# 連続亜鉛めっき浴中フロータの開発

Development of Floater Used in Pot in CGL

技術本部	平	井	悦	郎*1
広島製作所	Ξ	原	_	正 * ²
川崎製鉄株式会社	進			修*3

連続溶融亜鉛めっきライン(CGL)における亜鉛浴中のデフレクタロールに代えて,溶融亜鉛による流体クッションの原理 を適用した浴中フロータを適用する技術について川崎製鉄(株)と三菱重工業(株)とで共同検討を行った。亜鉛浴中にフロータを 導入した場合の浴中ドロスの挙動を解明するために 1/4 スケールダウン水モデルを用いて調べた結果,フロータの場合浴中のた い積ドロスが減少すること,スナウト内の浮遊ドロスが減少することが分かった。次に,ほぼ実機大のフロータ機により,溶融 亜鉛浴中での走行テストを行い溶融亜鉛中での安定浮上走行を実証することができた。

The floater technique, which has been developed to handle steel strip under non-contact conditions using fluid cushion, is applied to the sink deflector roll in the pot for molten zinc in continuous galvanizing lines. The floater is called "Zn-floater" and it aims at the following points. (1) No scratches on strips occur, because the strip is always supported on the floater surface under non-contact condition using flowing molten zinc. (2) The lifetime of the floater is so longer than the conventional sink roll that the replacement cycle decreases and the maintenance costs can be drastically reduced. In order to confirm the above points, the water scale-down model test for clarifing the inner dross (Fe-Zn alloy powder) behavior in the pot and the real scale floating test using molten zinc at our pilot test line have been performed. As a result, the validity of the Zn-floater technique is demonstrated.

# 1. まえがき

連続溶融亜鉛めっきライン(CGL)は焼鈍した鋼板を溶融亜 鉛に浸漬し、表面に亜鉛の皮膜をつけて耐食性の良いめっき鋼板 を生産する設備である.

めっき鋼板の製造コストが安価で、かつ品質も優れていること から、自動車用外板材を中心として生産が行われているが、さら に高品質めっき鋼板の歩留り向上や亜鉛ポットまわりの操業性の 向上が求められている。特に亜鉛浴中浴上機器には開発課題が多 く,溶融亜鉛槽内のデフレクタロール(以下浸漬ロールと言う) には次の問題がある。

- (1) 鋼板と浸漬ロールが接触するため、ロール表面へZn-Fe合金がビルドアップし、すりきずや押しきずマークが発生したりロール表面のグルーブによるマークにより品質低下が生じる.
- (2) ロール交換等のメインテナンス頻度が高く、生産性、操業性の阻害要因となっている。

そこで,三菱重工業(株)が既に開発しているフロータ技術<sup>(1)</sup>を 亜鉛浴中の浸漬ロールに応用し,浸漬ロールを浴中フロータで代 替し,非接触で方向転換すれば,上記問題は軽減・防止できると 考えられる.

本報は、川崎製鉄(株)水島製鉄所と三菱重工業(株)との共同検 討で行った浴中フロータの実験結果について報告する。

## 2. 浴中フロータの原理・構造

連続溶融亜鉛めっきラインでは、焼鈍炉から搬送された鋼板を 亜鉛浴内の亜鉛に浸漬してめっきを施す.浴中において鋼板を支 持する浸漬ロールに対し浴中フロータを使用することを想定し, 図1に浴中フロータの構成図を示す.

浴中フロータは内部が中空の半円柱状ボックス構造をしている。 この半円柱状フロータ面にはスリットノズルを設けている。浴中



図1 連続亜鉛めっき浴中フロータの構成 溶融亜鉛ポット中に浴 中フロータを導入した状況を示す. Zn-floater in pot in CGL

フロータでは、その上部に設置した亜鉛ポンプから溶融亜鉛を吸引し、半円柱状フロータ面に設けたスリットから鋼板に亜鉛を噴出させ、溶融亜鉛による流体クッションを形成する。このときに生じる静圧を利用して鋼板をフロータ面から非接触にて浮上支持する。

フロータ開発の課題として,

- (1) フロータから噴出する亜鉛の液流によるドロス(亜鉛浴中に 存在する鉄亜鉛合金の粒子)巻上げ現象の解明,
- (2) 亜鉛浴中での浮上走行原理実証,
- があり本報告にて解説する.

438

## 3. 浴中ドロス水モデルテスト

# 3.1 テスト装置及び相似則

# 3.1.1 浴中ドロスに対する考え方

亜鉛浴内には、溶融亜鉛中にトップドロス (Fe<sub>2</sub>Al<sub>6</sub>と Zn 酸化 物及び Al 酸化物),ボトムドロス (FeZn<sub>7</sub>)が混在している. 実機にフロータを導入した場合,ボトムドロスの状況変化として 浴内を積極的に撹拌することによって、ボトムドロス→トップド ロス (Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>)化を促進させ、ボトムドロスが減少する方向に なることが考えられる.したがって、フロータを導入する亜鉛浴 の操業方法として、(1)フロータの浴撹拌が槽全体に及ぶよう にして、完全にボトムドロスのない状況で操業することを狙う, (2)フロータによる浴撹拌を極力抑制することにより、ボトムド ロスを従来と同様に維持し、あくまで従来の操業方法で操業する ことを狙う、という2種類の考え方をとることになる.また、ト ップドロスに対しては、スナウト内液面に浮遊するトップドロス がめっき品質に影響を及ぼさないように、トップドロスのスナウ ト進入を抑制する対策及び液面からの離脱促進を図る対策をとる 必要がある.

#### 3.1.2 水モデル相似則の考え方

液体中をドロス粒子が運動する場合,重力や遠心力,その他の 外力の影響を受け,三次元運動をする.

ドロス粒子には密度差から働く浮力と液体から受ける抗力が働き,それぞれ次式,

$$F_{\rm B} = \left(\rho_{\rm f} - \rho_{\rm p}\right) g \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^3 \tag{1}$$

$$F_{\rm D} = CA_{\rm P} \left(\frac{\rho_{\rm f} v^2}{2}\right) = C \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \left(\frac{\rho_{\rm f} v^2}{2}\right) \tag{2}$$

F<sub>B</sub>:浮力(N)

 $F_{\rm D}$ :流体抗力(N)

- ρ<sub>f</sub>:液体密度(kg/m³)
- ρ<sub>P</sub>:ドロス粒子密度(kg/m<sup>3</sup>)
- D:ドロス粒子直径 (m)

$$C$$
:抵抗係数 $(-)$ 

- A<sub>P</sub>:ドロス粒子の投影面積(m<sup>2</sup>)
- v:ドロス粒子と流体の相対速度(m/s)

で表される.

抵抗係数は非圧縮性の場合,ドロス粒子の大きさ,速度,流体 の性質から決まるドロス粒子のレイノルズ数

$$Re_{\rm D} = \rho_{\rm f} v D / \mu_{\rm f} = \frac{v D}{\mu_{\rm f}} \tag{3}$$

- µ<sub>f</sub>:流体の粘性係数(Pa•s)
- ν<sub>f</sub>:流体の動粘性係数(m²/s)
- によって決まる.

縮小モデルを用いた場合,ドロス粒子の模擬粒子であるトレー サ粒子に働く力の F<sub>B</sub>/F<sub>D</sub>を実機と等しくすれば,トレーサ粒子 の運動(方向)はドロス粒子と等しくなると考えられる.

$$\frac{F_{\rm B}}{F_{\rm D}} = \frac{\left(\rho_{\rm f} - \rho_{\rm p}\right)g\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3}{C\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\left(\frac{\rho_{\rm f}v^2}{2}\right)}$$

$$\propto \frac{1}{C}\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{\rho_{\rm f} - \rho_{\rm p}}{\rho_{\rm f}}}gD}\right)^2} = \frac{1}{C}\frac{1}{Fr^{*2}} \qquad (4)$$



Water scale-down model of floater

となる. Fr\*は修正フルード数である.

また、トレーサ粒子に働く流体力はフロータからの吹出し噴流 及び鋼板の浴中走行によって生ずるから v<sub>stlip</sub>/v<sub>jet</sub> の比を実機と 等しくする必要がある。液比重は食塩水の濃度を変えることによ って調整した。

# 3.1.3 テスト装置

装置は装置製作費及び浴内トレーサ粒子の観察の容易さを考えて、実機の1/4スケールモデルとした.また、図2に示すように 鋼板をエンドレスに走行できる装置とした.

実機で使用するフロータへの亜鉛供給用軸流ポンプ部に関して は、装置の都合上浴外の遠心ポンプを使用し、吸込口を実機形状 を模擬する次のような構造とした. (1)吸込部を二重管とし、 内側を供給用、外側を吸込用配管とする. (2)外側配管に吸込 口として上中下三段それぞれ4方向に穴を設けた.

- 3.2 テスト結果
- 3.2.1 浴全体の流れ
- (1) 浸漬ロール方式の場合

図3に浴内トレーサ粒子の挙動を目視観察し,スケッチした 結果をまとめた。浸漬ロールの場合はロール回転と板の走行に よる撹拌のみであり、トップドロスの場合はスナウト内の粒子 が板に沿って引込まれ、ロールの回転によってロール周りを流 れた後、再浮上してスナウト内又は、スナウト外の液面へ浮遊 する。ボトムドロスはロールの回転及び板の走行に沿って板の 出側に向かって流れ、液面や浴機器部で方向転換し浴壁に沿っ て再び沈降する。また、ロール回転によって板の入側にも向か って流れる。

(2) フロータ方式の場合

フロータの場合,フロータと板とのすきまから吹出す流れと 板の通らない部分のスリットから吹出す流れにより,浴の側壁, 底面に吹付けられ,浸漬ロールの場合より浴内挙動が活発にな る.特に,スナウト内に浮遊するトップドロスは,フロータと 板のすきまから吹出す流れによってスナウト内から流し出され,



図3 ドロスの観察結果 水モデルテスト装置においてスケッチした結果を示す. Observation of dross behavior in pot

浸漬ロールの場合より、スナウト内液面に浮遊するドロスは減 少する.

## 3.2.2 スナウト内の流れ

スナウト内液面に浮遊するトップドロスに着目した. 図3にス ナウト付近の流れをスケッチしたものを示す. ここで, 図のよう に板の傾斜に対して上側を表面, 下側を裏面と定義する.

# (1) 浸漬ロールの場合

まず,浸漬ロールの場合,液面に浮遊する粒子は板の走行に 沿って液中に引込まれ,一部は浴底面に衝突して跳返り浮上し て再びスナウト内へ入り,一部はロールの回転に沿って流れ板 の表面に衝突して浮上する.液面の様子を見ると,表側は板に 跳返った流れがわき出しスナウト側面へ粒子を寄せる.板端部 から板の走行によって浴内に引込まれるものがあるが,大部分 は裏面から引込まれる.

#### (2) フロータの場合

フロータの場合はフロータと板間からの吹出しにより,浸漬 ロールの場合よりスナウト内の流動が活発になり,スナウト内 液面のトップドロスは流れにかき出される傾向があり,浸漬ロ ールの場合より液面に漂う量が減る.さらに,バッフルプレー トを設けると,バッフルプレートに沿う流れもスナウト内に流 込みスナウト内は複雑な流れになり,液面に漂う粒子はなくな る.

## 3.2.3 ボトムドロスのたい積状況

図4にテスト終了後のボトムドロス用トレーサ粒子のたい積状 況スケッチを示す.

# (1) 浸漬ロールの場合

浸漬ロールの場合, ロールの回転によるロール下部にたい積 していたドロスは浴槽の端に流されたい積する.また, ロール 上の鋼板がある部分に比べてない部分の方が旋回流により浴底 部の流れが活発なため, ロール下部は図4(a)のようなロール 端部の下方にドロスがなくなる眼鏡状にたい積する.



図4 ボトムドロスのたい積状況 水モデ チした状況を示す. Distribution of dross at bottom of pot

## (2) フロータの場合

フロータの場合,スリットからの噴流により,たい積していたドロスは全体的に巻上げられ,浴底部にたい積するドロスは減少する.また,フロータの曲率に垂直な流れが強いので,鋼板の入側,出側の端にたい積する傾向にある.よって,ボトムドロスのたい積量削減及び,ボトムドロス排出が容易になることが期待できる.

# 4. パイロットテスト

溶融亜鉛を用いたパイロットテストを行った。

## 4.1 パイロットテスト実験装置

図5にパイロットテスト装置を示す.CGL ラインでの実際の 稼働を想定して溶融亜鉛浴中フロータのみでなく90°ベンドフ ロータも連動させたループを組んだ.また浴温保持のため,バー ナ炉を通過させ帯板の再加熱を行った.また,浴から帯板に付着 して亜鉛が浴外に持出され,飛散することを防止するため,浴の 出側には気体絞り(0.5 kgf/cm<sup>2</sup>G max.)を設けた.

# 4.2 試験方法

フロータによる鋼板の浮上量の計測は浴中で使用できる一般的 計器がないため,接触式のジグを考案し溶融亜鉛浴中に設置した. まず,溶融亜鉛フロータの浮上特性を把握するため,板静止状

三菱重工技報 Vol. 32 No. 6 (1995-11)

Case	板 厚 (mm)	板 幅 (mm)	ユニット張力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	プレナム圧 (mm Zn)	有効流量 (m³/min)	無効流量 (m³/min)	総流量 (m³/min)	正味動力 (kW)	ポンプ動力 (kW)
1	3.2	750	1.0	1 698	6.5	31.1	37.6	68.9	229.8
2	t	1 250	1.0	1 313	7.4	17.2	24.6	35.0	116.5
3	2.3	750	1.0	1 220	5.5	26.4	31.8	42.0	140.0
4	t	1 550	1.0	882	6.8	9.1	15.9	15.2	50.5
5	1.6	750	2.0	1 698	6.5	31.1	37.6	68.9	220.8
6	t	1 850	1.5	883	7.4	4.2	11.6	11.0	36.7
7	1.2	750	2.0	1 273	5.6	26.9	32.5	44.8	149.2
8	1	1 850	2.0	883	7.4	4.2	11.6	11.0	36.7

## 表1 実機フロータ所要ポンプ容量 Specification of Zn-floater



態にて,ライン張力及びポンプ回転数を変えて試験を行った.次 に図5に示すパスラインにて t1.5×幅1000 mm のステンレス 板を用い200 m/min までの走行テストを行った.

#### 4.3 実験結果

図6にフロータ周方向の浮上量の分布を示す.計測点数が少ないがほぼ一様な浮上をしているものと推定される.図7に張力と 浮上量の関係をポンプの回転数をパラメータにして示す.ポンプの回転数の減少につれて浮上量も減少する.

# 4.4 実機仕様の検討

作成した実験式を用いて実機のポンプ容量を推定する.フロー タ寸法は次のように考えるものとする.

(1) フロータ半径

溶融亜鉛テスト結果及び実ラインの板条件より所要プレナム 圧が高くなると予想されるため、半径0.5mとする.

(2) スリット幅

フロータ半径の拡大に応じた拡幅,またドロスによるスリットの閉そく対策のため 10.0 mm とする.

(3) 浮上量

実機板形状を勘案して 6 mm とする.

(4) フロータ幅

最大板幅 1 850 mm に対して, 100 mm の蛇行を許容するため, 2 100 mm に設定する.

パイロットテスト結果によりポンプ容量を予測した結果を表1 にまとめる.



板サイズ:*t* 1.5×W1000 mm

図 6 浮上量分布 パイロットテストにおける鋼板浮上量分布. Distribution of floating gap along floater surface



# 5.まとめ

本報では CGL ラインの高品質化のため溶融亜鉛中で作動する 亜鉛フロータの適用性を検討した.実施事項及び成果は以下のと おりである.

- (1) 溶融亜鉛を用いたライン走行試験(実機大の幅狭モデル,板 幅1000 mm 相当)を行い安定浮上・走行を確認した。
- (2) 実験式により実機の鋼板条件の場合について亜鉛ポンプの容量(流量,駆動動力)を推定した.

以上から、CGLの浴中のきず防止と浴中機器メインテナンス 負荷軽減のためフロータは実用段階にあることを確認した。今後 の実機導入計画に対応していきたいと考える。

## 参考文献

 高原ほか、製鉄プロセスライン用帯鋼浮上搬送装置の実用化, 三菱重工技報 Vol.29 No.1 (1992) p.36