



Fig. 6.7. Schematic diagram of electrogalvanizing line. (*Kawasaki Steel Giho*, 23 (1991), No.4, p. 316)

Table 6.1. Development of dry coating line for steel sheet.

Start of operating (y)	Type of production	Company location	Coating	Thickness of strip (mm)	Strip width (mm)	Line speed (m/min)	Process
1985	Commercial	Nisshin Steel Sakai	Zn	0.3-1.2	760-1,250	max 200	Vapor deposition Air-to-Air (coil)
1987	Pilot	Nippon Steel Hikari	TiN, TiC, Cr SiO <sub>x</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1-0.5	max 370	0.01-0.4	Ion plating, sputtering, P-CVD, Batch type (coil)
1989	Pilot	Kawasaki Steel Chiba	Ti TiN	0.1-0.5	max 500	—	Ion plating Air-to-Air (coil)
1991	Pilot	Kobe Steel Kakogawa	Al-Cr Zn-alloy	0.3-1.2	max 780	max 30	Vapor deposition Air-to-Air (coil)
1992	Pilot	NKK Kawasaki	Al/Ti, Cr ceramics	0.2-1.0	max 500	max 10	Ion plating Batch type (coil)
1993	Commercial	Nisshin Steel Kanzaki	TiN, TiAlN TiAlCN	0.5-3.0	600-1,250	(2,000-4,000) <sup>1)</sup>	Magnetron sputtering Batch type (sheet)
1993	Commercial	NKK Kawasaki	Si	0.1-0.3	max 600	max 32	CVD Air-to-Air (coil)

<sup>1)</sup> Sheet length (mm).

3,000~4,000 時間の耐用が確認されている。

一方、ぶりきの製造分野でも不溶性アノードを用いためっき方式が拡大普及した。本方式では、金属 Sn 粒とめっき液中溶解酸素との反応によってめっき液への Sn イオン補給が行われ、不溶性アノードとしては Ti 基体に Pt めっきしたものが使用されている。ぶりきの品質の点では、エッジマスクとの併用によって、めっき付着量の幅方向の均一性が格段に改善されている。また、クローズドシステムであることから、廃液量が少なく、環境問題の観点でも望ましいシステムとなっている。

## (2) インラインコーティング

近年、家電・業務用機器の分野を中心に、環境対策、工程省略の観点からさまざまな機能を備えた化成処理鋼板が求められており、電気めっき後のインライン化成・塗装設備の充実化が図られている。さらに自動車分野においても Zn-Ni 合金めっき鋼板をベースとする有機複合被覆鋼板が合金化溶解亜鉛めっき鋼板と並ぶ主力防錆鋼板の一つになり、電気めっきラインで同鋼板を一貫製造するための塗装設備増強（または既存の塗装ラインにめっき設備の増強）も相次いで実施された (Fig. 6.7)。モデル式を用いた塗膜厚制御、BH 性

を確保するための高精度板温制御、各種のオンライン品質保証機器によって品質の安定化を実現した。環境対策として、塗膜焼き付け時に発生するガスを無害化するために、脱臭設備の設置なども行われている。

## (3) 塗装ライン、一貫システム

一方、多目的塗装ラインや、高級カラー塗装ラインと言った高精度新鋭塗装ラインの建設も相次いだ。これらの塗装ラインではコーター室のクリーンルーム化などの徹底した防塵対策が図られたほか、小ロット多品種製造を効率よくかつ高精度で行うためにライン内プロセスの自動化が図られている。また焼鈍・電気めっき・塗装の個々のライン間の物流を一貫管理、省力化を図る無人コイル搬送システムも実用化されている。塗膜品質の安定化を目的とした新規技術の検討も行われており、ローピング抑制のためのカーテンフローコーターや、高精度の温度制御を可能にする誘導加熱炉が新たに採用された。

## 6.2.3 気相めっき

熔融や電気めっきに対し、めっきメタル成分に制約がなく、しかも複層化や合金化も容易な気相めっきは、新機能

めっき鋼板の開発の可能性を秘めたプロセスとして注目されてきた。従来、工具や半導体分野あるいはプラスチックなどの表面処理として実用化されてきた気相めっきは、最近10年間で大面積基板に高速および連続蒸着するという鉄鋼の表面処理技術として急速に発展してきた。Table 6.1 に最近開発された気相めっきの営業ラインおよびパイロットラインの概要を示す。気相めっきが溶融、電気につぐ第三のプロセスとして成り立つかどうかの可能性は、溶融や電気めっきにない新機能めっき鋼板の開発、および溶融や電気めっきに対抗し得る経済性を有するライン設備の開発がポイントとなるであろう。本項では、営業ラインについてその技術的特徴と今後の開発動向について概説する。

### (1) 連続真空蒸着亜鉛めっきライン

真空蒸着法で鋼板に連続して亜鉛をめっきする連続真空蒸着亜鉛めっきラインが1985年に実用化されている。本ラインは、既存の溶融亜鉛めっきラインに付設されており、ガス還元焼鈍炉での前処理および蒸着後の後工程を兼用した構成となっている。また、蒸着室を2室有しており、片面めっきや差厚めっきが容易に製造でき、電気めっき並の付着量の均一性や美しい外観を有している。本設備では、亜鉛が約500℃の比較的低温で約2 Torrの高い蒸気圧を有することを最大限に利用し、0.1 Torrレベルの真空下での高速蒸着技術および広幅鋼板での高性能付着量制御技術を確立している。抵抗加熱ヒーターにより蒸発した亜鉛蒸気は、約500℃に保持されたダクト内で粘性流的に高速移動し、効率よく蒸着される。付着量は、ヒーター電力とシャッター開度の制御で管理されており、付着量変更の応答性に優れている。本技術の今後の課題としては、ラインのコンパクト化、メンテナ

ンス性の改善、合金めっきによる新機能発現の検討などが考えられる。

### (2) スパッタリングによるセラミックス蒸着ライン

ステンレス建材の高級意匠ニーズを背景に、1993年に広幅鋼板へのセラミックス蒸着ラインが実用化されている。セラミックス皮膜は塗装や化学発色に比べて、金属特有の光沢と鮮やかで明るい色調を有し耐摩耗性に優れている。本ラインはステンレス基板の表面仕上げの多様化に対応した切板専用ラインであり、移送ローラーで往復する鋼板に平行にターゲットが配置されている。また、高速成膜と合金成分の蒸着を可能とするために、マグネトロンスパッタリング法が採用されている。色調の安定化のために、反応ガスの流量制御および分圧制御が行われている。今後の技術課題として、成膜速度の高速化や高効率化などによる生産性、さらにセラミックス膜の多様化による用途拡大が望まれる。

### (3) CVDによる連続浸珪ライン

圧延が困難な高珪素含有(6.5 mass%)の電磁鋼板の要求を背景に、1993年に珪素を熱CVD法で蒸着した後、連続的に鋼板に拡散浸透させる連続浸珪ライン(SEL)が実用化されている。製鉄・製鋼工程で珪素量を制御する従来法に比べ、優れた磁気特性を有する高濃度珪素含有の電磁鋼板の製造が可能である。本ラインはコイル対応であり、1,200℃の高温下でCVD反応炉内を水平通板させる技術を確立している。鋼板の上下に配置されたスリットノズルから直接吹き付ける反応ガスの幅方向の流量分布を制御し、幅方向の珪素濃度の均一性を得ている。本ラインは限定された用途への気相めっきの適用であり、これまでとは異なった観点からの気相めっきの技術展開を示唆する好例である。

## 6.3 新製品

### 6.3.1. 自動車用鋼板

北米や北欧地域では冬季の路面凍結防止のために融雪塩が散布され、自動車車体は厳しい腐食環境に曝されることから、「10年孔あき腐食無し、5年外面錆無し」などの車両防錆品質の確保を目標として表面処理鋼板の使用割合が昭和50年代後半から急激に増加してきた。近年では自動車のホワイトボディに用いられる鋼板に占める表面処理鋼板の使用比率は50%以上に達している。現在我が国で使用されている自動車用表面処理鋼板は溶融めっき系と電気めっき系に大別され、合金化溶融亜鉛めっき鋼板と電気Zn-Ni合金めっきに有機複合被覆を施した有機複合被覆鋼板が主流になっている。

#### (1) 2層型合金化溶融亜鉛めっき鋼板

亜鉛の優れた犠牲防食性と腐食生成物の保護作用を比較的安価に利用することができる溶融亜鉛めっきは車体外板の内

面や内板の孔あき腐食対策として有利に適用できる。一方、外板の外側は塗装後の塗膜鮮映性や溶接性を確保する意味で亜鉛めっきよりも鋼板面の方が好ましい。このような観点から、車体外板用にはマスキング法、研削法、ロールコート法、あるいは電磁ポンプ法などによって製造される片面溶融亜鉛めっき鋼板が多用され、内板や足廻りの構造部材には両面めっき鋼板が使われた。

亜鉛めっき鋼板は塗装後に塩化物を含む湿潤環境下で塗膜ふくれ(プリスター)を発生しやすい問題があり、さらに、めっき層の融点が低いためにめっき付着量が大きくなると連続溶接性が不良になる欠点があった。このような観点から、国内では合金化溶融亜鉛めっき鋼板が自動車用表面処理鋼板として用いられるようになった。溶融亜鉛めっき後の加熱処理によって鉄をめっき層中に拡散させた合金化溶融亜鉛めっきは、腐食電位が亜鉛よりも貴になり、鋼板のそれに近づくために犠牲防食効果は減少し、塗膜プリスターの発生は大幅