

# NKK福山第2連続亜鉛めっきライン設備における 合金化溶融亜鉛めっき鋼板製造技術の開発

Development of Galvannealed Steel Sheet Producing Technology  
in Fukuyama No.2 Continuous Galvanizing Line

NKK表面処理技術開発部  
NKK総合材料技術研究所  
NKK福山製鉄所

庄司政浩  
稲垣淳一・櫻井理孝  
田口 昇・中村秋彦・岩淵正洋\*

## 1. 緒言

福山No.2CGLは合金化溶融亜鉛めっき鋼板の需要増加に対応するため、1990年4月に稼働を始めた<sup>1)</sup>。当ラインは品質要求が多様化・高度化する自動車車体向商品製造を目的とし、数多くの新設備・新技術を採用している。

特に、合金化溶融亜鉛めっき鋼板の品質に大きく影響する被膜の制御及び安定製造に向けて、誘導加熱方式合金化炉、オンライン合金化度計を導入し、めっき品質・性能の向上に大きく寄与している。

本報では、この合金化プロセスにおける設備技術と製造技術について報告する。

## 2. CGLの合金化プロセスにおける設備技術

### 2.1 誘導加熱方式合金化炉の設備と特徴

合金化溶融亜鉛めっき鋼板が自動車車体材料として使用されるようになり、プレス成形時の被膜の耐剥離性(耐パウダリング性)、プレス工具とのすべり性等種々の品質特性が要求されるようになってきた。従来、合金化溶融亜鉛めっき被膜の特性は、被膜中に拡散したFeの含有率のみによって整理され、品質との対応も比較的とれていた。しかしながら、より厳密なコントロールが要求されるようになると、被膜を構成する金属間化合物の集合体として被膜構造を最適化する必要が生じてきた。

福山No.2CGLでは、被膜の制御及び安定製造を目的に、従来のガス加熱に比べて、応答性、再現性にすぐれる誘導加熱方式合金化炉(I.H.方式合金化炉)を採用し、リボンヒーターを用いた保熱帯を設置した<sup>2)</sup>。

Table-1にNo.2CGLの合金化処理設備の設備仕様を、Table-2に、ガス炉と比較してのI.H.方式合金化炉の特徴を示す。

I.H.方式合金化炉を採用することにより、ストリップ表面のEmissivityやストリップ形状にほとんど影響されずに、幅方向均一加熱ができ、細かな被膜制御が可能となった。

Table-1 GALVANNEALING FURNACE SPECIFICATION

HEATING COIL		NO. OF UNIT	SIX
		RATED CAPACITY	1000kw/2 coils
		RATED VOLTAGE	1635v
		OPENING WIDTH	190 H x 2220 W (mm)
		COIL LENGTH	915mm
No.1 HOLDING ZONE		ZONE LENGTH	5.8m
			RIBBON HEATER 120kw CARRIAGE SHIFTING TYPE
No.2 HOLDING ZONE		ZONE LENGTH	7.2m
			RIBBON HEATER 120kw FIXED TYPE
HOLDING AND COOLING ZONE	HOLDING AREA	ZONE LENGTH	3.4m
			RIBBON HEATER 60kw FIXED TYPE
	COOLING AREA	ZONE LENGTH	3.4m
			AIR JET COOLING FIXED TYPE

平成6年4月4日受付 (Received on Apr. 4, 1994)

\*Masahiro Iwabuchi (Fukuyama Works, NKK Corporation, 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

## 2.2 オンライン合金化度計の概要と特徴

合金化溶解亜鉛めっき鋼板の耐パウダリング性、プレス成形性等種々の品質性能は、被膜中Fe%及び付着量に大きく依存しているため、品質管理、安定製造のために、これらを測定することは、非常に重要である。

福山No. 2CGLでは、被膜中Fe%及び付着量をオンラインで測定することができるオンライン合金化度計を開発設置した<sup>3)</sup>。

Fig. 1にオンライン合金化度計の装置構成を、Table-3に測定原理を示す。

オンライン合金化度計を設置することにより、溶解亜鉛めっき鋼板の合金化度と、付着量をオンラインで、高速かつ精度良く測定し、細かな制御ができるようになった。その結果、需要ニーズに合致した商品を再現性よく、安定的に製造することが可能となった。

## 3. 合金化溶解亜鉛めっき鋼板の製造技術

### 3.1 被膜タイプと品質性能

合金化溶解亜鉛めっき被膜の主たる構成相は $\delta$ 相であるが、FeとZnの間には、その他に、 $\epsilon$ 相、 $\Gamma_1$ 相、 $\Gamma_2$ 相なる金属間化合物が報告されている。

$\epsilon$ 相は、軟質であり、 $\epsilon$ 相が被膜中に含まれると、被膜の耐パウダリング性は改善される。しかしながら、 $\epsilon$ 相は、その融点が比較的低いため、工具との間の微視的な焼き付きが起りやすくなり、摩擦係数が上昇する。

一方、 $\Gamma_2$ 相は硬質であり、 $\Gamma_2$ 相が成長しその厚みが厚くなるにつれて、耐パウダリング性が劣化する。さらに、 $\Gamma_1$ 相と $\Gamma_2$ 相が存在する方が、 $\Gamma_2$ 相のみの場合よりも、若干耐パウダリング性が良いことから、 $\Gamma_1$ 相と $\Gamma_2$ 相の存在比率の影響も考慮する必要がある。

以上の様に、同程度の被膜中Fe%でも合金化溶解亜鉛めっき鋼板の被膜構造、特に $\epsilon$ 相、 $\Gamma_1$ 相及び $\Gamma_2$ 相の存在状態はプレス成形性に多大な影響をおよぼす。

Table-2 ADVANTAGE OF I. H. TYPE (vs GAS FIRE TYPE)

ITEM		GAS FIRE TYPE	INDUCTION TYPE
FUNCTIONS	CAPABILITY OF ALLOYING	CAPABLE	CAPABLE
	RESPONSE	SLOW DUE TO THERMAL INERTIA OF FURNACE (UP TO 50°C/sec)	VERY QUICK (MORE THAN 250°C/sec)
	ACCURACY	INFERIOR REPRODUCIBILITY (WITHIN $\pm 5\%$ )	CAPABLE OF PRECISE CONTROL (WITHIN $\pm 5\%$ )
	OPERABILITY	COMPLEX	SIMPLE
QUALITY OF PRODUCT	UNIFORMITY	<ul style="list-style-type: none"> <li>FLUCTUATION BY GAS FIRE</li> <li>EFFECT BY GAS DRAFT</li> <li>EFFECT OF STRIP VIBRATION</li> <li>EFFECT OF RADIATION RATE (Fe% SIGMA=1.5%)</li> </ul>	UNIFORMITY IS NOT INFLUENCED BY VIBRATION OF STRIP AND GAS DRAFT ETC. (Fe% SIGMA=1.0%)
	WHITE SPOT NOT ALLOYING	RATE OF OCCURRENCE 3-5%	RATE OF OCCURRENCE UNDER 1%
	FACILITY	SIZE	LARGE SIZE
	INITIAL COST		MORE EXPENSIVE THAN GAS FIRE TYPE BY 10-20%

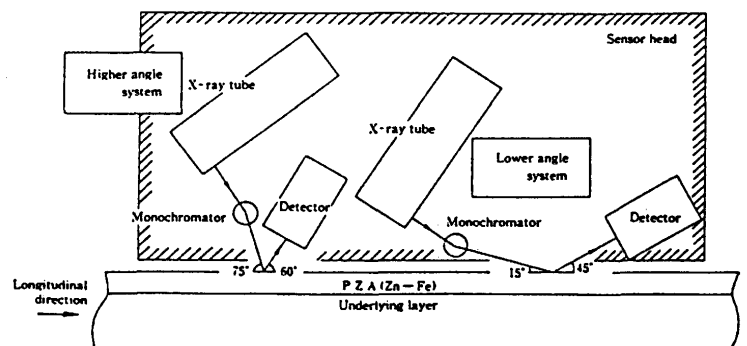


Fig. 1 SCHEMATIC DRAWING OF SENSOR HEAD

Table-3 MEASURING PRINCIPLE OF THE ALLOY SENSOR

ITEM	METHOD	PURPOSE, CONTENTS
OPTICAL SYSTEM	DOUBLE ANGLE SYSTEM	APPLY DIFFERENT 2 OPTICAL SYSTEM IN ORDER TO MEASURE COATING WEIGHT AND Fe CONTENT AT THE SAME TIME
OPERATION SYSTEM	FUNDAMENTAL PARAMETER SYSTEM (F. P. SYSTEM)	HIGH ACCURACY AND EASY TO MAKE CALIBRATION CURVE
	USE X-RAY INTENSITY RATIO BETWEEN Fe AND Zn	MINIMIZE THE ERROR FACTOR ex. STATISTIC DEVIATION, etc.
X-RAY	MONOCHROMATIC INCIDENT X-RAY	CUT OFF X-RAY NOISE TO GET HIGH ACCURACY
DETECTOR	ROOM TEMPERATURE TYPE	SIMPLIFY THE DEVICE SYSTEM

3.2 合金化被膜制御

鋼板が微量のAlを含有する亜鉛浴中に浸漬されると、浴中Alと鋼板表面が選択的に反応して、Fe-Al系の合金相が形成される。そして、所定の抑制期間の後Fe-Zn合金化反応が引き起こされる。Fe-Zn合金化反応について、恒温合金化処理により、合金相成長過程の検討を行った結果をFig. 2に示す。

すなわち、723Kにおいては、合金化の進行と共に、 $\zeta$ 結晶が発生・成長する。 $\zeta$ 結晶は、めっき基板の表面フェライト粒上に形成されたFe-Al系合金相と浴との界面で発生し、Fe-Al系合金相を通してのFeの補給によって単相成長する<sup>4)</sup>。続いてOutburst反応が起こる。Outburst組織は、めっき基板の表面フェライト結晶粒界部で発生し、被膜-鋼板界面に沿って急激に発達するとともに、成長した $\zeta$ 結晶を被膜表面に押し上げ、最終的には、鋼板界面から、 $\Gamma$ 相( $\Gamma_1$ 相)、 $\delta_1$ 相、 $\zeta$ 相なる被膜が形成される。

一方、773Kでは、 $\zeta$ 相は形成されず、 $\delta_1$ 結晶の発生、成長および、Outburst反応により、 $\delta_1$ 相、 $\Gamma$ 相、( $\Gamma_1$ 相)からなる被膜が形成される。

このように、合金化過程における $\zeta$ 相の出現には、温度依存性が見られるが、これらは、 $\zeta$ 相の包晶温度が773K付近に存在するためである。

一方、 $\Gamma_1$ 相は、包析温度823K以下の温度域でOutburst反応により形成された $\Gamma$ 相と $\delta_1$ 相の界面に生成する<sup>5)</sup>。したがって、Outburst反応の発生タイミングを制御し、過度の合金化反応を防止することにより、 $\Gamma$ 相、 $\Gamma_1$ 相の量を最小限にすることができる。

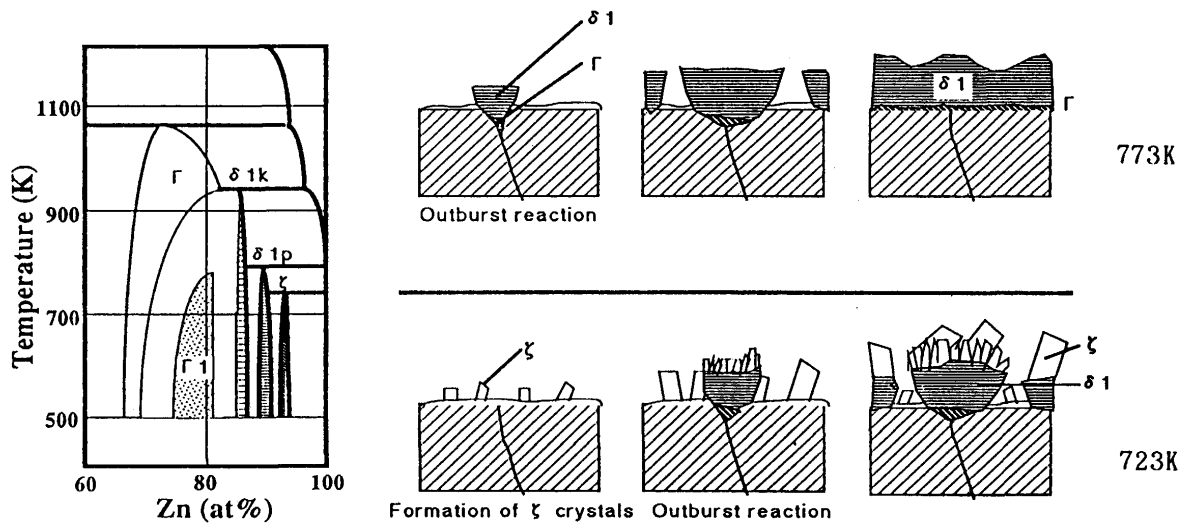


Fig. 2 EFFECT OF ALLOYING TEMPERATURE ON THE FORMATION OF Fe-Zn INTERMETALLIC COMPOUNDS

3.3 実ラインへの適用

実際のCGLプロセスでは、浴中および合金化炉内(加熱、保持、冷却過程)で起こる合金化反応により、最終的な被膜構造が決定される。したがって、浴中Al濃度や浴温(侵入板温)を適正化し、被膜付着量に応じて合金化炉内板温ヒートサイクルを厳密にコントロールすることにより合金化溶解亜鉛めっき鋼板の被膜中Fe%と被膜構造を制御することが可能となる。

福山No. 2CGLでは、最新の被膜付着量制御技術により、均一な被膜付着量を実現するとともに、I. H. 方式合金化炉と、オンライン合金化度計を設置することにより、合金化被膜の細かな制御を安定して行うことが可能となった。その制御システムをFig. 3に示す。

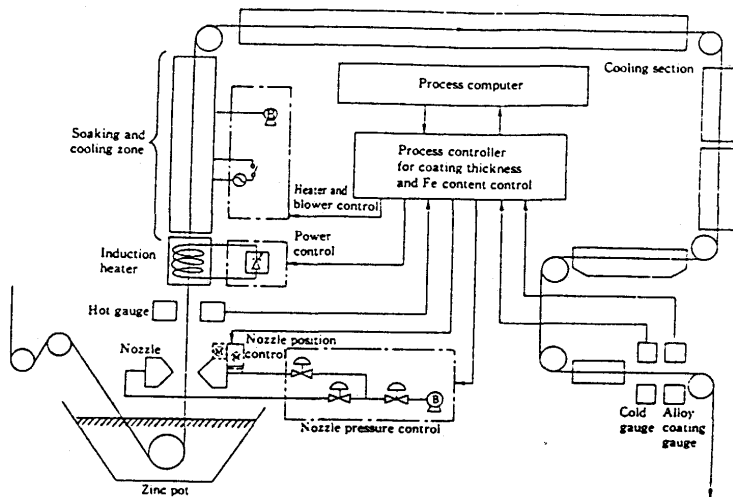


Fig. 3 COATING WEIGHT AND GALVANNEAL CONTROL SYSTEM

#### 4. 製造実績

福山No. 2CGLで製造した合金化溶解亜鉛めっき鋼板の被膜中Fe含有量および被膜付着量のヒストグラムをFig. 4に、被膜中Fe含有量および被膜付着量の幅方向分布例をFig. 5に示す。

#### 5. 結言

福山No. 2CGLでは、誘導加熱方式合金化加熱炉、オンライン合金化度計を設置することにより、合金化溶解亜鉛めっき鋼板の品質に大きく影響する被膜の細かな制御が可能となり、高品質の合金化溶解亜鉛めっき鋼板を安定して製造している。

この技術は、福山No. 3CGLへも適用され、同様に、高品質合金化溶解亜鉛めっき鋼板製造に寄与している。今後は、さらなる改善を目指し、合金化制御自動化を推進していく。

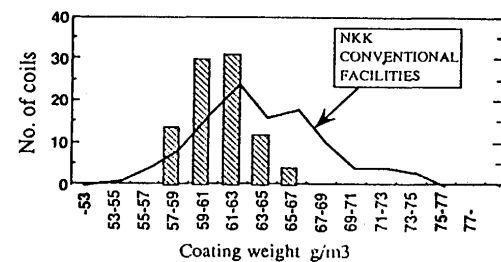
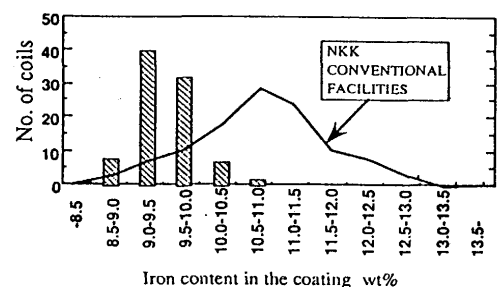


Fig. 4 HISTOGRAM OF IRON CONTENT AND COATING WEIGHT

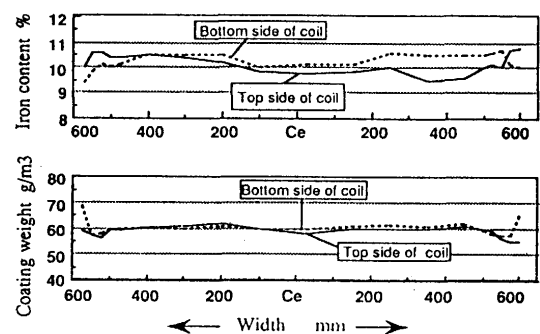


Fig. 5 COATING WEIGHT AND IRON CONTENT

#### 6. 参考文献

- 1) 高木圭治、中村秋彦、田口 昇、庄司政浩、本田昭芳、栗原正典：NKK技報No. 135(1991), P34～P42
- 2) NKK(私信) 1992年 2月
- 3) 田辺英也、今井清隆、加藤宏晴、本田昭芳、藤田 修、田口 昇：NKK技報No. 135(1991), P43～P48
- 4) 稲垣淳一、櫻井理孝、渡辺豊文：鉄と鋼、79(1993)、P1273
- 5) 櫻井理孝、稲垣淳一、渡辺豊文：日本金属学会秋期大会シンポジウム講演概要 S5・15(1993)、P99