

特別講演

UDC 621.793.06 : 669.586.5

連続溶融亜鉛メッキ炉の変遷について*

吉 本 弘**

Developments of Continuous Strip Hot Dip Galvanizing Furnace

Hiromu YOSHIMOTO

ま え が き

わが国の亜鉛メッキ鋼板の生産は、鉄鋼生産の伸びに従がつて増加の一途をたどってきた。

鉄鋼素材の亜鉛メッキ処理は、古くから有効な防食法として利用され、その処理技術は最近目覚しく発達し、用途もますます拡大している。

鉄の亜鉛による防食被膜形成法は、電気メッキ法、溶融メッキ法、シェラダイジング法、メタリコン法、および亜鉛末塗装法などがあげられ、これらの方法の中で今日最も広く用いられているのは溶融メッキ法である。

鋼板の溶融亜鉛メッキは、1942年英国で切板の両面にフラックスを塗布した後、溶融亜鉛に浸漬するいわゆる“切板メッキ法”によつて生産が始められた。

以来切板メッキ法は次々と改良が続けられ、わが国には1906年旧八幡製鉄所に導入されて、生産が開始された。

その後連続ストリップミルによる薄板コイルの製造法が確立されるにいたり、ストリップの連続溶融亜鉛メッキ法が開発された。すなわち1931年ポーランドのゼンジマ氏 (Tandenz SENDZIMIR) による発明である。1936年に英国およびフランスに小型の実用機が設置され、つづいて米国のアームコ・スチール社では1938~1940年にそれぞれ1基ずつ (何れも6t/h) が稼働を開始した。ゼンジマ方式は逐年増加をたどり1960年代には実に50基の増設が実現した。これより前に米国ではUSスチール方式、クックノートマン方式 (ホイリング方式)、およびシーラス方式なども開発実用化された。これらの連続溶融亜鉛メッキ法は世界の工業先進国に導入され、亜鉛メッキ鋼板の生産に大いに寄与した。現在世界には約186基内日本には約45基の設備が稼働し、亜鉛メッキ鋼板の生産量は表1に示すように年間1500万t以上、内日本ではその約30%の500万t以上を生産している。

筆者は、連続溶融亜鉛メッキ設備の重要要素である連続炉の概略に触れ、特にわが国に導入されたゼンジマ方式の炉の変遷についてその構造もあわせて紹介したいと思う。

1. 連続溶融亜鉛メッキ炉の種類

炉は大別して鋼板ストリップの焼なましをメッキ処理と同時にライン内でおこなうものと、ライン外でバッチ炉などによりおこなうものとに分類される²⁾。亜鉛の密着性確保のためいずれもストリップ表面のクリーニング装置をラインに組込む必要がある。以下に主なる種類を列举する。

1.1 ゼンジマ方式 (ライン内焼なまし)

この方式は図1・a直火式酸化炉中でストリップを加熱して圧延油を焼却する。ストリップ表面はわずかに酸化されるが次の還元帯で加熱焼なましされる間に水素雰囲気により表面は還元される。冷却帯を経て亜鉛ピットに入りメッキされる。

酸化炉を無酸化炉に置き換えたものが無酸化炉方式でストリップはほとんど酸化されることなく圧延油が除去される。

ゼンジマ方式から発展した方式であるが、クリーニングのメカニズムが異なっているため同一方式として考えることは無理であるかもしれぬ。詳細は後述する。

表1 世界および国内亜鉛メッキ鋼板生産量
(鉄鋼統計要覧)

年度	世界年間生産量	国内年間生産量	国内粗鋼対比
1970	12 038 ¹ 000t	3 878 ¹ 000t	4.15%
1971	12 562	3 764	4.25
1972	13 582	4 375	4.51
1973	16 437	5 375	4.50
1974	16 115	5 301	4.52
1975	(11 218)	4 307	4.20
1976	—	5 824	5.42

* 昭和52年10月2日本会講演大会における特別講演

** 大同特殊鋼(株)取締役機械事業部長 (Takakura Works, Daido Steel Co., Ltd, 1 Mutsuno-cho Atsutaka-ku Nagoya 456)

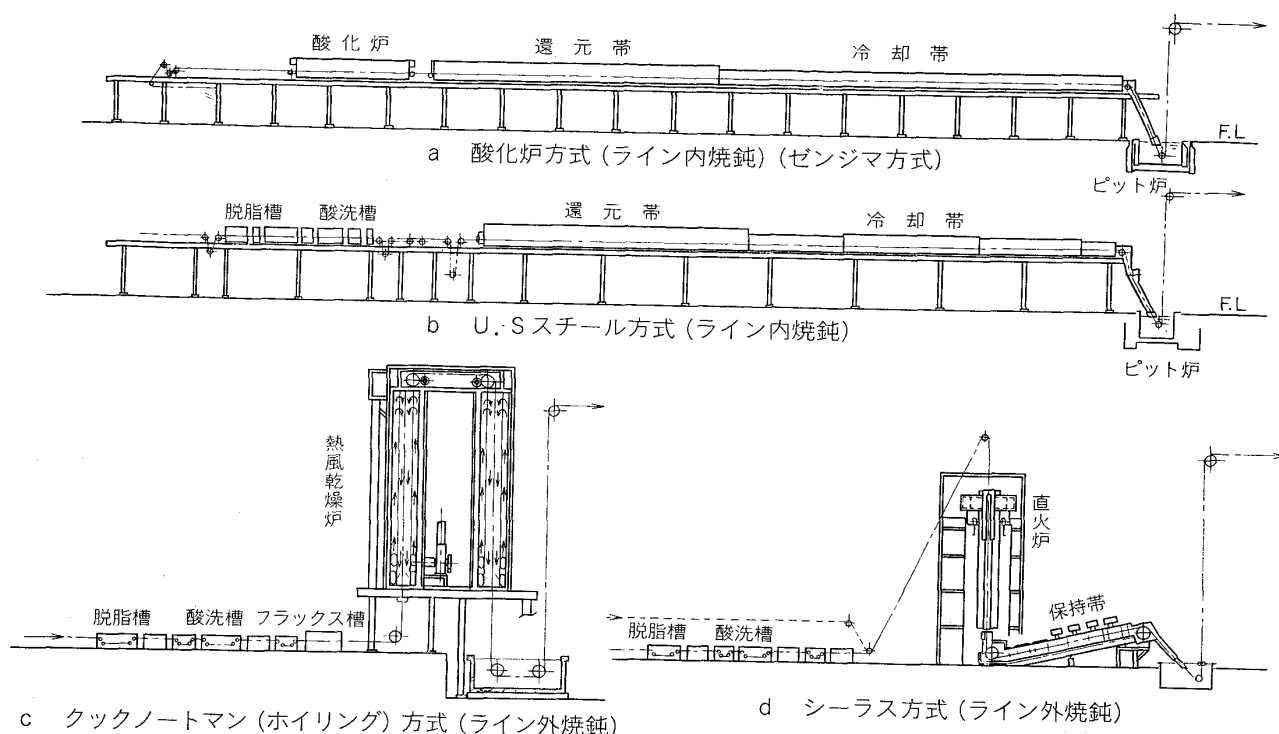


図1 連続溶融亜鉛メッキ炉の種類

1.2 USスチール方式 (ライン内焼なまし)

U S スチール社により開発された方式で、図 1・b 炉の入口側に設けられたアルカリ電解クリーニング装置により圧延油を除去し、さらに酸洗をおこなう。以後の機構はゼンジマ方式と大差はない。

1.3 クックノートマン方式 (ホイーリング方式) (ライン外焼なまし)

ホイーリング社によつて実用化された。図 1・c 脱脂酸洗によりクリーニングされたストリップに水溶液フラックスを塗布し、続く縦形炉でフラックスを乾燥してメッキ槽に投入しメッキする。ライン外で所定の焼なまし処理をおこなった材料から冷間圧延のフルハード材まで広範囲の材料のメッキが可能である。

1.4 シーラス方式 (ライン外焼なまし)

この方式は図 1・d ライン外で焼なました材料を脱脂酸洗してメッキする使用法と、冷間圧延のフルハード材を脱脂酸洗することなくメッキする使用法がある³⁾。後者の場合は基本的にはゼンジマ無酸化炉方式と同一である。縦形の直火炉はライン停止の場合、鋼板の破断防止のためライン外に移動し得る構造になっている。後に還元帯、冷却帯を設けた改良形はライン内焼なましもある程度可能である。

2. 各種連続溶融亜鉛メッキ方式の発達

表 2 に主要国における初期の各種方式の設備を示したが、1953 年までに各種方式が出揃っている。その後現

在まで亜鉛メッキ鋼板の旺盛な需要に応じて、各鉄鋼メーカーはそれぞれの方式の特長を選択し設備を増設してきた。表 3 に主要国別に各種方式の設置基数を年代別に掲示した。ゼンジマ方式は設備費は高価であるが運転コストが安く、かつ品質が安定している点を評価され設置基数は 120 基全基数の 65% と圧倒的に多い。特に米国以外ではほとんど本方式が採用されている。これは、本方式を開発したアームコ・スチール社の海外に対する積極的な技術供与のためでもある。

一方わが国においては 1953 年旧八幡製鉄所にゼンジマ方式が導入され、1954 年には旧富士製鉄にクックノートマン方式のエコノミラインが導入された。1960 年に入り、鉄鋼業界は急速な活況を呈し、連続亜鉛メッキ設備も急増の状況となつた。すなわち 1960 年代の 10 年間に 24 基新設され、内 13 基はゼンジマ方式か無酸化炉方式で、他の 11 基は米国で開発された方式を各社独自の技術で改良されたものであつた。1970 年代になり 15 基増設されているがほとんど無酸化炉方式である。従つてわが国の設備の約 70% はゼンジマまたは無酸化炉方式となっている。

3. わが国におけるゼンジマ方式の変遷

3.1 導入期のゼンジマ方式

アンコイラから供給される冷間圧延されたストリップは、最初、酸化炉にて 450°C に加熱され、付着している圧延油は焼却除去される。この時ストリップの表面は

表 2 主要国における初期の連続溶融亜鉛メッキ設備

方 式	国 名	会 社 名 (工場)	年 度	仕 様				炉メーカー
				速 度 (FPM)	板 幅 (吋)	板 厚 (ゲージ)	能 力 (t/h)	
ゼ ン ジ マ	(英)	Jhon summers	1936	80	40	28~20	2.5	Birlec
	(仏)	FABR. DE FER DE Maubeuge	1936	98	40	32~14	4.0	Heurtey
	(米)	ARMCO (BUTLER)	1938	80	42	30~18	6.0	Elect F'CE
	(伯)	Esperance-LONGDOZ	1951	115	40	31~17	2.5	Heurtey
	(日)	Yawata I. & STL.	1953	250	38	31~18	15.0	Elect. F'CE
	(伊)	Cornigliano	1955	250	48	30~17	14.4	Elect. F'CE
	(独)	AUGUST THYSSEN	1959	300	50	30~14	16.3	Elect. F'CE
U.S. スチール	(米)	U.S.S. (IRVIN)	1947	120	54	18~11	10.0	G.E.
クックノートマン	(米)	Wheeling STL.	1953	300	36	30~15	20.0	Ind. Ovens
	(日)	Fuji I & STL.	1954	200	48	31~16	10.0	Elect. F'CE
シ ー ラ ス	(米)	Bethlehem STL (Sparrows point)	1952	300	48	30~14	13.0	SELAS/G.E

表 3 各種連続溶融亜鉛メッキ設備の基数

方 式	国 名	設 置 基 数					
		1930 年代	1940 年代	1950 年代	1960 年代	1970 年代	合計
ゼ ン ジ マ	米	2	2	6	5	1	16
	加	0	0	2	3	1	6
	英	1	0	3	3	0	7
	仏	1	0	5	5	1	12
	日	0	0	2	15	13	30
	独	0	0	1	3	3	7
	伯	0	0	3	0	0	3
	伊	0	0	1	3	0	4
U.S. スチール	米	0	4	7	8	2	21
	日	0	0	0	2	0	2
クックノートマン	米	0	0	5	3	0	8
	日	0	0	4	5	2	11
シ ー ラ ス	米	0	0	6	5	1	12
	日	0	0	0	2	0	2
そ の 他	各国	0	1	1	5	3	10
	合計	4	7	52	80	43	186

黄色、または青色程度に酸化される。続いて還元炉と呼ばれる加熱帯にて所定の温度に加熱、還元され、メッキ可能な状態まで表面は完全に清浄化される。つぎに冷却帯にてメッキ温度近くまで冷却され、亜鉛ピット炉に入つてメッキされる。図2は本方式の炉の構成、構造、およびストリップの代表的な加熱冷却温度曲線を示す。

酸化炉は燃料としてガス、あるいは灯油が使用され、炉の天井および下部側壁に設けられたバーナの炎により、ストリップは直接加熱され、圧延油は完全に除去される。天井バーナは幅方向に3~5列配置され、この燃焼配分を調整することにより原板の形状不良による蛇行

を修正することができる。ハースロールは耐熱鋼製で、一般にはACモータによつて減速機、オーバランクラッチを経て駆動される。

還元帯は、ガスあるいは灯油を燃料とした放射管式加熱炉で、ストリップ表面の酸化物を還元するため、アンモニア分解ガス (H_2 75%, N_2 25%) を炉内雰囲気中使用している。アンモニア分解ガス (露点 $-60^\circ C$) は出口側のダウンシュート部より送入され、冷却帯を経て還元帯へと流れるあいだにストリップを還元し、露点 $0^\circ C$ ぐらいとなつて還元帯入口より排出される。ガス所要量はストリップ t 当り $5.0 \sim 6.0 m^3$ である。還元帯の炉内温度は $850 \sim 980^\circ C$ で、ストリップ温度は $730 \sim 830^\circ C$ (焼なましサイクル) または $930 \sim 955^\circ C$ (焼ならしサイクル) である。放射管はストリップの上、下段に取付けられ、ストリップの幅方向の均一加熱が可能のように、上、下段とも1本おきに向きを変えて配置される。耐火材料としては、雰囲気汚染しないよう、内張りには酸化鉄、硫黄分の少い耐火断熱レンガを使用する。表4に各部に使用する耐火材料を列記した。

冷却帯には、上下に耐熱鋼製クーリングチューブを設け、これに空気を強制的に流して冷却する。炉床 (または天井) に設けられた発熱体は、任意の冷却曲線を得るためのものであり、かつ運転開始時に炉内を早く所定温度に上げる目的も兼ねている。ストリップはここで $470 \sim 510^\circ C$ まで徐冷され、亜鉛ピット炉内でメッキされる。ストリップ搬送用のハースロールは遠心鑄造の耐熱鋼製で、完全同期化のためDCモータ駆動になつてい

る。亜鉛ピット炉は槽に鉄製ポットを使用するものと、セラミックポットを使用するものとがある。鉄製ポット式は図3・aに示すような構造で、外部の発熱体により加熱され、亜鉛を溶解、保持する。亜鉛保持容量は $40 \sim$

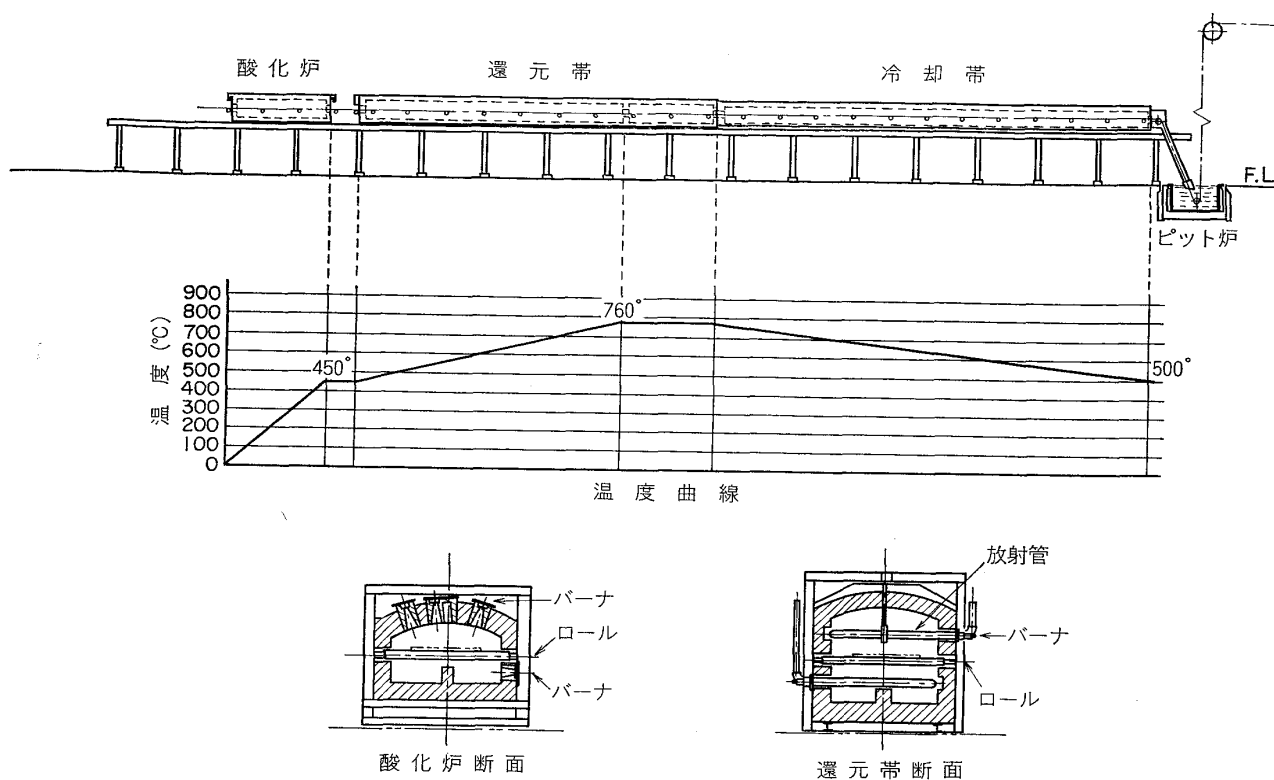


図 2 酸化炉方式連続溶融亜鉛メッキ炉 (ゼンジマ方式)

表 4 使用耐火材料

種 類	特 性	使 用 箇 所
耐火断熱レンガ A	最高使用温度 1 600°C Fe ₂ O ₃ 含有率 1.0%以下	無酸化炉排気煙道入口
B	最高使用温度 1 300°C Fe ₂ O ₃ 含有率 1.0%以下	加熱帯・冷却帯内張り
C	最高使用温度 1 200°C Fe ₂ O ₃ 含有率 1.0%以下	ジェット冷却帯・低温保持帯の内張り・無酸化炉の側壁天井バックアップ
D	JISB 6 最高使用温度 1 400°C	無酸化炉々床第 2 層用
E	JISB 2 最高使用温度 1 000°C	無酸化炉々床第 3 層用
F	JISC 2 最高使用温度 1 400°C	各炉の炉内ロール廻り・加熱帯以降の出入口隔壁
G	最高使用温度 900°C 熱伝導率小, A1~A2に比べ強度大	加熱帯・冷却帯および低温保持帯のバックアップ
クロム質耐火レンガ	Cr ₂ O ₃ 含有率 30% 以上, SK37	無酸化炉々床第 1 層
キャストブル耐火物	Al ₂ O ₃ 55% SiO ₂ 36% 最高使用温度 1 700°C	無酸化炉排気煙道廻り
セラミックファイバ	最高使用温度 1 400°C or 1 200°C	無酸化炉入口スロート天井・その他隙間充填材

140 t 程度である。ポット用鉄は亜鉛に対して耐食性の強いことが必要で、C, Si の含有量の少ない純鉄で肉厚 50 mm のものが使用され、寿命は 2 ～ 3 年である。通常

運転時には溶融亜鉛温度は $430 \sim 450^{\circ}\text{C}$ で、浸入するストリップの温度は $470 \sim 510^{\circ}\text{C}$ と高いため、ストリップより熱が与えられ、発熱体による外部加熱はほとんど必要ない。鉄ポットは純鉄を使用してもなお亜鉛の浸食をうけドロスの発生が多く 4 ヶ月位に 1 回は清掃が必要である。セラミックポット式は図 3・b に示すように軟鋼製のポットにセラミックを内張りした構造で、低周波溝形誘導加熱器（インダクター）を 2 ～ 5 個備えており亜鉛の溶解、加熱および攪拌を行う。通常運転時には溶融亜鉛温度（ $430 \sim 450^{\circ}\text{C}$ ）より低温のストリップを浸漬させ、インダクターに充分電力をかけ、攪拌力を発生させ、溶融亜鉛の温度均一をはかるよう操業する。セラミックポットはドロスの発生が少なく、寿命も長い利点があるが、設備費は鉄ポットに比較して高価であつたため初期には採用されなかつた。

先に述べたように本ゼンジマ方式は 1953 年に初めて旧八幡製鉄所に導入され、続いて 1956 年、1960 年に各 1 基同所へ増設されていたが、旧大同製鋼で米国からの技術導入により国産第 1 号を完成大同鋼板に納入したのが 1960 年 9 月であつた。当時は主要部品などの国内調達が困難であつたので、例えば放射管、バーナ、特殊制御バルブ、特殊シール軸承、特殊発熱体、鉄製ポット、アンモニア分解装置などは輸入品を使用した。炉の大きさは、ライン速度 80m/mm 、能力 10t/h 、処理ストリップ幅 42 吋×厚み (34-15) ゲージであり、旧八幡製鉄の 3 基とほぼ同一の大きさであつた。輸入部品は其後逐

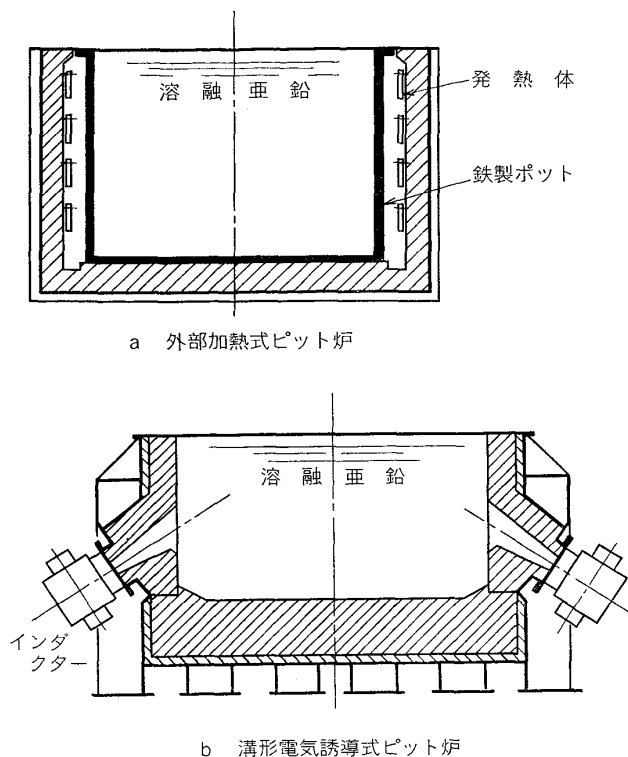


図 3 ピット炉構造図

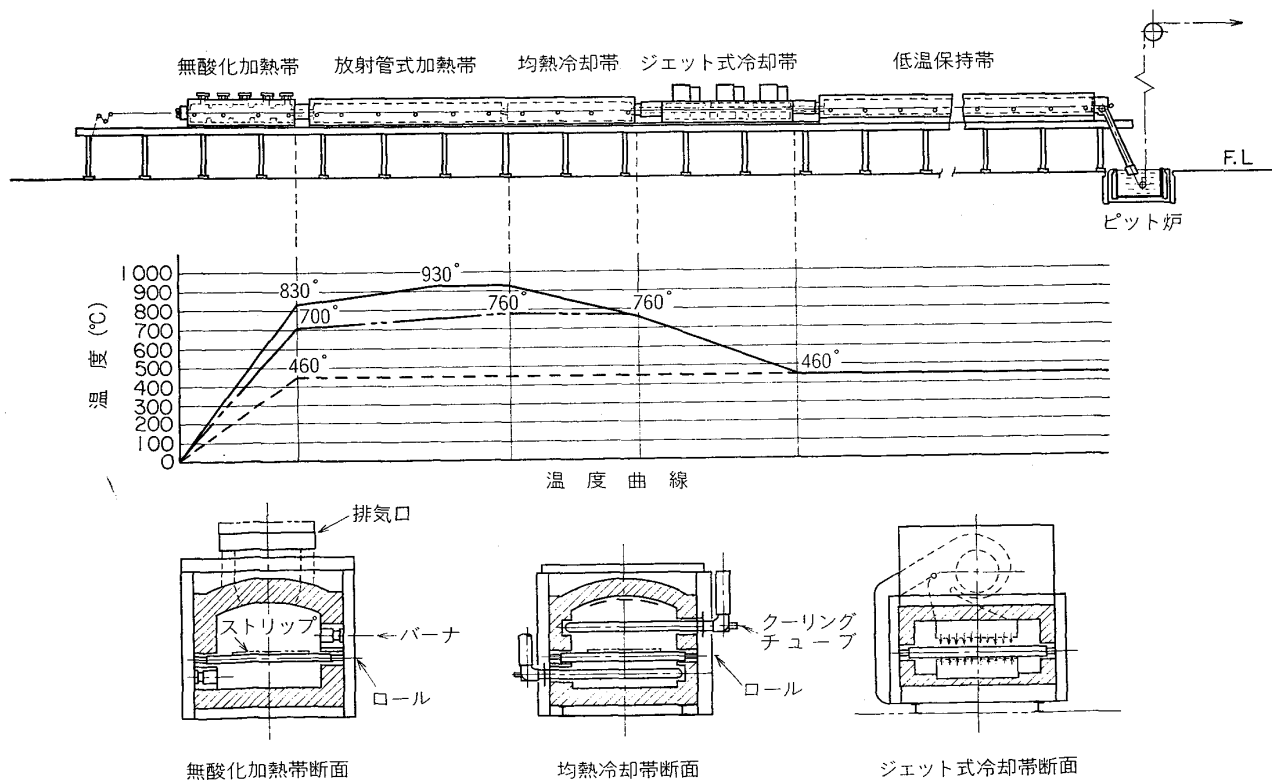


図 4 無酸化炉方式連続溶融亜鉛メッキ炉（ゼンジマ方式）

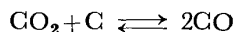
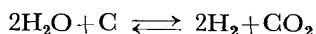
次国産化が進められ、1964年に7基目を納入した時点ではすべて国産品に置換えられた。

3.2 無酸化炉方式

ゼンジマ方式は開発以来高品位のメッキ鋼板を経済的に生産できる設備として、わが国のみならず世界各国で認められ業界に大いに貢献してきたが、フルハード材、深絞り用のデッドソフト材のメッキ処理ができない欠点があった。これを補う方法として、無酸化炉方式が開発された。この方式は1964年米国で実験的に成功したが実用機としては、1965年旧東海製鉄に国産機が稼働しその性能が確認されたのが世界最初である。爾来新設の設備には勿論本方式が採用され、既設のゼンジマ方式も数基本方式に改造されている。

本炉の代表的構成を図4に示す。無酸化炉は加熱帯以下の本体とスロートで連結され、同一雰囲気で使用されるので、この部分は無酸化加熱帯と呼ぶのが適当である。

無酸化加熱帯は、LPG、COG、天然ガスなどのガス燃料を空気比0.9~0.95で燃焼させ、その燃焼生成ガスは雰囲気ガスと混合した状態になる。炉内を1000~1300°Cの高温としストリップを無酸化の状態で450~830°Cに急速加熱する。ストリップ表面の圧延油の大部分は蒸発するが、一部は分解して炭素が表面に残る。この炭素はガス中の H_2O 、 CO_2 と次式のような反応をおこす。



高温になるに従い反応は右に移行し、ストリップ表面に残った炭素は除去される。しかし炉内の雰囲気は H_2O 、 CO_2 、 CO を含むため高温の鉄に対しては酸化性である。従って短時間に炉内を通過させ表面酸化を抑える必要がある。フルハード材あるいは予め焼なましされたデッドソフト材の処理の場合は、炉温1000°C、ストリップ温度460°Cにおさえて操業する。前後の機械設備の故障のため低速運転あるいは運転停止の必要が生じた場合はストリップは急速に過熱、酸化され破断する危険がある。この場合は直ちに炉内に生ガス、窒素ガス、またはメタノールなどを吹き込み、急速に炉体を冷却するとともにストリップの酸化を防止する。高温中でのハースロールはとかく故障の原因になるが、当初は図5・aのように表面はカーボランダムスリーブにて保護された軸水冷のロールを使用したが、急熱急冷されるためスリーブの表面に亀裂が生じたり、異物が附着しストリップ表面を損傷するなどの欠陥があった。次に図5・bのような外筒を耐熱鋼とした中心部水冷のロールの使用により、寿命は長くなったが、異物の堆積は解決されないで時折異物除去の作業が依然として行われた。図5・cに示すのは最近のロールの構造で、直接水冷式の普通鋼製のものである。これにより上記の問題は解消されたが、当然ながら熱損失が多い欠点をもっている。従って極力

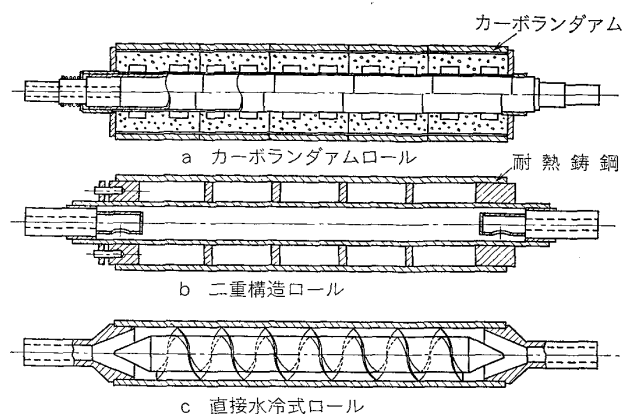


図5 無酸化加熱帯用ロール

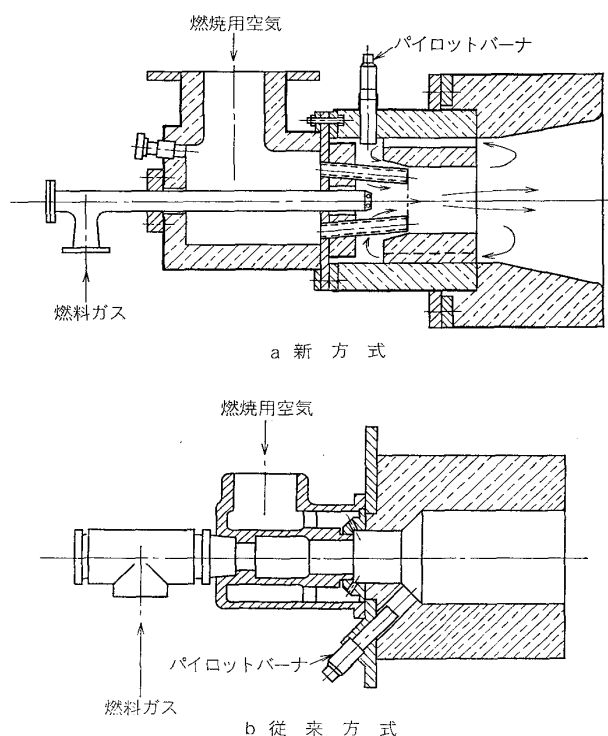


図6 無酸化加熱炉用バーナ構造図

小径のロールとし、かつロール間のピッチを大きくして使用本数を減らすよう工夫している。

バーナは空気比0.9~0.95の燃焼でも煤の発生のないことが要求されるので図6・bのようなノズルミックスの高速度トンネルバーナが使用される。最近の低 NO_x の要請に応じて図6・aのような排ガス自己循環式のバーナを使用し NO_x 60ppm ($O_2=0\%$ にて)位におさえた例もある。

放射管式加熱帯は図2の還元帯と同一構造である。次の均熱冷却帯は天井の発熱体の加熱によりストリップの均熱を行う場合と、クーリングチューブによるストリップの徐冷を行う場合とがある。

ジェット式冷却帯ではストリップは過時効温度(約500°C)まで急冷される。構造は大容量の循環ファンを

利用して、ガスクーラにより冷却された雰囲気をストリップ面に直角に上下より吹けるもので冷却能力は大きくストリップ肉厚 1 mm につき毎秒 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ である。(クーリングチューブによる冷却能力は $6\sim 7^{\circ}\text{C}$) 従ってライン長の短縮に役立っている。冷却能力の調節は循環ファンの回転数を変えることにより可能である。また急冷によりストリップの形状を悪くしないように幅方向の均一冷却が可能な構造が大切である。

低温保持帯では、ストリップは $450\sim 530^{\circ}\text{C}$ に保持され、過時効処理 (SHELFING) される。保持時間は長い方が望ましいが、経済性を考へ 30 s が広く採用されている。天井および炉床に発熱体を備えた構造である。低温保持帯を通過した後、亜鉛ピット炉に投入されてメッキされるが、投入温度を一定に制御するため更にジェット式冷却帯をピット炉前に設ける場合もある。

ピット炉には最近主にセラミックポット式が採用される。後述するように本設備は高速に適するためピット炉としても大容量となり、大容量の製作容易なセラミックポット式が便利である。また連続鑄造されたビレットから圧延された鋼板は Si 量が多く、これをメッキする場合亜鉛浴中の Al 添加量を増加する必要がある、耐食面からセラミックポットが優利である。

雰囲気ガスとしてはアンモニア分解ガスを窒素により薄め、 H_2 15~20%、残 N_2 の成分のガスを用いて充分である。ガス所要量はストリップ当り $7.5\sim 9.0\text{m}^3$ である。

本方式は無酸化加熱帯を高温にし、鋼板との温度差を大きくするため加熱能力が大となり、冷却もジェット式を用い冷却能力を加熱能力に適合させ得るため、ライン長をいたずらに長くすることなく、生産性の高い設備とすることができる。メッキ厚調整のコーテングロールは高速化の大きな障害となっていたが、気体ワイピング装置が開発され高速化が可能になった。90, 120, 200m/min とライン速度は段階的に増大された。搬送用ハースロールの駆動方式も DC ギャードモータ直結の単独駆動が採用されている。写真 1、写真 2 は本方式のメッキ炉で全長 102m、能力 24 t/h のものである。

3.3 最新式無酸化炉方式 (省エネルギー形)

1973 年のオイルショック以来、燃料単価が異状に高騰し、エネルギー消費産業は設備の省エネルギー化に積極的に取組まざるを得なくなった。無酸化炉方式はその熱投入の 70~80% が無酸化加熱帯に集注しているので先ずこの部分での省エネルギー化が効果的である。加熱帯の入口に予熱スロートを設け、加熱帯の高温排ガスでストリップを予熱する。表 5 に既設のラインに予熱スロートを増設した場合の効果を示す。(予熱スロート長) と (加熱帯長) の比が 0.8~1.0 位が経済的で、燃料節減は 40~44% となり、ほぼ一年で改造費の回収ができる。予熱スロートを設けることにより本来加熱能力は増加する

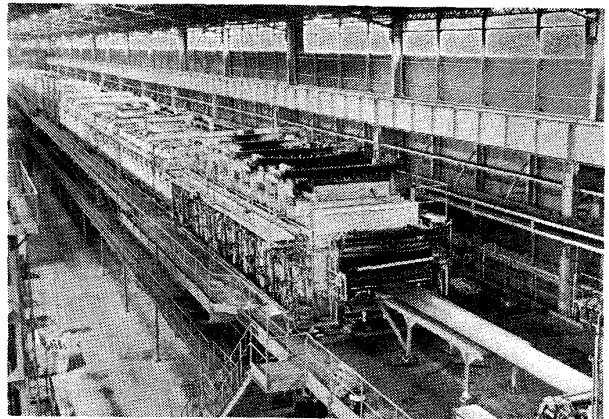


写真 1 無酸化炉方式連続溶融亜鉛メッキ炉 (入口側)

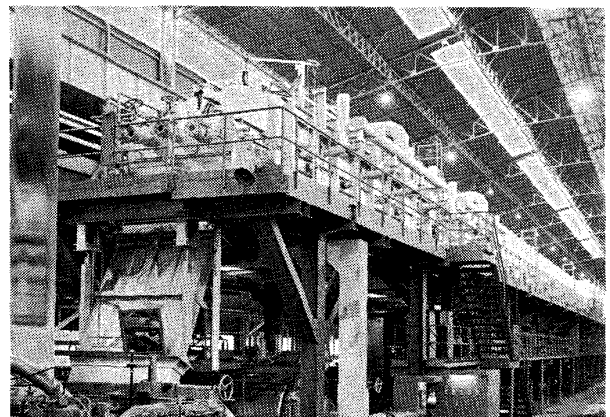
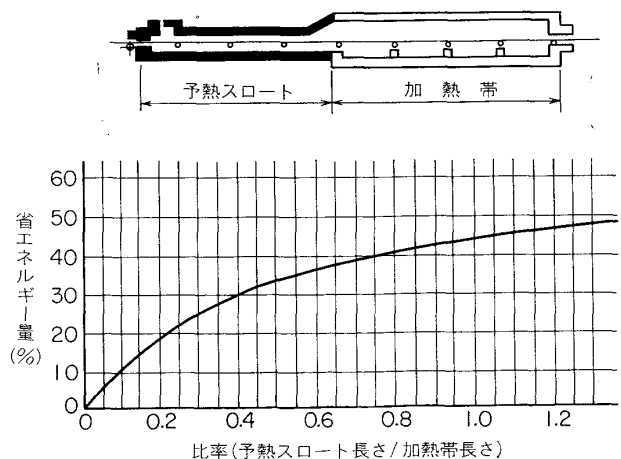


写真 2 無酸化炉方式連続溶融亜鉛メッキ炉 (出口側)

表 5 予熱スロート付き無酸化炉の省エネルギー効果



が既設ラインの冷却能力がそのままであれば能力増はできないから加熱帯は温度を下げて運転することになる。これによる燃料節減も含めて表 5 には示されている。予熱スロートからの排ガスはまだ $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ の残温をもっているのでレキュペレーターにより燃焼用空気の予熱を行なえば、更に 10% 程度の燃料節減が可能である。いま処理材、板厚 0.6 mm × 板幅 1.219 mm、ラインス

表 6 原 単 位 の 比 較

熱 収 支	①		②		③		④	
	酸化炉+還元帯		無酸化加熱帯 +放射管式加熱帯		②+予熱スロート		③+レキュペレータ	
	熱量 kcal/h	%	熱量 kcal/h	%	熱量 kcal/h	%	熱量 kcal/h	%
被熱物に与える熱量 Q_1	6 594 500	42.1	6 594 500	31.9	6 594 500	48.6	6 594 500	60.7
放 散 熱 量 Q_2	1 658 580	10.6	1 986 700	9.6	1 896 800	14.0	1 340 100	12.3
排 ガ ス 損 失 Q_3	6 573 580	42.0	10 178 600	49.2	3 504 800	25.9	2 023 300	18.6
そ の 他 損 失 Q_4	824 720	5.3	1 931 100	9.3	1 557 700	11.5	915 200	8.4
合 計 Q_T	15 651 380	100	20 690 900	100	13 553 800	100	10 873 100	100
原 単 位 $\times 10^4$ kcal/t	27.26		35.96		23.61		18.94	

仕様 処理材料の寸法
ラインスピード
生産能力
燃 板厚 0.6mm×板幅 1 219mm
166.6m/min
57 400kg/h
ブタンエアーミックスガス (10 000 kcal/Nm²)

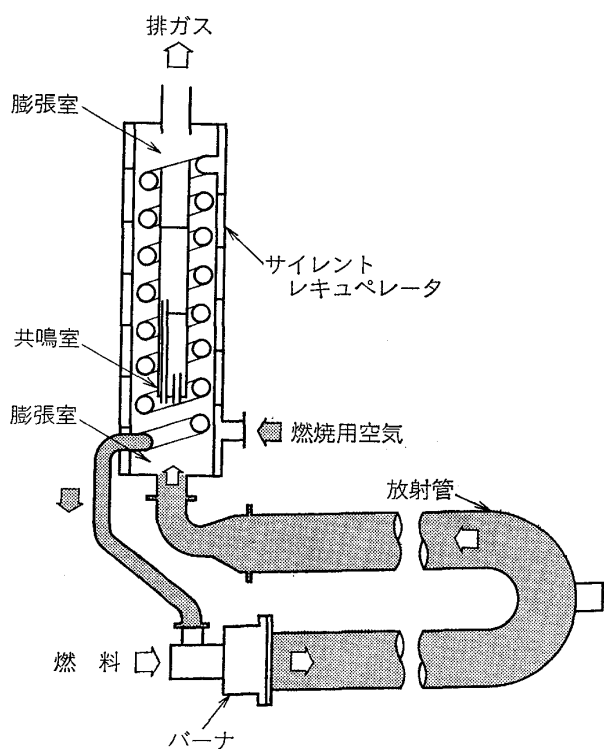


図 7 放射管用サイレントレキュペレータ

ピード 166.6m/min, 生産能力 57.4 t/h のラインを設置するとして、ゼンジマ方式 (酸化炉+還元帯), 無酸化炉方式および省エネルギー形による原単位を算出比較してみると表 6 のようになる。

次に燃料の 20~30% を消費する放射管式加熱帯の省エネルギーの方法として、図 7 に示すような放射管用サイレントレキュペレータの採用がある。放射管の排気側にサイレンサ (膨張室+共鳴室) を兼ねた熱交換器を設けるもので表 7 にその資料を示した。放射管排ガス温度を 800°C とすれば、表 7・b に示したように予熱空気を

は 475°C となり、燃料節約率は表 7・a により約 19% となる。なお消音効果も表 7・c に示しておいたが、A 特性でオールパス 100dB から 68dB になり 32dB の消音効果がある。図 8 に最新式無酸化方式の構成を示した。ジェット式冷却帯の断面も示したが、鋼板の幅方向の均一冷却が得られるよう中央部と端部の風量を変えている。

ガルバニールはピット炉出側に設けられ、メッキされたストリップを約 560°C まで再加熱し、表面の亜鉛層を鉄亜鉛の合金層に変えると、いわゆる花模様が消失し鈍い光沢の表面をもった製品となり、塗料の密着が良好となる。このガルバニールは縦形で上方より吊下げられ、下部にバーナ直火の加熱帯があり、中間の保持帯にはバーナはない。上部はジェット冷却帯で、トップロールにストリップが接触するまでに約 300°C に急冷される。ガルバニール処理をしない場合は全装置をライン外に横移動させる。

4. 今 後 の 動 向

4.1 縦形炉の出現

図 9 は縦形炉の一例を示す。1972 年アームコ・スチール社に設置された⁴⁾。わが国では新日鉄に 1974 年完成 1978 年にもう 1 基設置の予定である。世界では計画もいれて 5 基位ある。

従来の横形との比較は多くの推定がはいるが、おおむね次の点が考えられる。

設置面積一炉関係の設置面積は横形の 20~30% で済み、ライン全体でみると約 45% となる。

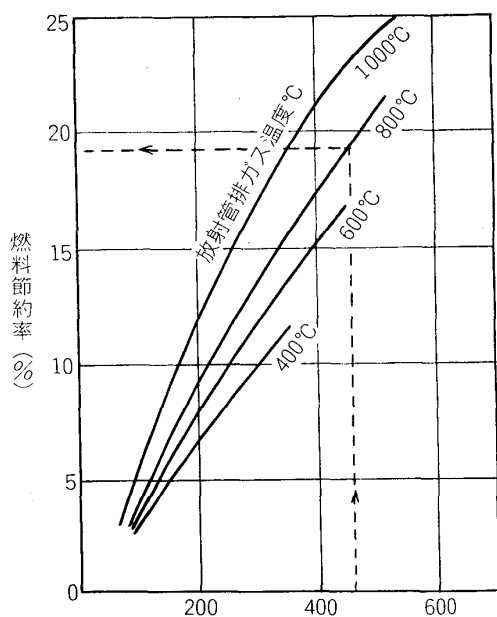
製品品質—

1. 製品のキズ—ロールの表面温度は横形に比し低いのでビルトアップが少く、キズの発生は少ないと考えられる。ロールとストリップの間にレンガ層

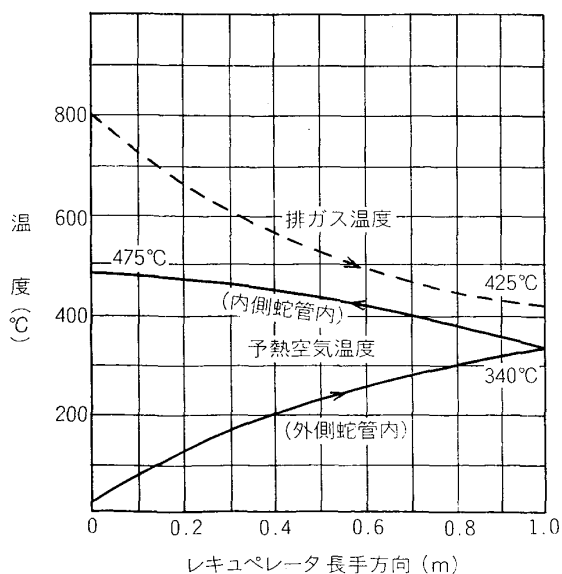
をかみ込むおそれあり。

2. メッキ性(密着性)——基本的には横形と同一
 3. ストリップの形状——上下のロールで折返しを繰返すので形状は良くなる。良くするためにはテンションを掛ける必要があり，中伸びの心配もある。
 4. 機械的性質(伸び)——パス回数が整数倍となるので均熱時間，冷却時間が横形に比べて長目になるためか，伸びが良いといわれている。
- 炉内温度分布——熱が上部にこもる。炉内に仕切がないなどのため均一性は横形より劣る。
- 保守点検——炉内点検，耐火物の補修はむずかしい。ロ

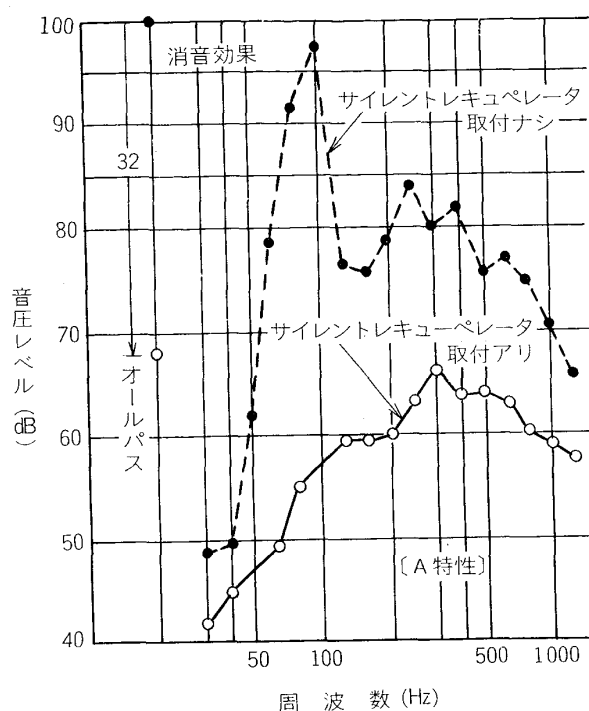
表 7 放射管用サイレントレキュペレータ資料



a) 燃料節約データ



b) 空気予熱データ



c) 消音データ

ール，放射管の交換が若干しにくい。

ストリップの破断およびスレディングストリップの自重が加わるので破断しやすい。破断した場合次のスレディングが面倒で運転再開まで時間がかかる。従って破断しやすい薄物ストリップには多少不利である。

設備費(炉関係)——一般的には横形に比べて 15% 程度高価となる。

燃料消費——炉体表面積が幾分小さくなるから燃料消費は若干有利になる。

4.2 片面メッキの出現⁵⁾

米国シャーロン・スチール社とリパブリック・スチール社が 1974 年ごろ試験的に生産開始したと思われる。1975年の時点ではシャーロン・スチール社がトップメーカーで年 3 万 t とわずかな生産量に過ぎなかったが，ナショナル・スチール社，U・S スチール社がこれに注目し生産を開始すれば 1977 年には 60 万 t にのびるであろうと 1976 年に予想されていた。片面亜鉛鉄板は自動車への利用面で普通亜鉛鉄板に比べ，メッキをしていない面は塗装性，溶接性がすぐれているし，メッキされた面は目付量を多くして防食性を増大させることができる。

既に市販されているジクロメタル(ダイヤモンド・シャムロック社で開発され現在年産 100 万 t 以上と推定)は表面の防錆層がいつたん破壊されると，錆が発生するが，亜鉛メッキの場合は，メッキ層が破壊されても亜鉛が犠牲防食の機能をはたし，錆の発生を防ぐ点がすぐれているといわれ，今後の需要増が期待される。片面亜鉛鉄板の製造方法は，両面メッキ後片面の亜鉛を

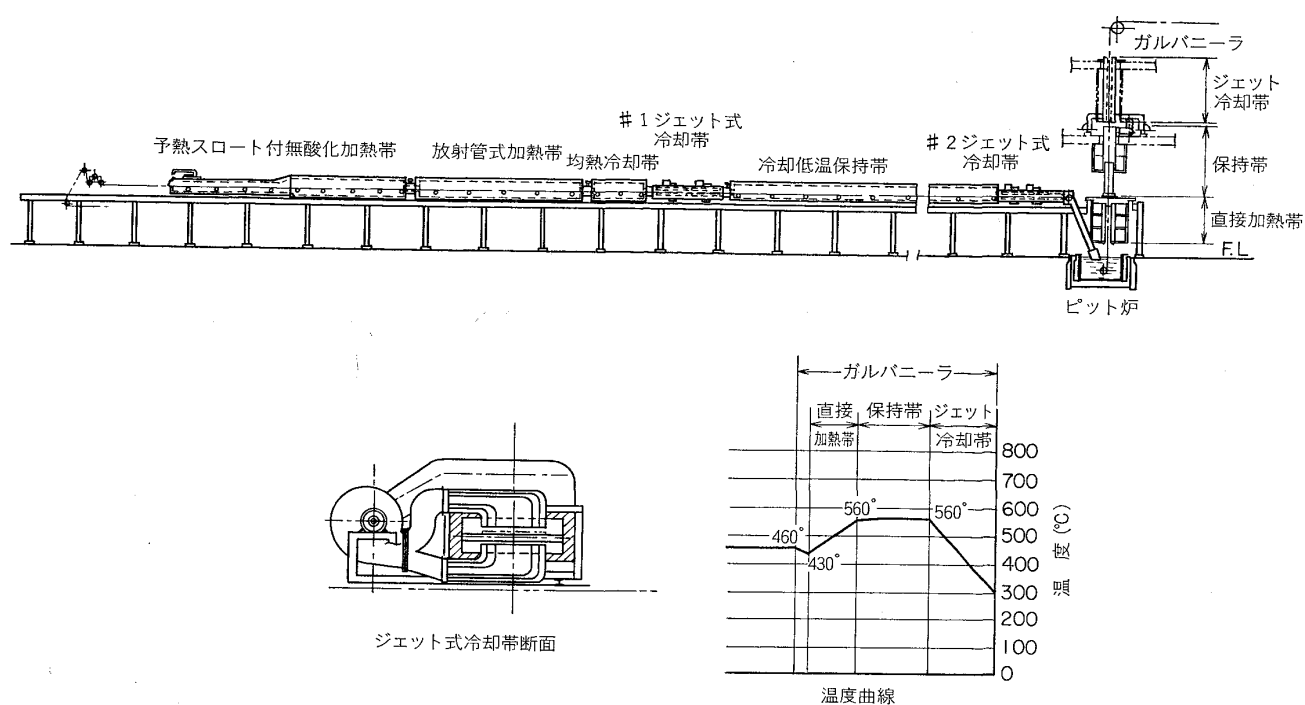


図 8 最新式無酸化炉方式溶融亜鉛メッキ炉 (ゼンジマ方式)

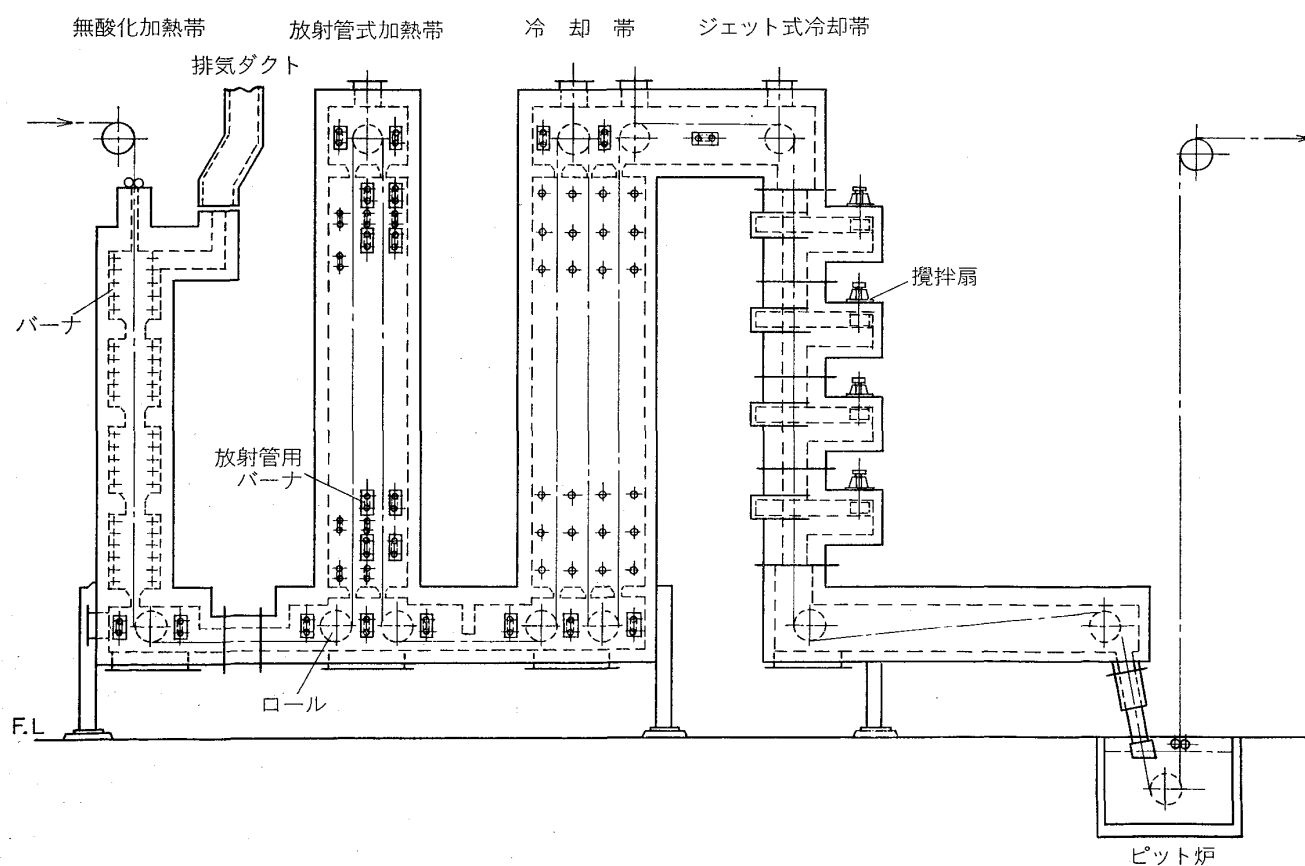


図 9 縦形連続溶融亜鉛メッキ炉

研磨などで削り取る方法、溶融亜鉛槽に入れる前に、片面にシリコン系の被膜を施し、メッキ後被膜を剝離する方法、溶融亜鉛メッキと電気メッキの結合せ、即ち溶融亜鉛メッキされた板を電気メッキ槽に通すとき、片面の亜鉛を剝がし、他面に移してない層を形成する方法がある。既設の連続溶融亜鉛メッキ炉を本目的に改造可能といわれている。

4.3 その他

ライン速度は現在 250m/min のものもあるが、ワイパー能力あるいはシャー能力の面から安定操業のできるのは 200m/min 位である。連続炉においても、トラッキング、テンションコントロール、あるいはバタツキなどの解決を要する問題がなしとしない。特にガルバニールでは浸漬ロールとトップ・ロールの2点間で垂直に支えられたストリップはバタツキやすい。

また非時効性を特に要求される製品は、ポストアニールと称してメッキ後バッチ炉などで低温焼鈍している。ポストアニールもラインに組込む方法として、ストリップが炉を出た後、例えば炉の上方空間を往復させ、炉の排ガスで加熱するなども今後検討すべき事項と考えられる。

電算機制御化は今後ますます発展すると思われるが、ここでストリップの実体温度の測定が確実に可能な測温

装置の出現が待望される。

む す び

鋼板の連続溶融亜鉛メッキ炉が開発されて以来、約40年を経て、多量の亜鉛メッキ板を生産し、多様化する需要に応じて着実な歩みを続けてきた。

わが国では、欧米に遅れること 20 年、後発ではあつたが、今や世界の最先端を行くメッキ技術により、新鋭設備を生み出し、世界の主要生産国としての不動の地位を確保したことは、鉄鋼業界各位の新技術開発へのたゆまざる努力の成果と深甚の敬意を表するとともに、装置メーカーとしての立場からも大変誇らしく思う次第である。今回浅田賞受賞に際し、関係各位の御協力を衷心から感謝するとともに何等かのお役に立てば幸甚と敢て拙文を提供する次第である。

文 献

- 1) 勝山隆善著：溶融亜鉛メッキ（理工図書発行）
- 2) 薄板加工，45(1968)，p. 32~42
- 3) C. A. TURNER: Iron and Steel Eng., (1964) March, p. 107~113
- 4) Iron and Steel Eng. (1973) Jan
- 5) 米国における表面処理鋼板 その2，1977年1月（日本亜鉛鉄板輸出組合発行）