

技術報告

UDC 621.793.52 : 669.55 : 669.146-122.2-415

電磁ポンプによる片面溶融亜鉛めつき法*

福塚 敏夫**・浦井 正章***・若山 健二***

One-side Galvanizing of a Steel Strip by Electromagnetic Pump

Toshio FUKUZUKA, Masaaki URAI, and Kenji WAKAYAMA

Synopsis:

Design and construction have been made on a new hot galvanizing apparatus which successfully galvanizes one-side of a steel strip by spouting molten zinc upwards through an electromagnetic pump. This apparatus also has a gas-wiping device to control the weight of coated zinc just after galvanizing. The results obtained are as follows:

- (1) The electromagnetic pump can easily spout up molten zinc to sufficient height to perform one-side galvanizing.
- (2) The spouting nozzle should be wider than the width of the steel strip to ensure galvanizing of the whole surface.
- (3) The uncoated side was contaminated by molten zinc stuck to the guide roll surface on the outer side of the steel strip in case the guide roll was wholly made of steel. This contamination, however, could be avoided by covering the guide roll with a graphite or ceramics, to which molten zinc does not stick.
- (4) The weight of coated zinc decreased drastically with an increase in the flow rate of the wiping gas, so that the weight of coated zinc could be minimized to 20 g/m².
- (5) The zinc coating obtained showed good quality and the oxide film on uncoated side was very thin.

1. 緒 言

北米、カナダなどでは冬期の道路凍結防止塩の散布量が近年著しく増大してきたため、冷延鋼板が主に使用されている自動車の車体の腐食が激しくなり車体防錆力の強化が大きな課題となってきた。そこで車体の腐食が激しい部分に亜鉛めつき鋼板を採用することが考えられるが、外板として亜鉛めつき鋼板を使用した部分は冷延鋼板を使用した部分とくらべ塗装後にその鮮映性などで差異を生じる。このため塗装を要する車体の外側に当たる面は冷延鋼板肌であり、内側の塗装が施されにくい面には防錆用の亜鉛めつきを施した片面亜鉛めつき鋼板の要求が高まってきた^{1)~3)}。

現在片面亜鉛めつき鋼板は溶融めつき法および電気めつき法で製造されているが、防錆力を高めるための亜鉛付着量を多くする場合電気めつき法にくらべ溶融めつき

法の方が生産性の点から有利である²⁾³⁾。溶融めつき法で実用化されている方法としては通常の両面めつき鋼板の片面亜鉛を機械的に研削除去する方法⁴⁾あるいはめつきに先立つて片面に亜鉛めつき防止剤を塗布してめつきする方法⁵⁾⁶⁾などがあるがこれらの方法はいずれも工程が煩雑である。このため最初から鋼板の片面のみに溶融亜鉛を接触させてめつきする方法が考えられその接触方式としては溶融亜鉛の鋼板に対する濡れ性を利用して溶融亜鉛をめつき浴面より若干隆起させた状態を形成して鋼板の片面をめつきする方法⁷⁾⁸⁾が最近提案されており、あるいは超音波⁹⁾または電磁誘導¹⁰⁾¹¹⁾を利用してめつき浴面を隆起させて片面めつきを行う方法などが提案されている。

著者は溶融亜鉛を鋼板の片面に接触させる方式において上記方法よりさらに実施が容易な方法として、電磁ポンプにより溶融亜鉛を鋼板の片面にのみ噴射してめつき

* 昭和 54 年 10 月 17 日受付 (Received Oct. 17, 1979)

** (株)神戸製鋼所 中央研究所 工博 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

*** (株)神戸製鋼所 中央研究所 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Fukiai-ku Kobe 651)

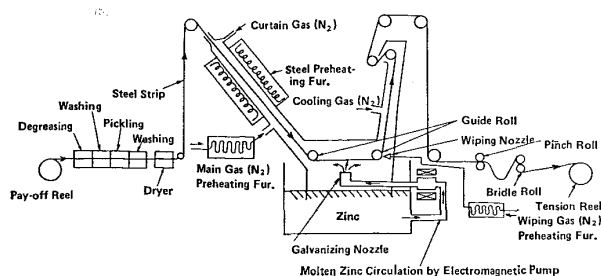


Fig. 1. Apparatus for one-side galvanizing by electromagnetic pump.

を行う方法を開発したのでここに報告する。

2. めつき装置

2.1 概要

めつき装置の全体図を Fig. 1 に示す。めつきに先立つて前処理工程で脱脂、酸洗された鋼帯は鋼帯予熱炉に導入され N_2 ガス雰囲気中で加熱される。加熱された鋼帯は鋼帯予熱炉と連結しためつき浴上の雰囲気室に導かれる。室内には2個のガイドロールが配置されており、このロールによつて加熱鋼帯はめつき浴面上を水平方向に移動する。

一方電磁ポンプはめつき槽の外部に設置されこれによつて溶融亜鉛をめつき浴より誘導する。誘導された溶融亜鉛はめつき浴面より高い位置に設置されているめつき用のノズルを通して噴射され、噴射溶融亜鉛は上記の水平方向に移動する鋼帯の下面に接触し鋼帯の片面にのみ溶融亜鉛が付着する。

溶融亜鉛が片面にのみ付着した鋼帯はその直後に設置されているワイピング用ノズルから噴出する高温 N_2 ガスの噴出条件を変化させることにより、亜鉛付着量を制御される。このようにして片面めつきされた鋼帯はその非めつき面が大気中にて酸化されない温度にまで雰囲気室内にて噴出する冷却用 N_2 ガスにより冷却されたのち大気中に出る。

2.2 電磁ポンプによる溶融亜鉛の循環

片面めつきに用いた電磁ポンプの外観を Photo. 1 に示す。電磁ポンプは上下に2つのインダクターを備えこ

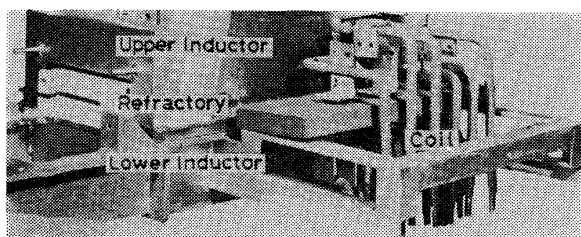


Photo. 1. Appearance of electromagnetic pump.

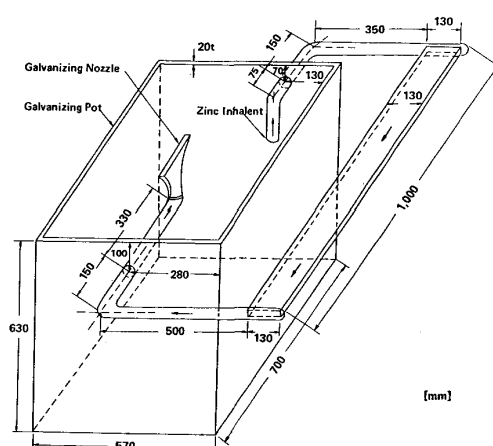


Fig. 2. Molten zinc circulation path.

の間に耐火物のトンネルが挿入されている。インダクターの中には銅製コイルが設置されておりこれに通電するとコイルによつて進行磁界が生まれる。耐火物トンネル中に熔融金属を導入すると金属内に誘導電流が流れ、この誘導電流と進行磁界によつて金属自身に推進力が発生する¹²⁾。

溶融亜鉛の循環装置を Fig. 2 に示す。めつき槽からめつき槽への循環回路の配管中その断面が矩形になっている部分が前記 Photo. 1 に示された耐火物トンネル中に配置される。溶融亜鉛を循環させるにはまずめつき槽より溶融亜鉛を亜鉛循環回路に満たして電磁ポンプを作動させると断面矩形部内の溶融亜鉛に矢印方向の推進力が発生し、めつき槽中の溶融亜鉛は亜鉛吸込口より亜鉛循環回路内に吸い込まれ前記断面矩形部を通過後めつきノズルを通して噴射されめつき浴にもどる。

2.3 鋼帯めつき部

鋼帯めつき部を Fig. 3 に示す。この部分の雰囲気は N_2 ガスであり、この雰囲気中に導入された鋼帯 (0.5 t×150 wmm の JIS 規格一般軟鋼板) は2個のガイドロール間を水平に走行しその間に鋼帯の下面がめつきさ

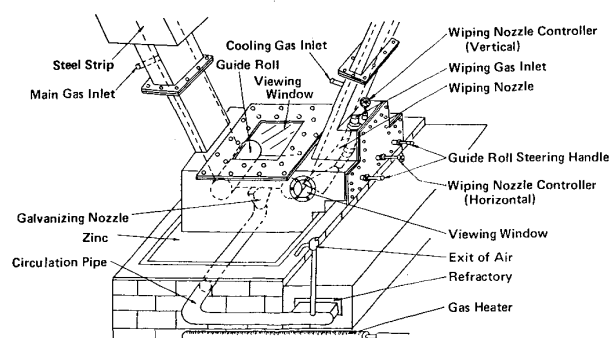


Fig. 3. View of galvanizing section.

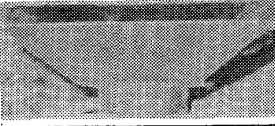
Type	A(Round)	B(Square)	C(Square)	D(Square)
Appearance				
Size (mm)	20 ϕ	20 x 100 $\square$	13 x 150 $\square$	10 x 200 $\square$
Sectional Area (mm 2)	314	2,000		

Photo. 2. Galvanizing nozzle

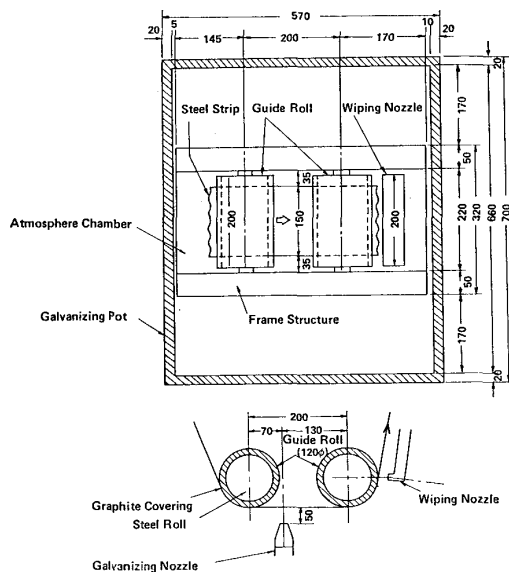


Fig. 4. Details of galvanizing section.

れる。このときの状況を観察するために雰囲気室には2ヶ所耐熱ガラスの窓を設置した。またワイピングノズルの位置調整のためにノズルにステアリング装置を取り付けさらに鋼帯のトラッキングを正常に保つために後方のガイドロールにはステアリング装置を設置した。

Fig. 4 は鋼帯めつき部におけるガイドロール、鋼帯、めつきノズルおよびめつき浴表面の相対的な位置関係を示したものである。

なおガイドロールには後述するように溶融亜鉛の付着を防止して、鋼帯の非めつき面が亜鉛で汚染されるのを避けるためにグラファイト製円筒によるカバーリングを行った。

2.4 めつきノズルの噴射特性

本片面めつき装置におけるめつきノズルより噴射される溶融亜鉛の噴射高さを調査した。使用しためつきノズルは Photo. 2 に示すように丸形ノズル1種および矩形ノズル3種であった。3種の矩形ノズルはいずれもノズル

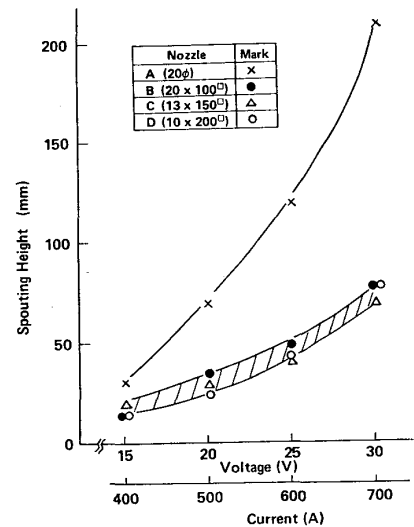


Fig. 5. Electromagnetic pump operation condition and spouting height.

ルロの断面積を 2000 mm 2 とした。これらのめつきノズルについて電磁ポンプの作動電圧・作動電流をいろいろ変化させたときの亜鉛噴射高さ(ノズル口からの高さ)を調査した。結果を Fig. 5 に示す。

(1) 丸形ノズルでは電圧・電流の増加とともに噴射高さは急激に上昇し、電圧 30V、電流 700A の場合その噴射高さが 210 mm となった。

(2) 矩形ノズルでは丸形ノズルよりノズル口の断面積が大きいため噴射高さは低く、また電圧、電流の増加に伴う噴射高さの上昇率は丸形ノズルより小さくなるが電圧 30V、電流 700A の場合その噴射高さが 70~80 mm となった。なお3種の矩形ノズルの間では噴射高さに大きな差は認められなかった。

丸形ノズルと矩形ノズル(Dタイプ)による電圧 20V、電流 500A の場合の溶融亜鉛の噴射状況を Photo. 3 に示す。なお噴射された溶融亜鉛の表面は酸化膜などのほとんど認められない鏡面光沢状態であった。

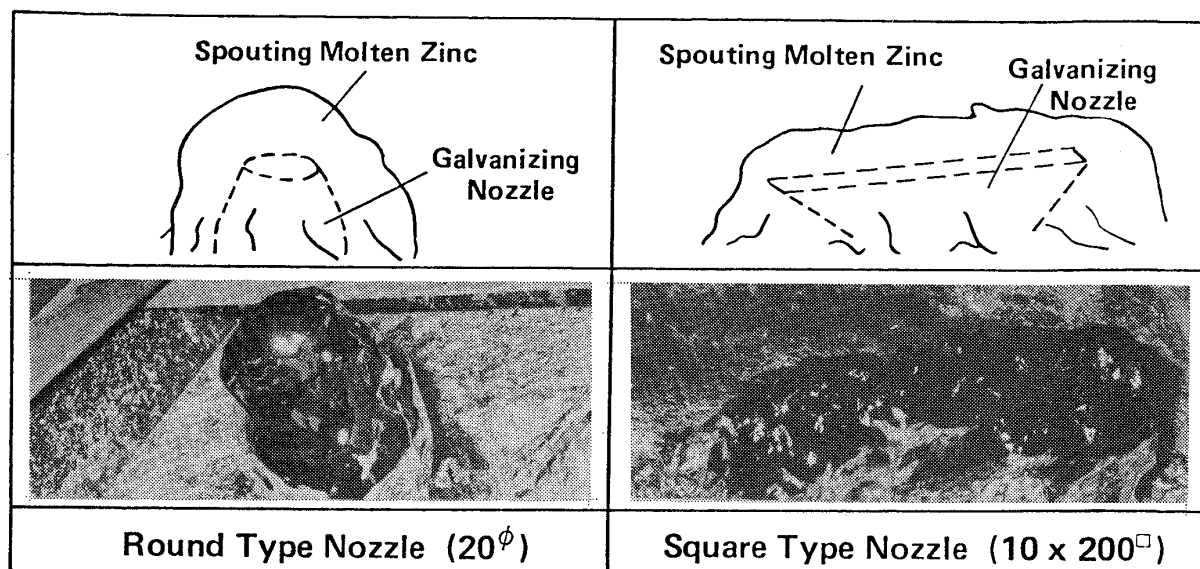


Photo. 3. Spouting of molten zinc

3. 連続めつき実験結果

Table 1 に示す実験条件にもとづいて連続めつきを行い以下の項目について検討した。

3.1 めつきノズル形状の選定

鋼帯の幅方向を全面にわたってめつきされる溶融亜鉛が広がるために必要なめつきノズルの形状をラインスピードとの関係で検討した。使用しためつきノズルは前述の丸形ノズル 1 種および矩形ノズル 3 種である。ラインスピードは 6 m/min と 2 m/min の 2 条件とした。めつき状態を観察し Fig. 6 に示す結果を得た。

(1) ラインスピードが 6 m/min の場合：丸形ノズルでは鋼帯下面の中央部のみがめつきされ全面めつきはおこなえない。矩形ノズルでは 100 mm 幅のノズルを

Table 1. Conditions of continuous galvanizing by electromagnetic pump.

Steel Strip	Size		0.5 ^t x 150 ^w (mm)
	Line Speed		2m/min & 6m/min
	Preheating Furnace Temperature		800°C
Atmosphere (N ₂)	Main Gas	Flow Rate	200 l/min
		Temperature	400°C
	Curtain Gas Flow Rate		50 l/min
	Cooling Gas Flow Rate		50 l/min
Galvanizing Bath	Composition		Zn - 0.2%Al
	Temperature		460°C
Electromagnetic Pump	Operation Voltage		30 V
	Operation Current		700 A
	Galvanizing Nozzle		A, B, C, D Type

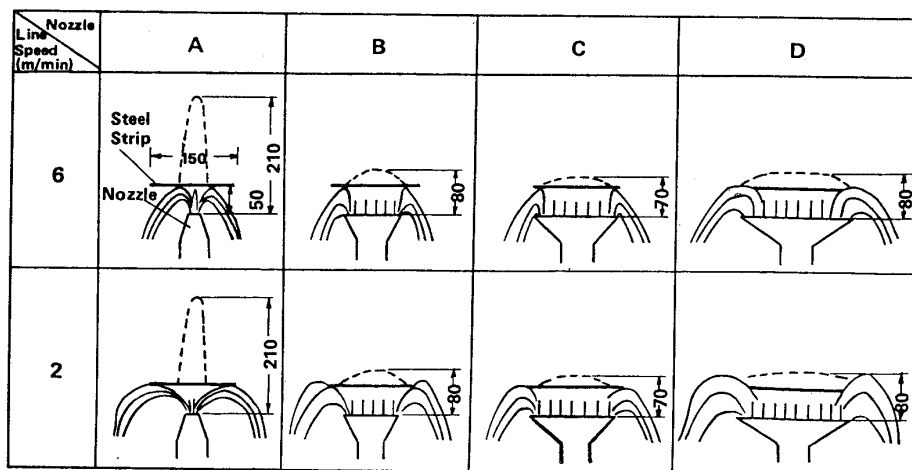


Fig. 6. Molten zinc flow from spouting nozzle during one-side galvanizing.

用いた場合丸形ノズルよりめつき部は広くなるが鋼帯端部はめつきされない。めつきノズルの幅が広くなるにしたがつてめつき部は広がり鋼帯の幅 150 mm より広い 200 mm 幅のめつきノズルを用いることによつて鋼帯の下面を全面にわたつてめつきすることができた。

(2) ラインスピードが 2 m/min の場合：いずれのめつきノズルにおいても鋼帯の下面を全面にめつきすることができた。ラインスピードが低速である場合にはめつきノズルから噴射されて鋼帯下面に接触する溶融亜鉛が鋼帯の幅方向へ十分に広がり鋼帯端部まで到達するからである。

以上の結果よりつぎのことが判明した。

(1) ラインスピードがおおそくなると鋼帯幅方向のめつき付着幅が広くなる。

(2) しかし鋼帯の片面を完全にめつきするには鋼帯幅より広いめつきノズルを使用する必要がある。

(3) したがつて以後の実験用めつきノズルには D タイプを選定使用し、ラインスピードは 6 m/min とした。

3.2 ガイドロールの材質

鋼製のガイドロールを使用した場合その材質が溶融亜鉛に濡れやすいので溶融亜鉛がロール面に付着しこれが鋼帯の非めつき面を汚染する。ガイドロールへの溶融亜鉛の付着状況を Fig. 7 に示す。めつきノズルより噴射された溶融亜鉛は鋼帯下面幅方向の全面に接触した後、鋼帯の幅方向および走行方向の前方にカーテン状の溶融亜鉛膜を形成して落下するが、この場合ガイドロールの材質が溶融亜鉛に濡れやすいものであると鋼帯の端部より逸脱する溶融亜鉛がガイドロール表面に付着しさらに鋼帯が走行中に揺動するような場合にはこれが鋼帯上面

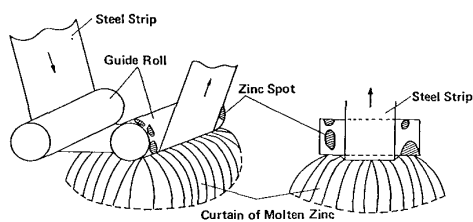


Fig. 7. Sticking of molten zinc to steel roll.

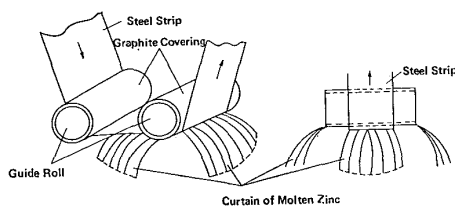
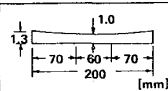


Fig. 8. Graphite covering to prevent guide roll from zinc sticking.

の非めつき面を汚染することになり良好な片面めつきの製品が得られない。

このような鋼帯非めつき面の亜鉛汚染対策としては溶融亜鉛に濡れない物性をもった材料であるグラファイトあるいはセラミックスなどの材料で円筒状のロールカバーを作製しこれを用いてガイドロールを被覆することがきわめて有効であつた。ガイドロールをロールカバーで被覆した際のめつきの状況を Fig. 8 に示す。このような状況では溶融亜鉛が鋼帯端部より逸脱してもロールカバーが濡れないのでガイドロールには亜鉛が付着しない。したがつてカーテン状の溶融亜鉛の膜はロールカバー部分で切断されている。

Table 2. Gas wiping condition.

Nozzle Setting	Slit Shape of Nozzle	
	Distance from Nozzle to Strip (D)	20 mm
	Angle of Nozzle to Strip (θ)	90°
Wiping Gas (N ₂)	Flow Rate	0 ~ 600 l/min
	Temperature of Gas Preheating Furnace	500°C

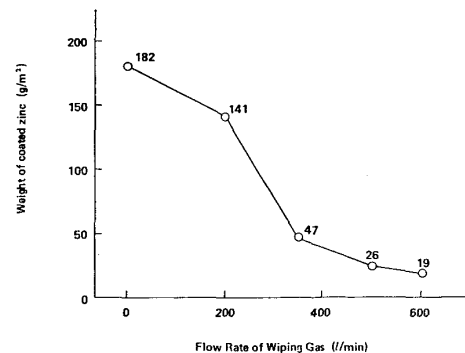


Fig. 9. Relation between the flow rate of wiping gas and the weight of coated zinc.

Table 3. Comparison of wiping formula.

Wiping Formula	Flow Rate (l/min)	Steel Strip Width (mm)	Flow Rate per Meter of Steel Strip Width (m³/min)	Line Speed (m/min)	Wiping Gas Temperature (°C)	Weight of Coated Zinc (g/m²)
This Experiment (wiping in hot N ₂)	600	150	4.0	6	400	20
Production Line* (wiping in open air)	10,000**	1,200	8.3	100	200	30

* This wiping was conducted in actual production line producing both-side

** This flow rate is calculated from 20 000 l/min for both-side galvanizing

Table 4. Properties of one-side galvanized steel strip.

No.	Coating Layer			Oxide Film Thickness on Uncoated Steel Surface (Å)**	Flow Rate of Wiping Gas (l/min)
	Microstructure (X200 X10/13)	Adhesion *	Weight of Coated Zinc (g/m ²)		
1		Good	19	64	600
2		Good	26	60	500
3		Good	47	67	350
4		Good	141	—	200
5		Good	182	—	0

* Adhesion was evaluated by close contact bend test

** Thickness was measured by ellipsometry

3.3 亜鉛付着量の制御

鋼帯めつき面の亜鉛付着量をガスワイピングによって制御するため Table 2 に示すようにワイピングガスの流量を種々変化させてワイピングの実験を行った。得られた片面めつき鋼帯の亜鉛付着量は JIS H 0401 の塩化アンチモン法に基づいて測定した。

ワイピングガスの流量と亜鉛付着量の関係を Fig. 9 に示す。亜鉛付着量はガス流量が増加するとともに急激に減少し容易に付着量 20 g/m² のような低付着量のものが得られた。この付着量は通常の両面溶融めつきにおける片面換算の最小付着量であるといわれている 30 g/m²¹³⁾ よりかなり少ない。ちなみに本片面めつきおよび通常の両面溶融めつきにおけるワイピング条件を Table 3 に示すが、本片面めつきにおける鋼帯幅 1m 当たりのガス流量が通常の両面めつきにおける片面換算値の約半分であるにもかかわらずその際の亜鉛付着量は 20 g/m² であり前述の 30 g/m² より少ないのは本片面めつきにおけるラインスピードが 6 m/min と通常の両面めつきよりかなり低速度であり、かつワイピングガスの温度も高いためもあると思うが本片面溶融亜鉛めつき法におけるワイピング時の雰囲気ガスの温度が約 400°C と高温であることにもよるものと考えられる。

3.4 試作めつき鋼帯の性状

亜鉛付着量の異なる片面めつき鋼帯について各種性状試験を行い Table 4 に示す結果を得た。めつき層の組織観察ではめつき層の付着がきわめて均一であることが分かるとともにめつき層と地鉄の境界部に生成する合金層も認めがたく、その厚さはきわめて薄いものと思われ

る。まためつき層の密着性はいずれも良好であった。さらに非めつき面の酸化皮膜厚さの測定値は平均 64 Å であり通常の冷延鋼板と同程度に薄かった。

4. 結 言

溶融亜鉛を電磁ポンプを用いてめつき用ノズルより噴射させ、これを水平方向に移動する鋼帯の下面に吹きつけて鋼帯の片面にのみめつきを施す装置を考察、製作しこれを使用して片面めつき実験を行った。以下に得られた結果を要約する。

(1) 電磁ポンプの作動によつて片面めつきに十分な溶融亜鉛の噴射高さを得ることができた。

(2) 鋼帯片面を完全にめつきするには鋼帯幅より広いめつきノズルが必要である。

(3) 鋼帯水平保持用ガイドロールが鋼製の場合、鋼帯の幅より広いロールの端部表面に溶融亜鉛が付着しこれによつて鋼帯の非めつき面が汚染されることになるがこの問題に対しては、溶融亜鉛が付着しないグラファイトあるいはセラミックスなどの材料でロールを被覆することによつて亜鉛の付着汚染を防止することができた。

(4) めつき面の亜鉛付着量はワイピングガス流量が増加すると急激に減少し容易に付着量 20 g/m² のような低付着量のものが得られた。

(5) 試作めつき鋼帯のめつき層の密着性は良好でありまためつき層と地鉄の境界部に生成する合金層も 200 倍の顕微鏡観察では検出されずその厚さはきわめて薄いものと思われる。さらに非めつき面の酸化皮膜厚さは冷延鋼板と同程度に薄かった。

文 献

- 1) American Machinist (1976), p. 35
- 2) J. A. Mock : Mat. Eng. (1978), p. 44
- 3) 垂水英一, 渡辺 孝, 高橋靖雄: 自動車技術, 31 (1977) 10, p. 848
- 4) 原田俊一: 「新表面処理技術と製品」, 52, 53 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編), (1978), p. 162
- 5) 片山喜一郎, 小手川純一, 佐伯士郎: 日新製鋼技報, 37 (1977) 12, p. 63
- 6) 後藤実成, 近藤道生, 宮地一明, 岩沼克彦, 清水孝雄: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, p. 427
- 7) Iron Steel Eng. (1978), p. 63
- 8) Metal Producing (1978), p. 33
- 9) Finishing Industries, 2 (1978), 11, p. 1
- 10) 長野謙太郎, 佐藤安雄: 公開特許公報 昭 53-134738
- 11) 蒲田 稔, 樋口征順, 田野和広: 公開特許公報 昭 53-138930
- 12) 山田 一: リニアモータと応用技術, (1976), p. 2 [実教出版]
- 13) 梅田昭三, 秦 和宣, 山口輝雄, 今井幸義, 江原勝也: 日立評論, 57 (1975) 5, p. 427