇温量が求められる。その結果、加熱周波数と設備容量が決まる。スラブ厚み 250 mm、平均処理速度 4 m/min のラインに導入された例として、350 Hz、10 000 kW の設備がある。スラブの場合、厚みが大きいとトランスバース磁束といつても、磁束がスラブを貫通するわけではなく、表面加熱の組合せとなつている。従つて、投入電力に対する発熱量の関係で見ると、決して効率の良い設備とは言えないが、必要な部分のみ限定して加熱できるため、システム全体では省エネ効果が大きい。加熱効率はインダクターとスラブとの距離に大きく依存するので、この種の装置では、いかにインダクターをスラブに近づけるかが、ポイントのひとつである。インダクターは移動台車と呼ぶ装置に搭載さ

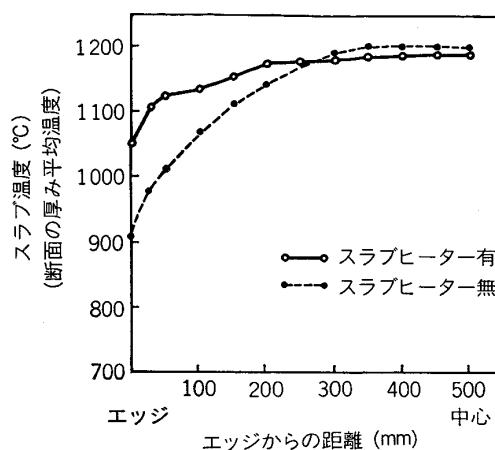


図8 スラブエッジヒーター加熱効果

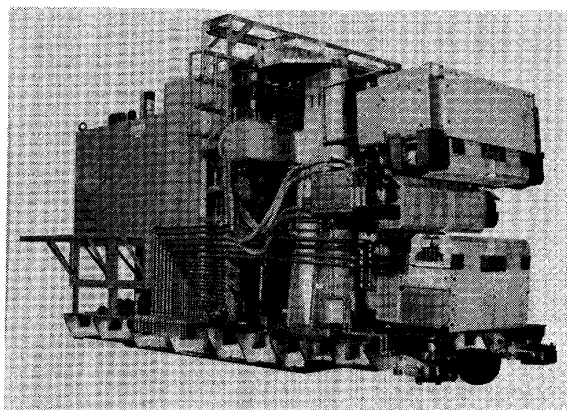


写真2 スラブエッジヒーター外観図

れ、摺りローラを介して、常にスラブに押し当て、所定の位置を保つ構造としている(図9、写真2)。

スラブエッジヒーターの導入などで、CC-DR法が確立したわけであるが、従来の分塊圧延に比べて、転炉～製品までの所要時間は、8hが1.5hに短縮、出鋼から圧延までのエネルギー消費量は、約 $500 \times 10^3$  kcal/tが $80 \times 10^3$  kcal/tに削減された。

### 3.3 粗バーエッジヒーター

現在エッジヒーターの中で最も注目されている設備は、熱延鋼板のエッジヒーターである。仕上圧延機の直前に設置され、粗バーのエッジ部を、50~100°C程度昇温させている。導入の主な目的は、1. 加熱炉抽出温度の低減(省エネ効果)。2. ロール偏摩耗の防止。3. 混粒発生の防止等である。最近の傾向としては、混粒発生の防止を目的とするものが多く、そのため、最エッジ部のみでなく、両エッジ部から80~100 mmまで加熱している。加熱原理は、典型的なトランスバース加熱で、粗バーエッジ部上下に配置されたインダクターにより誘起した貫通磁束で加熱される。加熱電源周波数は、加熱効

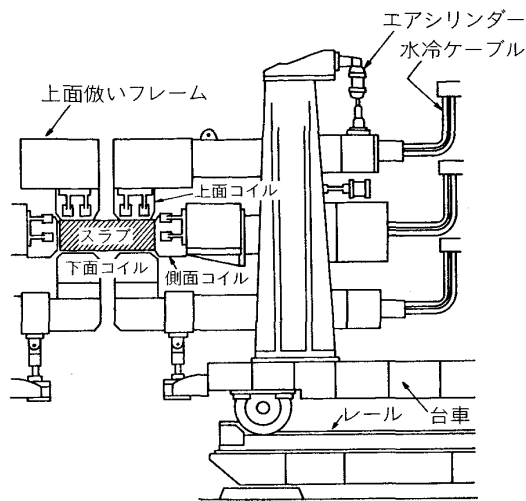


図 9 スラブエッジヒーター外形図

表 4 粗バーエッジヒーター設計例

番号	項目	実例 1	実例 2
1	導入目的	1) 加熱炉抽出温度の低減 2) ローラーの偏摩耗防止	1) ローラーの偏摩耗防止 2) ホットバーエッジ部の混粒発生防止 25 mm 及び 35 mm
2	基準バー厚	50 mm	
3	バー送り速度	85 m/min	85 m/min
4	昇温値	最エッジ部 45°C 昇温	エッジ部 10 mm から 80 mm まで各部所定の温度改善を行う。
5	設備容量	500 Hz, 800 V, 2 400 kW	500 Hz, 800 V, 3 600 kW
6	移動台車数	4 台	4 台
7	インダクター設置スペース	5 250 mm	5 100 mm

果の周波数依存性が少ないため、機械振動、電力密度、印加電圧等の関係で選択される。実機設備例を表 4 で示す。加熱方法は、スラブエッジヒーターと同様に、インダクターを移動台車に搭載し、圧延条件に応じて、インダクターのギャップ及び幅方向位置を決め、最適位置で加熱を行っている。

混粒の発生防止を目的とする場合には、粗バーの先端から尾端までの加熱を行う必要があるため、あらかじめ先端の最大上り量、尾端の最大下り量を把握しておき、先・尾端部分のそり量を考慮したギャップ調整を行い加熱している。また、幅方向のインダクターの位置でエッジ部の加熱特性が変わるため、幅方向の位置補正を行っている。局部加熱を特長とするエッジヒーターは、限定された必要な部分に、いかにうまく加熱電力を供給するかがポイントであり、粗バーエッジヒーターの場合も、必要昇温パターンを初めに決定し、そのパターンに近い印加可能な昇温パターンを検討することにより、設備容量が決定される。図 10 は、エッジから 80~100

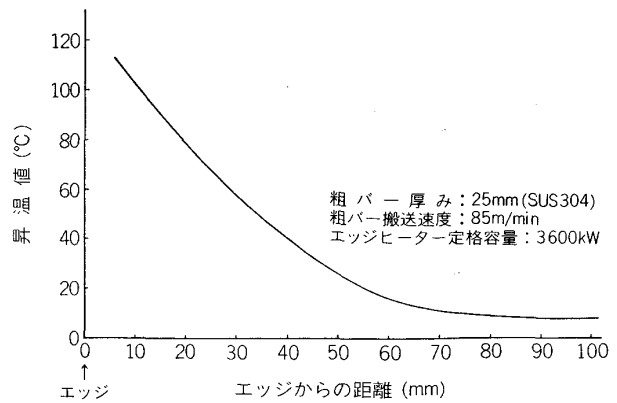


図 10 粗バーエッジヒーター昇温分布例

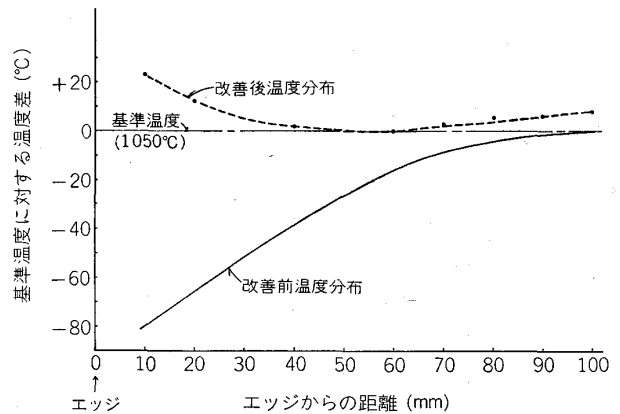


図 11 エッジヒーターによる粗バーエッジ部温度改善例

mm の点までの昇温を目的とした、昇温パターン例である。写真 3 の装置を使つて、図 11 の実線で示した温度プロフィールを改善すると、加熱後は、図 11 の破線となる。粗バーエッジヒーターは、原理的にエッジ部に、渦電流を集中させて、エッジ部を加熱する装置であるため、エッジ部の過熱により、印加電力を大きくできないことがある。この場合は、インダクターを板幅の中心方向へ移動させることで、エッジ部の渦電流の集中度を、緩和させることが可能である (図 12)。粗バーエッジヒーターは、ラインの運転と密接なつながりがあるので、専用の工業用コンピューターを用い、上位コンピューターからの圧延情報、加熱指令を受けて運転される。

#### 4. 薄板加熱<sup>6)7)</sup>

冷延ストリップの熱処理ラインにおける、薄板熱処理加熱は焼鈍、焼もどし、焼準、塗布乾燥、焼付け、表面めつき合金層の生成等の用途に大別され、各用途に応じて、加熱炉の方式は異なっている。例えば、高速連続焼鈍炉では、ストリップの炉内昇降移動によつて、炉内滞在時間を確保し、昇温させている。塗布乾燥炉では塗布剤の蒸発速度、換気速度等から、昇温速度が限定さ

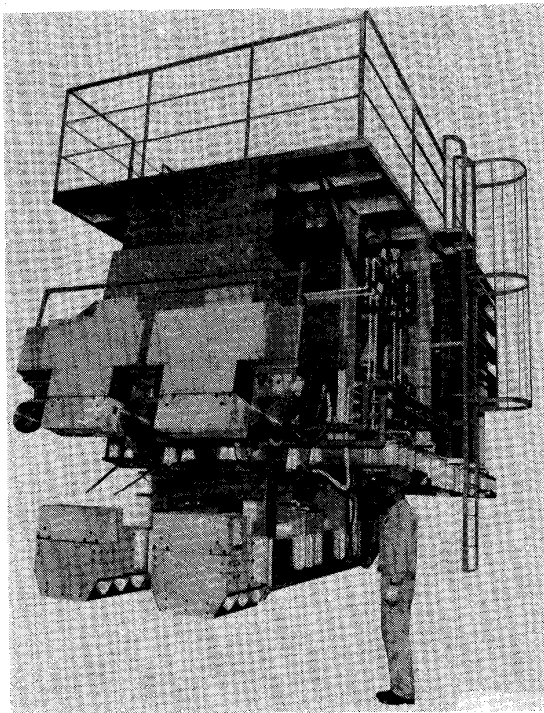


写真 3 粗バーエッジヒーター外観図

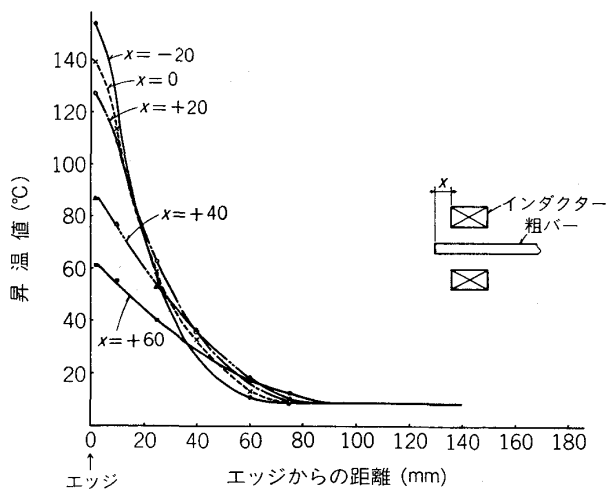


図12 粗バーエッジヒーター加熱位置と昇温分布変化例

れ、さらに乾燥完了まで、搬送ローラと非接触搬送となる。この場合非接触距離の限界と換気による炉内温度低下とから、搬送速度に限界が生じる。表面めつき合金層の生成炉では、生成強度の成否がめつき層の耐剝離性、耐腐食性を左右し、特に食缶用めつき鋼板では、厳しい品質が要求される。以上のように各加熱用途で、潜在する問題点が異なることから、誘導加熱の採用条件も、必然的に異なってくる。

**4.1 周波数の選定**

薄板を誘導加熱する場合、加熱電源周波数の選定は最も重要な要素であり、この選択は、加熱システム全体を

決定づける。使用される周波数は、ラインに掛けられるストリップの最小厚さ、材質、ライン速度及び与えられる炉長を考慮して、選定される。一般的に運転費を軽減するために、総合効率を極力高く取らねばならないが、設備費との関連も考えて、標準的には 3~9 kHz (サイリスタインバーター) 30~100 kHz (トランジスタインバーター) を適当に選択または組み合わせて使用する。これら電源単体の変換効率は、サイリスタインバーターが 96~90%、トランジスタインバーターが 83~77% 程度であり、加熱コイルから、ストリップへの加熱効率 (85~75%) を考慮に入れても 82~58% の総合効率を得ることができる。最低周波数  $f_0$  は、ストリップ最小厚  $t_0$  と電流浸透深さ  $\delta_w$  で決定され、図 13 からわかるように、 $\delta_w \leq t_0/2$  が存在しなければならない。

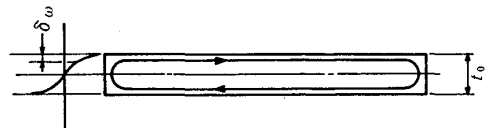


図13 ストリップ最小板厚  $t_0$  と電流浸透深さ  $\delta_w$

電流浸透深さ  $\delta_w$  は、 $\delta_w = 50.3 \times \sqrt{\rho_w / \mu \cdot f_0}$  (mm) で与えられる。

ここで、 $\rho_w$ : ストリップ固有抵抗 ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )

$\mu$ : 比透磁率 (加熱コイル長が長いほど高い値を示す。)

$f_0$ : 最低周波数 (Hz) である。

図 14 に最低周波数  $f_0$  とストリップ最小板厚  $t_0$  の関係を示す。

**4.2 焼鈍・焼準向ヒーター**

従来の連続焼鈍のヒートパターンを図 15、炉構造を、図 16 に表す。従来の連続燃焼式加熱炉では、低い昇温速度に起因して、長い昇温ゾーンが必要のため、ストリップの搬送速度を低速にしている。高速とする場合は、膨大な昇温ゾーン用建屋スペースが必要となる。保温ゾーンでは、ストリップ表面からの熱放散損分をおぎなう加熱となり、低い加熱密度で十分である。このように、各ゾーンごとに炉への要求が、異なっている。そこで、昇温ゾーンに急速加熱が特徴である誘導加熱を採用し、保温ゾーンに従来炉を使用すれば、昇温ゾーン建屋スペースが圧縮され燃焼後の廃ガス処理設備の縮少等のメリットを見出すことができ、新連続焼鈍法の出現が可能となった。図 17 に素案を示す。

**4.3 塗布乾燥、焼付け向きヒーター**

塗布乾燥は、塗布剤に含まれている溶剤を揮発することであり、焼付けは塗布剤の固形分をストリップに焼付けることである。乾燥速度は、溶剤の蒸気速度と、その蒸気の炉内換気能力との組み合わせで決まる。急速加熱は塗布表面に脱気孔を発生させ、急速換気は、炉内温度低下を派生させる。雰囲気加熱炉では、換気を必要とす

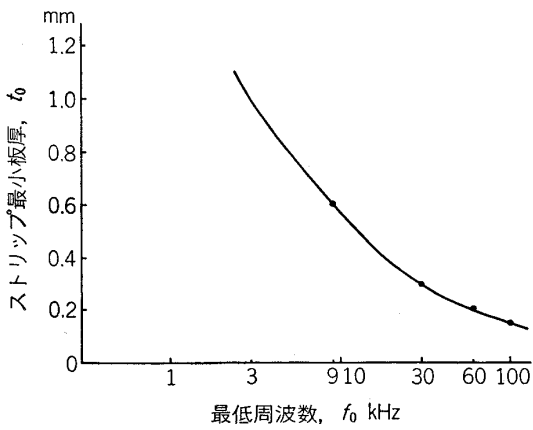


図14 最低周波数とストリップ最小板厚

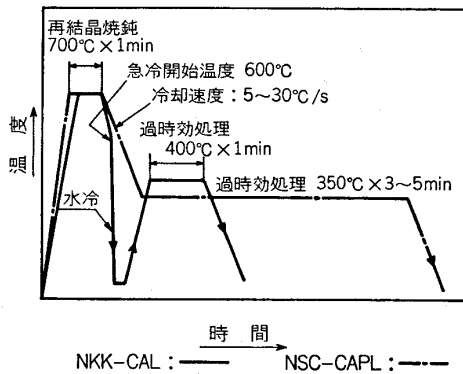


図15 連続焼鈍用焼鈍炉のヒートサイクル

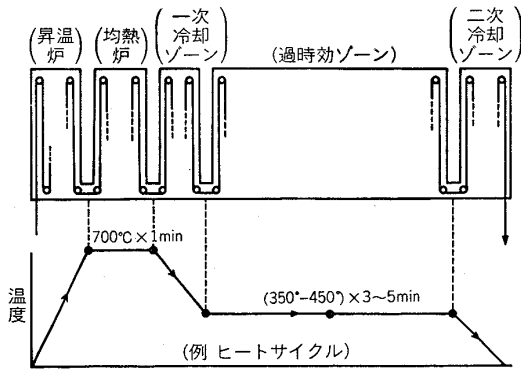


図16 連続焼鈍炉の構成例

るため、低効率操業となつている。誘導加熱は、ストリップ内の渦電流発熱であることから、雰囲気温度、換気能力に無関係に昇温でき、脱気孔が発生しない程度まで、昇温速度を高められ高効率操業が可能となる。塗布剤のたれ、表裏の乾燥速度の差異等で、品質が十分確保できない場合は、横形炉図18より、縦形炉図19を推奨する。また写真4は、横形炉の焼付用誘導加熱コイルの写真である。

4.4 横方向磁束ヒーター

通称トランスバース式 (Transverse Flux Type) ヒ

ーターと言われている。本方式の加熱原理は、1950年代に完成しているが、ストリップの幅変化または、蛇行に対して、両端部が過熱しやすく幅方向の均熱性に難がある。前述のように局部加熱用には、実用化されているが、均熱用ヒーターには、実用化が遅れている。また、適用するストリップの材質は鉄系で非磁性材 (キュリー点 (約 770°C 以上のストリップ), オーステナイト系ステンレス, 銅系, アルミ系ストリップ等である。原理図は、図6 (a) と同じである。

5. 結 び

誘導加熱は、従来の燃焼式加熱手段の代替として登場し、発展してきた。それは、電気加熱であるための特徴つまり、操作性が良くクリーンエネルギーであり精度の良い加熱ができる等が重宝がられたことによる。しかし、ここで述べた金属の治金の性質の改善を可能にする

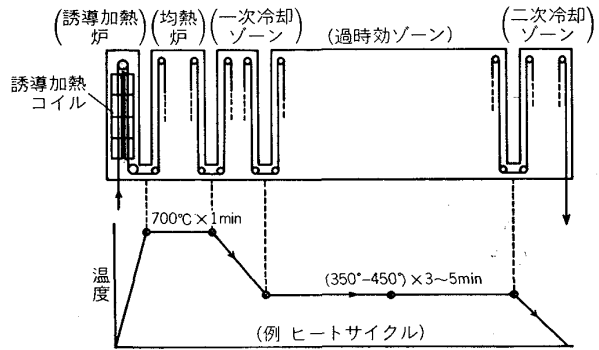


図17 誘導加熱式連続焼鈍炉の構成例

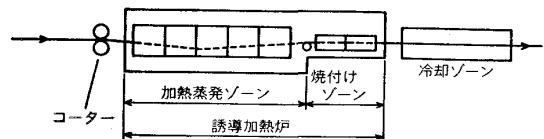


図18 誘導加熱炉の構成例 (横形方式)

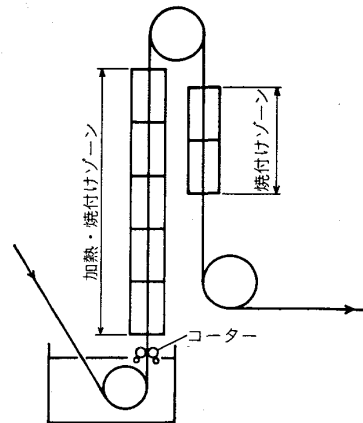


図19 誘導加熱炉の構成例 (縦形方式)



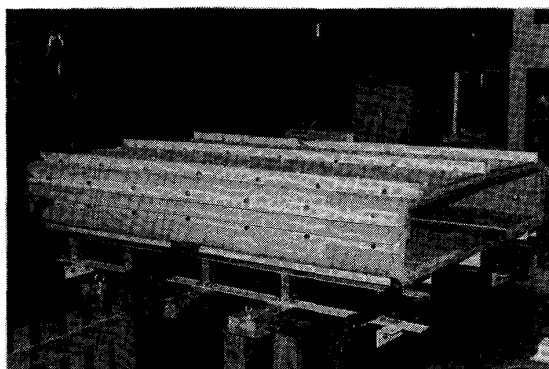


写真 4 焼付け用誘導加熱コイル

る、急速加熱や必要な部分にのみ大エネルギーを集中できる局部加熱、など、誘導加熱でなくては実現できない用途への応用が次々と開発され、実用化されている。

また、ここでは述べなかつたが、超硬バイト等の焼結金属やセラミック等の高温焼成にも、誘導加熱が使われているが、これは、誘導加熱の特徴のひとつである「超高温の加熱が可能」を生かしたものである。誘導加熱は、低成長時代にあつて、生産性の向上、製品の付加

価値化を計る上でなくてはならない手段となつてきている。

今まで多くの分野で積極的に誘導加熱装置の採用を協力いただいた、各鉄鋼メーカー諸兄へ本誌をお借りして、謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 新見明彦, 橋本学夫, 塚田光政: 工業加熱, 19 (1982), p. 39
- 2) 神崎文暁, 黒川 熙, 滝谷敬一郎, 西 博, 田上俊久: 日本金属学会会報, 18 (1979), p. 285
- 3) K. TAKITANI, M. YAMAGATA, H. KUROKAWA, H. NISHI, T. TAUE and Y. MORISAKI: Iron and Steel Maker (1979) August, p. 26
- 4) 鵜飼俊行, 沖 俊幸, 西本廣二, 樋口賢次, 平岡宣昭: 住友金属誌, 33 (1981), p. 96
- 5) 加熱炉Cガス原単位低減プロジェクトチーム: 省エネルギー, 33 (1981), p. 9
- 6) 山崎 忠, 前山公夫, 相沢 均, 嶋田俊一, 田中司: 川崎製鉄技報, 13 (1981), p. 123
- 7) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 79 回計測部会 (1981 年 11 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 8) 久々宮 明, 椿原 治, 藤井義博, 吉田 透, 松下晏宏, 吉岡信夫, 牧角一弘, 細川正行: 製鉄研究 (1984) 313, p. 33