

.....
論 文
.....

UDC 621.793.5 : 669.586.5 : 669.15

連続溶融亜鉛メッキ作業における必要 Al 添加量*

山口 洋**・久松 敬 弘***

Amount of Aluminium Addition Required in Continuous Galvanizing Baths

Hiroshi YAMAGUCHI and Yoshihiro HISAMATSU

Synopsis:

As the aluminium in galvanizing bath is consumed through the reaction of dross and the alloy-layer formation, it is usually difficult to keep the aluminium content in the bath at a predetermined value. On the basis of our recent results, the aluminium content in tailored zinc required to keep the aluminium content in the bath at a desired level has been calculated.

The aluminium content in tailored zinc (y_T) can be expressed as the sum of the aluminium concentration in liquid zinc (y) and the amount of aluminium consumed, in concentration, through dross and alloy-layer formations:

$$y_T = y + (a\Delta W_1 + b\Delta W_2) \cdot 200/w$$

where w is coating weight of sheet, and ΔW_1 and ΔW_2 are iron dissolved and iron in alloy layer, respectively.

Under conditions of sheet temperature of 470°C, line speed of 100 m/min and coating weight of 305 g/m²-sheet, the aluminium content in tailored zinc is estimated to be 0.31% to maintain the bath at 0.14% Al. When the coating weight is in the range of 305 ± 60 g/m², to increase the aluminium content in the bath by 0.01% the aluminium content in tailored zinc should be increased by 0.05 ~ 0.08% under the operational condition of 0.10 ~ 0.14% Al in the bath.

(Received Mar. 13, 1973)

1. 緒 言

著者らはこれまでに連続溶融亜鉛メッキにおける鋼板とメッキ浴との反応¹⁾²⁾, およびその結果の一部であるドロス生成反応³⁾ に関して報告した。これらの研究によつて上記諸反応はメッキ浴中の Al 濃度により大きく影響を受けることが一段と明らかになった。ことに操業に大きな支障をもたらす⁴⁾ ボトムドロス発生量が, 0.14% Al までは浴中の Al 濃度の増加とともに減少し, 0.15% 以上ではゼロとなることが明らかとなった。

一方実操業においてメッキ浴中の Al 濃度を所定の濃度に保持することはむずかしい。その理由はドロス生成反応あるいは合金層生成反応の際に浴中の Al が消費されるので, 添加する Al 量は所定の浴中 Al 濃度に相応する Al 量より高くなければならないからである。本報告は前報までの研究結果をとりまとめることにより, 添加 Al 量と浴中の Al 濃度との関係を明らかにして, 所定の浴中 Al 濃度に保持するための適正な Al 添加量を推算することを目的としたものである。

2. Al 添加量と浴中 Al 濃度との関係

2.1 計 算 式

メッキ浴中へ Al を添加する方法としては, Zn 地金とは別に Al 地金あるいは Zn-Al 母合金を添加する方法と, 必要な Al 量を含む Zn 合金 (調合亜鉛, Tailored zinc) を使用する方法とがある。これらの方法の相違は本質的な問題ではないので, 本報告では調合亜鉛中の Al 濃度という形でメッキ浴中に添加する Al 量を表現することにする。

調合亜鉛中の Al 濃度 y_T (%) とメッキ浴中の Al 濃度 y (%) との関係式は, 前報²⁾³⁾ までに導いたつぎの関係式を組み合わせることによつて得られる。すなわち,

$$y_T = Y + 200\Delta W_1 \cdot a/w \dots\dots\dots (1)^{3)†}$$

$$Y = y + 200\Delta W_2 \cdot b/w \dots\dots\dots (2)^2)$$

* 昭和 48 年 3 月 13 日受付

** 三井金属鉱業(株)中央研究所

*** 東京大学工学部金属工学科 工博

† 前報³⁾ において用いた係数 m/n を本報告では係数 a とおきかえて用いている。

Table 1. Numerical values of coefficients a and b in the equation (3) in text.

		Al content in galvanizing bath γ (%)											
		0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.30
a	-0.22	0.01	0.24	0.49	0.74	1.00	1.24	1.17	0.99	0.80	0.61	0.5	
b	0.031	0.028	0.027	0.038	0.054	0.130	0.212	0.218	0.221	0.202	0.183	0.167	

Table 2. Functions and constants for estimating quantity of dissolved iron.²⁾

Capital	Al content in bath (%)	Function	Constant	Experimental Condition
Immersion time (t, sec)	$\gamma=0.10\sim0.14$	$f_L(t)=0.299+0.048t$	—	$\theta=500$
	$\gamma=0.15\sim0.30$	$f_H(t)=0.194+0.026t$	—	
Al content in bath (γ , %)	$\gamma=0.10\sim0.12$	$g_L(\gamma)=1.580-8.50\gamma$	$C_L=g_L(0.12)=0.558$	$\theta=500$ $t=30$
	$\gamma=0.12\sim0.30$	$g_H(\gamma)=0.899-2.742\gamma$	$C_H=g_H(0.18)=0.405$	
Sheet temperature (θ , °C)	$\gamma=0.10\sim0.14$	$h_L(\theta)=0.207+0.00137\theta$	$d_L=h_L(500)=0.89$	$\theta=460\sim600$ $t=30$
	$\gamma=0.15\sim0.30$	$h_H(\theta)=1.438-0.00189\theta$	$d_H=h_H(500)=0.49$	

Table 3. Functions and constants for estimating iron quantity in alloy layer.²⁾

Capital	Al content in bath (%)	Function	Constant	Experimental condition
Immersion time (t, sec)	$\gamma=0.10\sim0.14$	$f_L(t)=0.132+0.075t$	—	$\theta=500$
	$\gamma=0.15\sim0.30$	$f_H(t)=0.245+0.026t$	—	
Al content in bath (γ , %)	$\gamma=0.10\sim0.14$	$g_L(\gamma)=24.554-325.2\gamma+1102\gamma^2$	$C_L=g_L(0.12)=1.405$	$\theta=500$ $t=30$
	$\gamma=0.15\sim0.30$	$g_H(\gamma)=0.817-1.313\gamma$	$C_H=g_H(0.18)=0.58$	
Sheet temperature (θ , °C)	$\gamma=0.10\sim0.14$	$h_L(\theta)=-0.022+0.001699\theta$	$d_L=h_L(500)=0.82$	$\theta=460\sim600$ $t=30$
	$\gamma=0.15\sim0.30$	$h_H(\theta)=0.869-0.00021\theta$	$d_H=h_H(500)=0.76$	

ゆえに

$$\gamma_T = \gamma + (a\Delta W_1 + b\Delta W_2) \cdot 200/w \dots\dots\dots (3)$$

ただし

γ は合金層を含むメッキ層中の Al 濃度(%)

w は薄板の亜鉛付着量 (g/m²-sheet)

係数 a, b は前報より* Table 1 のように与えられる。

ΔW_1 と ΔW_2 はそれぞれ Fe 溶出量 (g/m²) と合金層中の Fe 量 (g/m²) であり, それぞれ前報²⁾ により (4) 式および Table 2 と 3 によつて計算できる。

$$\Delta W_{1 \text{ or } 2} = f_{L, H}(t) \cdot (g(\gamma)_{L, H} / C_{L, H}) \cdot (h(\theta)_{L, H} / d_{L, H}) \dots\dots\dots (4)$$

すなわち鋼板のメッキ浴中への浸漬時間 t (sec, ラインスピードから換算), 浴中の Al 濃度 γ (%), メッキ浴へ浸入する直前の鋼板の温度 θ (°C) を Table 2, 3 を

利用して (4) 式に代入することにより ΔW_1 と ΔW_2 を求める。

以上のように (3) (4) 式および Table 1~3 を利用することにより, メッキ浴中の Al 濃度 γ および浸漬時間 t , 鋼板の温度 θ , 付着量 w を代入すれば, その浴中 Al 濃度 γ を保持するために必要な調合亜鉛中の Al 濃度 γ_T を求めうる。

(3) 式の意味を検討すると, (3) 式は単純な物質収支式からなつてることがわかる。すなわち $a\Delta W_1$ と $b\Delta W_2$ の項は, それぞれドロソ生成反応および合金層生成反応による浴中の Al の消費量を Fe 量から換算する項である。この Al 消費量を濃度表示として表わし, これにメッキ浴中の Al 濃度 γ を加えることにより, 必要な調合亜鉛の Al 濃度 γ_T が求めうることになる。

* b は文献 (2) Fig. 8(c), a は文献 (3) Fig. 8 からそれぞれ読みとる。

2.2 計算結果および考察

Fig. 1, Fig. 2 に計算結果を示す. 図にみるようにメッキ浴の Al 濃度が 0.14% 以下の場合, 浴の Al 濃度を 0.01% 増加させるためには通常の付着量 (305 g/m²-sheet 程度) の場合, 調合亜鉛の Al 濃度を 0.05~0.08% も増加させなければならない. また曲線 1, 2, 3 が示すように亜鉛付着量値が非常に大きな影響をもつこと

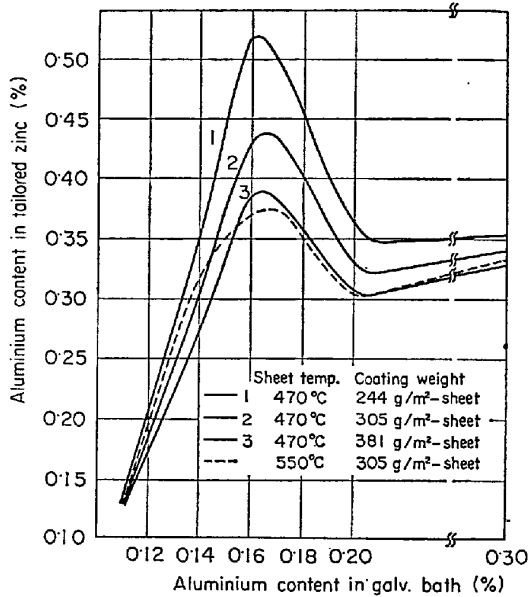


Fig. 1. Calculated relation between aluminium content in tailored zinc and that in galvanizing bath. Line speed : 100 m/min.

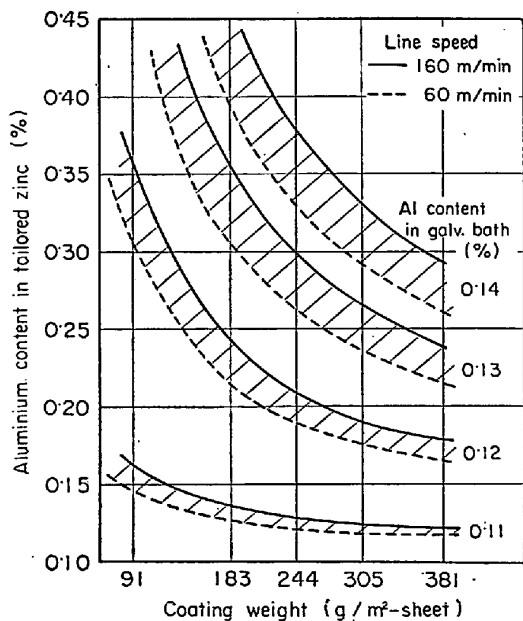


Fig. 2. Required aluminium content in tailored zinc under various operational conditions.

もわかる. この付着量の影響については次のように解釈すればわかりやすい. すなわち亜鉛鉄板を製造する際に, その付着量にかかわらず, 同面積の鋼板を処理すれば同じ反応がおこり Al の消費量は変わらない. 一方付着量が変わればこの間の Zn 消費量は異なるので, 補給する調合亜鉛の量は異なる. したがって付着量が少ない場合は, 少量の調合亜鉛を用いて Al 補給量を付着量が多い場合と同じにするために, 調合亜鉛中の Al 濃度を高めなければならない.

Fig. 1 の各曲線は, メッキ浴中の Al 濃度 0.16~0.17% にピークを持ち, また浴中 Al 濃度が 0.14% 以上で 3 次曲線の形となっている. このような曲線が得られたのは, 浴中の Al 濃度による係数 a の変化に依存している. a の変化に関しては前報³⁾ に記したようにまだ明確ではないところが, 3 次曲線の傾向からつぎのような解釈も可能である. たとえば Fig. 1 において, 曲線 2 のメッキ条件の操業に 0.40% Al の調合亜鉛を使用した場合の浴中 Al 濃度を考えてみる. 横軸に平行な 0.40% を通る直線と曲線 2 との交点は, 浴中 Al 濃度 0.155%, 0.18%, 約 0.4% の 3 点となる. この 3 点のうちどの浴中 Al 濃度が最もありうるものであるかの判断は困難であるが, ピークの存在を考えると 0.155% となること, あるいは 0.18% と 0.4% の共存との 2 通りを考えると妥当であり, 後者の場合浴上下方向の Al の偏析を考えればよいと推測する.

Fig. 1 における点線は鋼板の温度が高い場合の一例を示しているが, ほかの条件が同じ曲線 2 との差違は Fe 溶出量および合金層中の Fe 量の差違によつている.

3. メッキ浴中の Al 濃度について

3.1 実操業における浴中 Al 濃度分析値

前報¹⁾²⁾³⁾ までの記述を含め以上の記述において, 著者はメッキ浴中の Al 濃度として金属間化合物を含まない液体 Zn 相中に溶存する Al の濃度を想定している. しかし実操業における浴中 Al 濃度分析値とこの液体 Zn 相中の Al 濃度とは必ずしも一致しない. その理由は実操業における分析サンプルは, 実験室におけるサンプルとは異なり, 必ずといってよいほど, 微細な金属間化合物をまき込んでおり, このため見かけ上の浴 Al 濃度は液体 Zn 相の Al 濃度より 0.01~0.2% (0.03% 程度が多い) 高くでる傾向があることに注意しなければならない.

3.2 メッキ浴中の Al 濃度の保持について

メッキ浴中の Al 濃度によつて, ドロス発生量, メッ

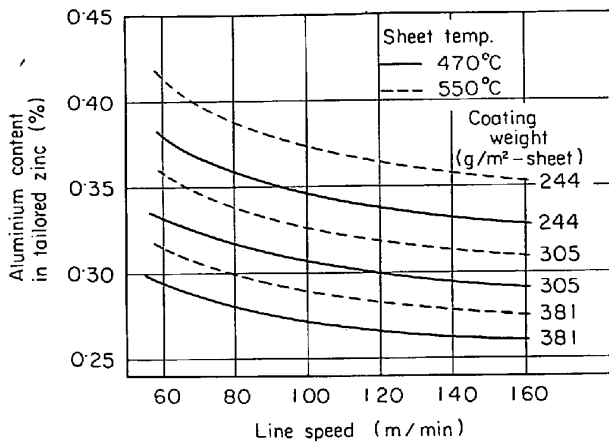


Fig. 3. Aluminium content in tailored zinc necessary to keep aluminium content in galvanizing bath at 0.14%.

キ層の密着性、メッキ浴中に浸漬しておく鋼製部材*)の浸食の度合等が異なる。これらに対する影響を考えあわせて浴中 Al 濃度の保持基準を定めるべきである。

前報³⁾に明らかにしたように、ボトムドロス発生量は浴中 Al 濃度が 0.10% から 0.14% に増加するとともに減少し、0.15% Al 以上ではゼロとなる。またメッキ層の密着性は浴中 Al 濃度の増加とともに向上する⁶⁾。一方浴中の鋼材の長時間後の浸食についてはわれわれも現在実験中であるが、浴中 Al 濃度が高くなると浸食の度合が大きくなる傾向がある。そこで本報告ではボトムドロス発生量がほぼ 0 となる浴中 Al 濃度 0.14% を一応の基準として、この浴中 Al 濃度を保持しうる調合金鉛中の Al 濃度を計算した。結果を Fig. 3 に示す。

4. 実操業における Al 添加量との比較

Al 添加量に関しては各社とも公開していないのでくわしい論議はできないが、Fig. 3 に示した計算による調合金鉛中の Al 濃度と実操業にて使用中のものとを比較すると、計算値の方がやや高い傾向がある。反面多くのラインにおけるボトムドロス発生量実績は、ほぼゼロと

* 薄板の連続メッキにおいては外部加熱を行わないので、メッキ槽の浸食は比較的小さい。鋼製部材とはコイルのガイドのために浴中に設置してあるロールおよびこれの支持アームあるいはコイルを還元雰囲気のまま浴に導入するためのシュートをも含んだものをいう。

いえるほど少なくはない。一部のラインはボトムドロスがほとんど発生しない操業を実施しているが、そのようなラインにおける Al 添加量実績は、Fig. 3 における計算値に近いことを付言したい。

5. 総括

メッキ浴中の Al はドロス生成反応あるいは合金層生成反応によつて消費される。したがつて浴中 Al 濃度を所定の濃度に保持することはむずかしい。本報告はこれまでの研究結果をとりまとめることにより、所定の浴中 Al 濃度に保持するために必要な Al 添加量を、調合金鉛中の Al 濃度という形で求めた。

得られた結果をまとめるとつぎのようになる。

所定の浴中 Al 濃度 (液体 Zn 相の Al 濃度) y (%) を保持するために必要な調合金鉛中の Al 濃度 y_T (%) は次式で与えられる。

$$y_T = y + (a\Delta W_1 + b\Delta W_2) \cdot 200/w$$

ここに w は薄板の亜鉛付着量 (g/m^2 -sheet)

係数 a , b は y が 0.11 から 0.15 に上るにつれ、 a は 0.1 から 0.99 に、 b は 0.03 から 0.13 に増加する。

ΔW_1 と ΔW_2 は Fe 溶出量と合金層中の Fe 量 (g/m^2) であり、第 2 報の計算式で計算可能である。

計算結果によれば

(1) 薄板付着量 305 g/m^2 、鋼板の温度 470°C 、ラインスピード 100 m/min の条件下で、浴中の Al 濃度を 0.14% に保持しうる調合金鉛中の Al 濃度は 0.31% となる。

(2) 付着量が $305 \pm 60 \text{ g/m}^2$ 程度の条件下で、浴中の Al 濃度を 0.01% あげるためには、調合金鉛中の Al 濃度は 0.05~0.08% あげる必要がある。

(3) 調合金鉛中の Al 濃度は付着量が少ないほど高くしなければならない。

文 献

- 1) 山口, 久松: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 131
- 2) 山口, 久松: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 1994
- 3) 山口, 久松: 鉄と鋼, 60 (1974), p. 96
- 4) 鮎沢, 安藤, 岩崎, 村上: 公開特許公報 47-38630
- 5) C. CONE: Iron and Steel Engineer, (1962), 8p. 0