

電気亜鉛めっきラインにおけるインライン 薄膜塗装設備と操業*

川崎製鉄技報
23 (1991) 4, 315-320

In-line Thin Organic Film Coating Facility in the Electro galvanizing Line



古川 九州男
Kusuo Furukawa
千葉製鉄所 第2冷間
圧延部長



石倉 元
Hajime Ishikura
千葉製鉄所 第2冷間
圧延部冷延技術室 主
査(掛長)



牧野 義和
Yoshikazu Makino
千葉製鉄所 設備技術
部電気・計装技術室 主
査(課長)



谷口 茂樹
Shigeki Taniguchi
千葉製鉄所 設備技術
部機械技術室 主査(掛
長)



天竺 敏明
Toshiaki Amagasa
千葉製鉄所 エネルギー
一部エネルギー技術室



宮地 一明
Kazuaki Miyachi
Armco Steel
Co., L.P.

1 緒 言

千葉製鉄所の電気亜鉛めっきラインは、従来より簡単な塗装設備を有しており、有機樹脂の塗装鋼板である耐指紋性鋼板リバーシブル FTM を製造していた。しかし、1988年8月、当社で新たに開発した自動車用表面処理鋼板プラスコート K IV²⁾ の製造のために、インライン塗装設備が大幅に増強され、本格的なめっきおよび塗装処理の可能な複合ラインに改造された。

プラスコート K IV は、下地鋼板として Zn-Ni 合金めっきを使用し、この上にクロメート処理と薄膜塗装を施したもので、従来の製造工程では、電気めっきラインでの合金めっき処理の後に、塗装ラインでのクロメート処理と樹脂塗装を必要としていた。したがって、プラスコート K IV を同ラインで処理するためには、新たな塗装設備の増強が必要であった。

要旨

千葉製鉄所の電気亜鉛めっきラインは、1988年8月、自動車用薄膜塗装鋼板プラスコート K IV の製造を目的として、インライン塗装設備が増強された。新しい塗装設備は、(1) 塗料温度・粘度自動制御システム、(2) 塗料付着量自動制御システム、(3) 塗料焼付板温自動制御システム、(4) オンライン蛍光 X 線付着量計、(5) オンライン赤外線膜厚計を有する。この増強工事によりプラスコート K IV は、インライン処理が可能となり、1988年10月のインライン工程生産開始後半年で月産8千トン記録し、現在においては月産1万5千トンの生産を行うまでに至っている。

Synopsis:

A new in-line coating facility was installed at Kawasaki Steel Chiba Works in the electro galvanizing line in August 1988. Features of this facility are: (1) Automatic paint bath control system, (2) automatic coating weight control system, (3) automatic strip temperature control system, (4) on-line X-ray analyzing system, and (5) on-line IR analyzing system. By using this facility, it has become possible to produce Zn-Ni coated steel sheets with thin organic film (named Plascoat K IV) in a single line. The commercial production of Plascoat K IV was started in November 1988. Now its production has become more than 15 000 t/month.

この増強工事により、薄膜有機被覆鋼板プラスコート K IV のインライン処理が可能となり、インラインでの生産開始後半年で月産8千トン記録し、現在においては月産1万5千トンの生産を行うまでに至っている。本報では、インライン塗装設備の概要と操業状況について報告する。

2 インライン化の検討

2.1 プラスコート K IV の品質設計

自動車用表面処理鋼板として開発されたプラスコート K IV は、Zn-Ni 合金めっきの上に、塗布型クロメート処理と薄膜のコロイド状シリカを含有する有機樹脂塗装を施した薄膜型の有機複合被覆鋼板である。この断面構造を Fig. 1 に示す。プラスコート K IV は塗膜厚みがわずか $1\mu\text{m}$ であるにもかかわらず、優れた耐食性を示し、スポット溶接性にも優れている²⁾。また、BH 鋼板(焼付硬化型鋼板)への適用を可能にするために、 150°C 以下の短時間加熱で樹脂焼付が行えるよう設計されている。

* 平成3年7月23日原稿受付

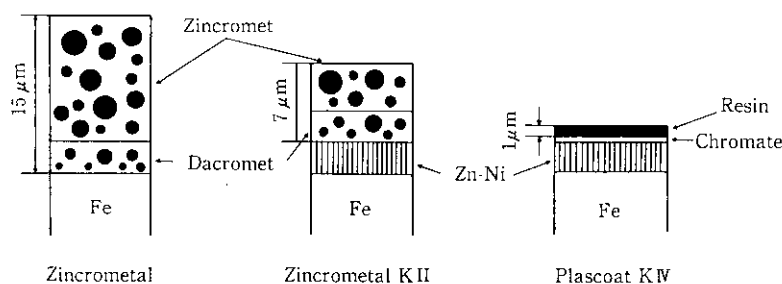


Fig. 1 Schematic views of Zincrometal, Zincrometal K II and Plascoat K IV

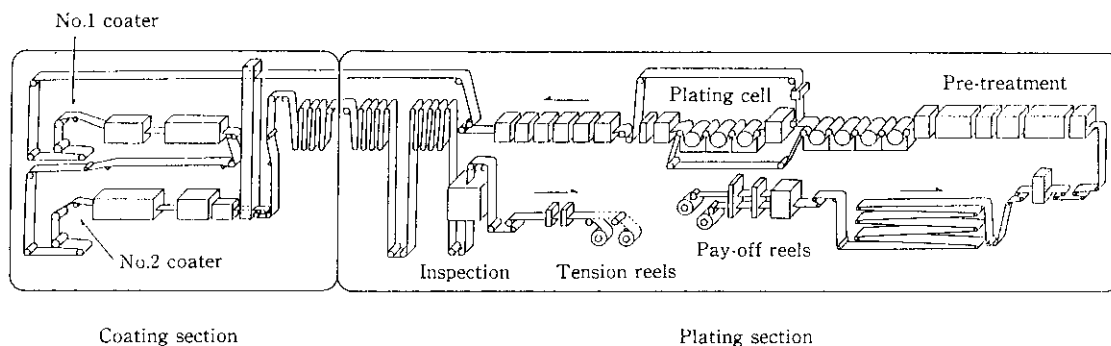


Fig. 2 Schematic diagram of electrogalvanizing line

2.2 薄膜塗装の技術的課題

従来より電気亜鉛めっきラインは、耐指紋性鋼板用のロールコーターを有していたが、プラスコート K IV に要求される高度な品質に対応するには、新しい技術の開発が必要であった。具体的には、

- (1) 高精度塗膜厚制御技術
- (2) 高精度板温制御技術
- (3) オンライン塗膜厚測定技術

である。特に、めっきおよび塗装の連続化ラインにおいては、ライン速度変更時の塗膜厚制御および板温制御が重要な課題であり、電気亜鉛めっきラインの生産性を低下させることなく安定操業を可能とする設備でなくてはならない。

3 設備の概要

電気亜鉛めっきラインの概要を Fig. 2 に示す。Fig. 2 中の右側が既設の電気めっき設備、左側が今回増強した塗装設備である。電気亜鉛めっきラインは、U.S. Steel 社（現在の USX）の CAROSEL 方式に当社独自の改良を加えたものであり³⁾、1982 年に完成し、4 つのめっきセルで生産を開始した。その後、2 度のめっきセル増強工事を経て 7 セルとなり、1988 年 8 月の塗装設備増工事によって現在の姿となっている。Table 1 にラインの基本仕様を、Fig. 3 には塗装設備の概要を示す。また Fig. 4 には、当ラインの代表的な製造品種であるプラスコート K IV の製造工程を示した。

3.1 塗料供給設備

塗料供給設備は、塗料倉庫、塗料調合タンク、塗料循環タンクからなり、徹底した省力化のために、塗料倉庫の自動管理、塗料温度および塗料粘度の自動制御を行っている。Fig. 5 に塗料温度・粘度

Table 1 Line specifications

Item	Specification
Production capacity	25 000 t/month
Line speed	
Entry	150 m/min (max)
Center	120 m/min (max)
Delivery	150 m/min (max)
Sheet thickness	0.4~1.6 mm
Sheet width	760~1 830 mm
Coil weight	
Entry	42 t (max)
Delivery	25 t (max)
Plating cell	CAROSEL type 7 cell (25 kA × 20 V × 14 units)
Coating equipment	
Coater	2 roll reverse coater × 8 units
Oven	Circulated hot air jet
Cooler	Air cooler (No. 1), water cooler (No. 2)

自動制御システムの概要を示すが、高精度な塗膜厚制御のためには塗料粘度制御が不可欠であり、粘度に大きく影響を及ぼす塗料温度の制御も重要である。本システムでは、塗料調合タンクと塗料循環タンクに温水による加熱装置を備え、塗料温度が常に一定値となるよう自動制御を行っている。さらに塗料循環タンクにはオンラインの粘度計を設置し、連続的に塗料粘度を測定しながら、塗料粘度の上昇に対して希釈用溶剤を自動補給し、粘度を一定値に制御している。

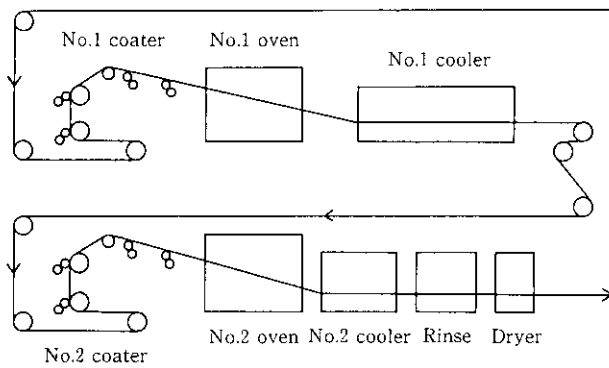


Fig. 3 Outline of in-line coating facility

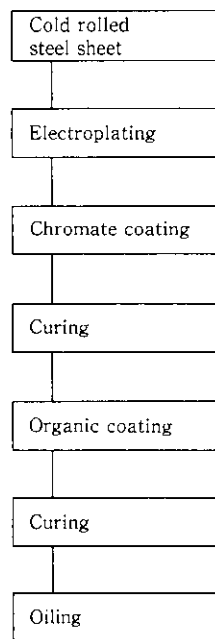
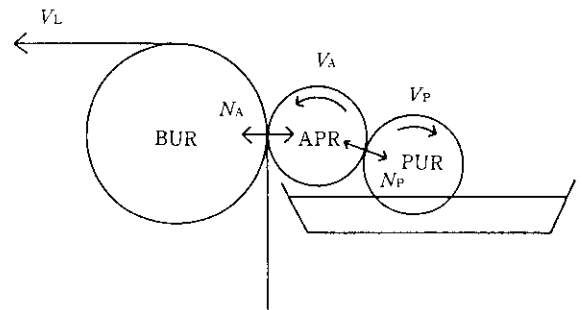


Fig. 4 Manufacturing process

3.2 コーター設備

コーターには、クロメート塗装用の No. 1 コーターと樹脂塗装用の No. 2 コーターがあり、各々が表面側に 2 ヘッド、裏面側に 2 ヘッドを有し、計 8 ヘッドとなっている。Fig. 6 にロールコーターの模式図を示すが、塗装方式としては、アプリーケーターロール (APR)



BUR : Back up roll
APR : Applicator roll
PUR : Pick up roll
VL : Line speed
VA : Roll speed of APR
VP : Roll speed of PUR
NA : Roll pressure between BUR and APR
NP : Roll pressure between APR and PUR

Fig. 6 Reverse roll coater

とピックアップロール (PUR) からなる 2 ロールのリバース塗装方式を採用しているが、ナチュラル塗装もできるように設計されている。

3.2.1 ロール周速制御

APR および PUR のロール周速制御は、VVVF(variable voltage variable frequency) 制御の AC モーターにより、高精度周速制御を実現している。

3.2.2 ロール間圧力制御

コーターのロール間圧力は、塗膜厚に大きく影響し、特に板幅方向の塗料付着量プロフィールの調整に重要である。本設備では、各ロール間 (PUR—APR 間, APR—BUR 間) にロードセルを設置し、ロール間圧力を検出するとともに、AC サーボモーターにより適正圧力に制御することができる。

3.2.3 塗膜厚制御

当ラインでは 2 つの塗膜厚制御モデル式を有している。Table 2

Table 2 Coating weight control formula

Model formula No. 1 (Linear model)	$L = AV_A + BV_P + CV_L + D$
Model formula No. 2 (Non-linear model)	$L = KV_A^x V_P^y V_L^z$

L : Coating weight

VA : Roll speed of APR

VP : Roll speed of PUR

VL : Line speed

A, B, C, D, K, x, y, z : Coefficients

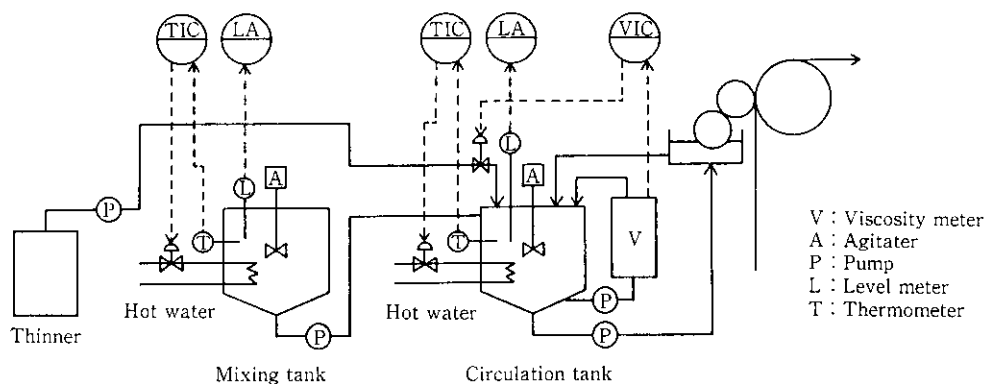


Fig. 5 Paint bath control system

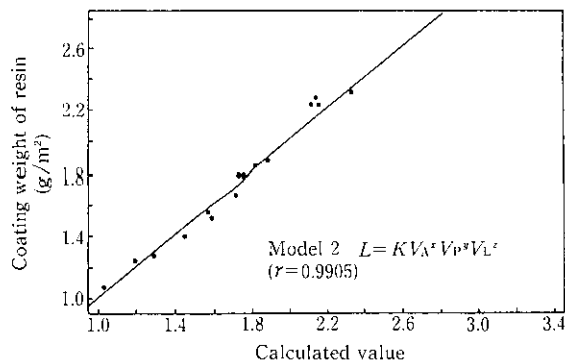


Fig. 7 Calculated and measured values of resin coating weight

にそのモデル式を示すが、モデル1式は線型モデル、モデル2式は非線型モデルであり、この制御式を用いることにより、ライン速度の変更に対してもAPRの周速またはPURの周速を変化させて、塗膜厚を一定に制御することができる。Fig. 7に、モデル2式を用いた場合の塗料樹脂付着量の計算値と実測値の比較を示したが、塗膜厚の制御精度は非常に良好である。

3.3 オープン・クーラー設備

オープン・クーラー設備は、クロメート用のNo. 1オープンおよびNo. 1クーラーと、樹脂用のNo. 2オープンおよびNo. 2クーラーに分かれている。Table 3にオープン・クーラーの設備概要を示す。

Table 3 Oven and cooler specifications

	No. 1 oven	No. 1 cooler	No. 2 oven	No. 2 cooler
Heating method (cooling)	Circulated hot air jet	Air jet	Circulated hot air jet	Water spray
Strip conveying	Catenary	Floater	Catenary	Catenary
Furnace length	7.5 m × 2 zone	10 m × 3 zone	7.5 m × 3 zone	5 m
Temperature	Max 500°C	15~30°C	Max 500°C	20°C

3.3.1 オープン

オープンの加熱方式としては、No. 1およびNo. 2オープンとも熱風循環ガスジェット方式を採用し、ライン速度変更時の対応として、熱風循環ダンパーの開度変更により熱風吹付速度を変化させる方式を採用している。Fig. 8に板温制御ロジックを示すが、板温の制御は、オープンガス温度、ライン速度、板厚等のデータから必要な熱風流量を設定し、熱風循環ダンパー開閉制御により行っている。

3.3.2 クーラー

クロメート用のNo. 1クーラーでは空冷方式を採用し、樹脂用のNo. 2クーラーでは水冷方式を採用している。No. 1クーラーの板温制御は、オープンの場合と同様に、冷却大気温度、ライン速度、板厚等のデータから必要な冷却風量を設定し、ダンパー開閉制御により行っている。また、No. 2クーラーについては高圧の水スプレ

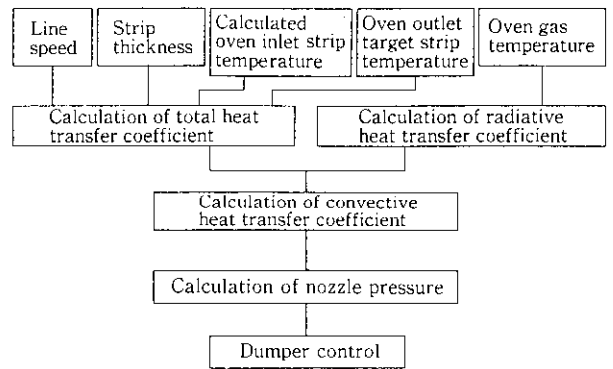


Fig. 8 Strip temperature control system

ーにより急速冷却を行っている。

3.4 オンライン品質保証機器

製品コイル全長にわたる品質保証を行うためには、オンラインの分析装置が必要である。当ラインでは、合金めっき付着量およびCr付着量測定用のオンライン蛍光X線付着量計と、樹脂付着量測定用のオンライン赤外線膜厚計を設置している。

3.4.1 オンライン蛍光X線付着量計

従来より、当ラインではオンライン蛍光X線付着量計を用い、合金めっき付着量の測定を行ってきた。Fig. 9に蛍光X線付着量計の概要を示すが、本装置を用いて、合金めっき付着量とCr付着量の測定を連続的に実施し、製品コイル全長にわたって品質保証を行うことができる。

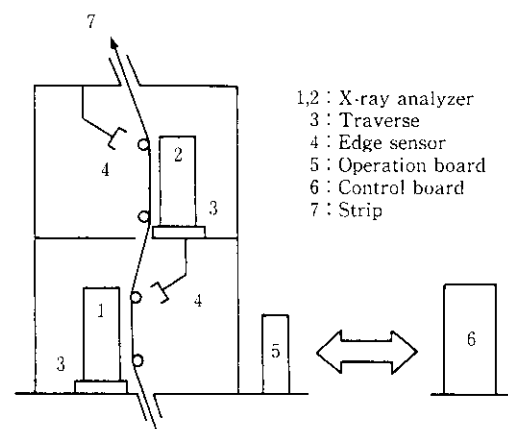


Fig. 9 Outlook of on-line X-ray analyzing system

3.4.2 オンライン赤外線膜厚計

オンラインでの樹脂付着量測定のために、赤外線式の樹脂付着量測定装置の開発を行った。Fig. 10にオンライン赤外線膜厚計の概要を示すが、その測定原理は樹脂皮膜中のC-H伸縮振動に起因する赤外線の吸収ピークを測定し、吸収量を樹脂付着量に換算するものである。本装置はその測定精度を上げるために、特殊なフィルターを使用している。

3.5 計算機設備

Fig. 11に当ラインの計算機システムの概要を示す。今回の塗装設備増強にあわせて、電気DDC (CP-3500) と計装DDC (TDSC)

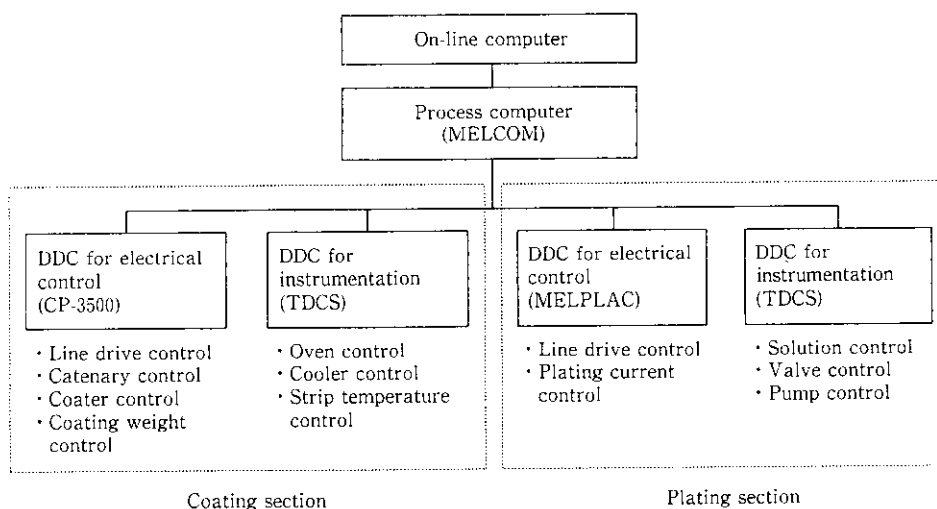


Fig. 11 Computer control system

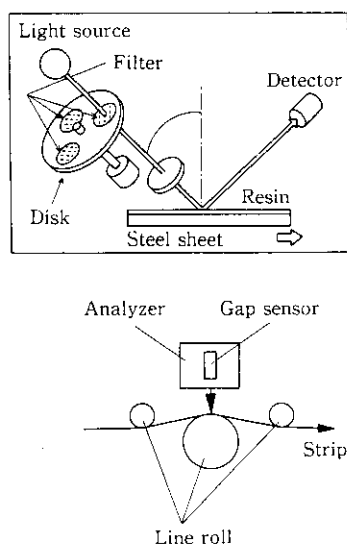


Fig. 10 Outlook of on-line IR analyzing system

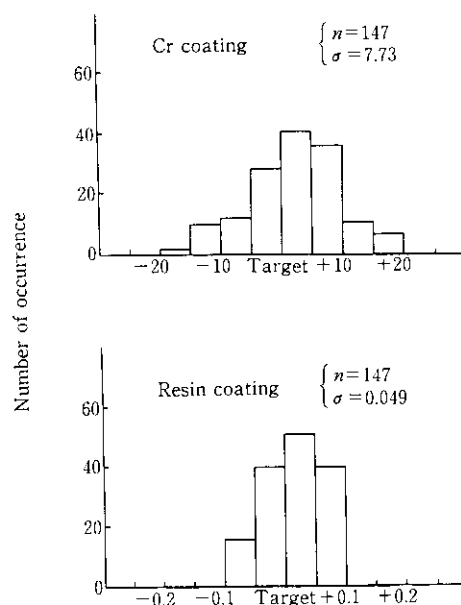
を増設した。電気 DDC (direct digital control for electrical control) では、塗装設備部でのライン運転制御、カタナリー制御、コーターロール周速制御、コーターロール間圧力制御、塗料付着量制御を行い、計装 DDC (direct digital control for instrumentation) では、オープン制御、クーラー制御、板温制御を行う。

これらの制御は、すべて CRT によるオペレーションシステムを採用しており、大幅な省力化・合理化を実現することができた。

4 操業状況

4.1 生産状況

1988 年 10 月よりインライン工程生産を開始したプラスコート KIV は、早くもその半年後の 1989 年 4 月には月産 8 千トン記録し、現在においては月産 1 万 5 千トン強の生産を行うまでに至っており、短期間で量産化技術を確立した。



Distribution of coating weight (g/m²)

Fig. 12 Distribution of Cr and resin coating weight

4.2 品質状況

4.2.1 塗料付着量

Fig. 12 に製品の Cr および樹脂付着量の度数分布を示す。Cr 付着量は目標値の $\pm 20 \text{ mg/m}^2$ 以内、樹脂付着量は $\pm 0.1 \text{ g/m}^2$ 以内と、塗料付着量制御は非常に良好である。また Fig. 13 に示したものは、ライン速度変更時の Cr および樹脂付着量の変化であるが、ライン速度を 120 m/min から 80 m/min 、 80 m/min から 45 m/min に変更しても、Cr 付着量変動が $\pm 10 \text{ mg/m}^2$ 以内、樹脂付着量変動が $\pm 0.05 \text{ g/m}^2$ 以内であり、技術的課題であったライン速度変更時の塗料付着量制御も良好である。

4.2.2 塗料焼付温度

Fig. 14 に製品の塗料焼付温度の度数分布を示す。No. 1 オープ

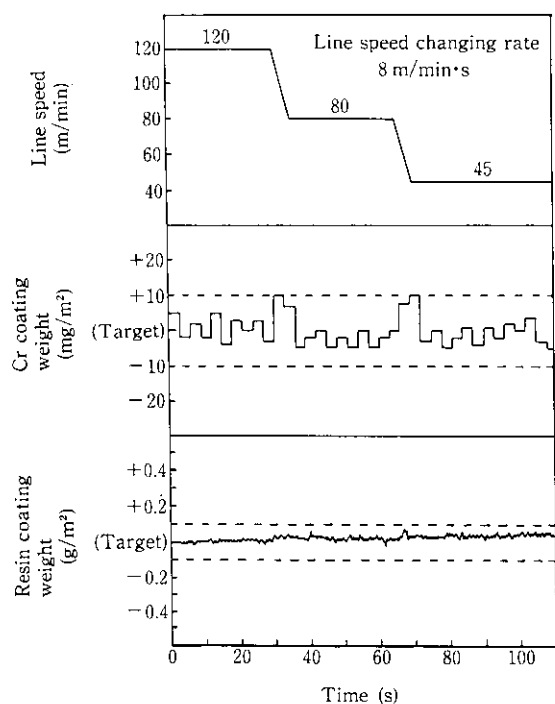


Fig. 13 Fluctuation of Cr and resin coating weight when line speed changes

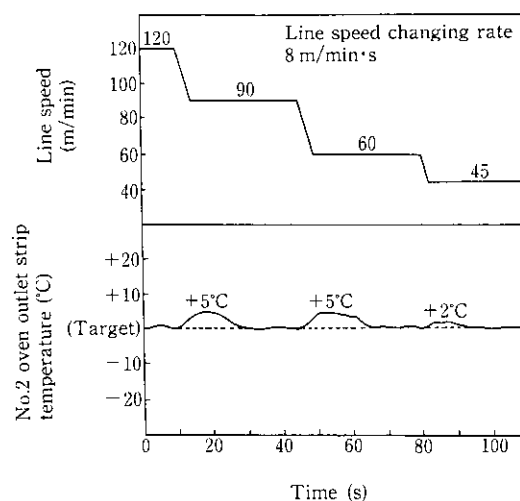


Fig. 15 Fluctuation of No. 2 oven outlet strip temperature when line speed changes

ンおよび No. 2 オープンともに板温制御状況は良好で、目標値の $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内に制御することができている。また Fig. 15 に示したのは、ライン速度変更時の No. 2 オープン出側板温の変化であるが、板温制御の応答速度は良好で、目標値 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内に制御することができている。

5 結 言

本報では、電気亜鉛めっきラインに増強したインライン塗装設備の概要と操業状況について紹介した。

- (1) 1988 年 10 月よりインライン工程生産を開始したプラスコート KIV は、半年後に月産 8 千トン記録し、現在においては月産 1 万 5 千トンを生産するに至り、短期間で量産化技術確立した。
- (2) プラスコート KIV の品質状況も良好で、Cr 付着量は目標値 $\pm 20 \text{ mg/m}^2$ 以内、樹脂付着量も目標値 $\pm 0.1 \text{ g/m}^2$ 以内、塗料焼付温度も目標値 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内に制御することができている。
- (3) 技術的課題であったライン速度変更時の塗料付着量制御および板温制御も良好で、Cr 付着量は目標値 $\pm 10 \text{ mg/m}^2$ 以内、樹脂付着量も目標値 $\pm 0.05 \text{ g/m}^2$ 以内、塗料焼付温度も目標値 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内に制御することができた。

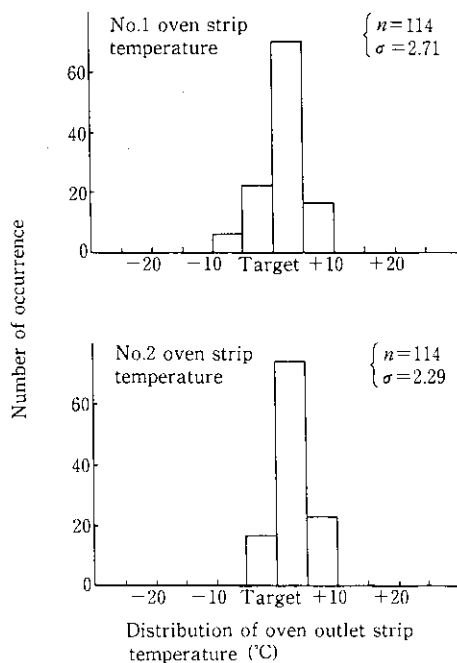


Fig. 14 Distribution of baking temperature

参 考 文 献

- 1) 松田 明, 吉原敬久, 善本 毅, 安永久雄, 本庄 徹: 川崎製鉄技報, **16** (1984) 4, 328
- 2) 大和康二, 市田敏郎, 入江敏夫: 川崎製鉄技報, **21** (1989) 3, 216
- 3) 薦田 章, 広岡靖博, 宮地一明, 吉原敬久, 松田 明, 安永久雄, 木村 肇: 川崎製鉄技報, **15** (1983) 1, 1
- 4) 山本 公, 谷本 亘, 横石規子, 松村泰治, 牧野義和, 安部忠廣: 川崎製鉄技報, **21** (1981) 2, 107