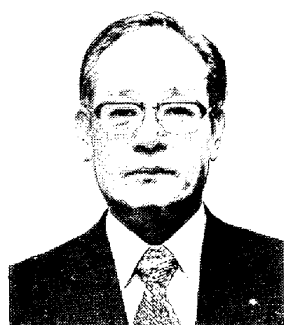


特別講演

連続式ストリップ塗装焼付ラインの最近の技術

寺坂善保*



Continuous Coil Coating Line—The State of the Art

Yoshiyasu TERASAKA

1. ま え が き

着色亜鉛鉄板が我が国において初めて作られたのは1954年である。それまでは亜鉛鉄板を屋根、羽目などに板金加工した後、常乾型の塗料をはけ塗りし、天日乾燥をしていたのに対し、切板にコートで塗装し、焼付炉で乾燥するという方式で着色亜鉛鉄板が生産されるようになった。その結果、従来のものに比べて美観性と耐久性に一段の進歩を与えた。

1964年、日新製鋼(株)、イゲタ鋼板(株)、東海鋼業(株)が相次いで連続式ストリップ塗装焼付ラインを設置したことにより、着色亜鉛鉄板の生産量は飛躍的に増大し、品質の向上と耐久性の改善が相まって、屋根・外壁などの建築外装材のみならず内壁・家具などの内装材にも幅広く使用されるようになった。

その後、1967年には日新製鋼(株)、大洋製鋼(株)が2コート2ベークラインを設置し、一段と製品品質の向上が得られた。現在はすべてのラインが2コート2ベーク方式を採用している。

1954年から1964年までの10年間における着色亜鉛鉄板の生産量は年間約10万tであったが、1964年以降連続式ストリップ塗装焼付ラインが設置されてから生産量は順次増大し、1974年には約120万tと最高記録に達した。

一方、米国の場合は1955年にU. S. Steel Corp.が本格的な連続式ストリップ塗装焼付ラインを設置しており、プレコーティングに関して我々の先輩格である。ラ

インの設置基数も狭幅のラインまで入れると、1980年現在約200基、生産量も年間約350万tといわれているが、我が国との違いはこのうち約25%がアルミに対する塗装であり、また30%が自動車用ジंकロメタル製品という点である。

0.27mm厚の亜鉛鉄板に対する塗装技術から始まった我が国の塗装焼付ラインは、米国とは違った独自の技術開発から生まれたものである。

我が国の塗装焼付ラインの技術は切板による塗装焼付時代を第1期とすると、その後の連続ストリップ焼付時代は第2期であり、さらに今日は第3期技術革新の時代に入っている。

すなわち、石油ショック以降の省エネルギーに対応して、イナーターエアシステムによる焼付炉と前処理設備とをトータルシステムとして組み合わせた熱量の有効利用をしている。さらに、生産性向上のための高速化およびコンピュータ制御による省力化など技術革新している。

最近の連続式ストリップ塗装焼付ラインの構成例を図1に示す。

2. 塗装焼付ラインの概要

2.1 入側設備

写真1は塗装焼付ライン入側設備の写真である。コイルを連続的に送り出すための2台のペイオフリール、ダブルカットシャー、ジョイナー、アキュムレータが入側設備の主な機械である。

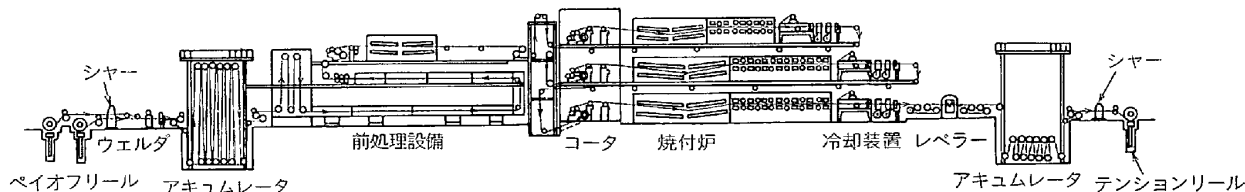


図1 連続式ストリップ塗装・焼付ラインの構成

昭和56年11月1日日本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演

* 中外炉工業(株)取締役技術本部設計三部長、兼産業機械設計部長 (Chugai Ro Kogyo Co., Ltd., 2-4-7 Kyomachibori Nishi-ku Osaka 550)

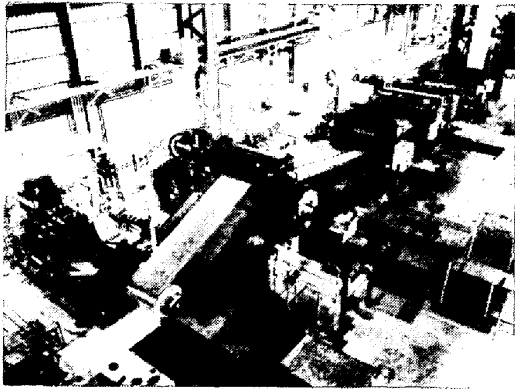


写真1 ライン入側設備

表1 亜鉛めつき鋼板に対するプレスジョイナー、溶接機の特長比較

	プレスジョイナー	溶 接 機
接合能力	1列打...2.5mmT×2.5mmT 2列打...1.3mmT×1.3mmT	特に制限なし
接合強度	素材強度の 1列打...6% 2列打...12%	素材強度と同等
接合時間	6~10 s	30~60 s
保守点検	比較的容易 切屑のブラッシング	薄板の場合溶接条件の調整 筒歯が狭い 電極のドレッシング

コイルの装着、送り出し、ジョイントなどすべて自動操作されるが、塗装焼付ラインで大切なことはストリップのつなぎ方式である。当初は溶接機を使用していたが、薄い亜鉛鉄板は溶接性が悪く、かつ亜鉛が溶融付着することによる電極の汚れが溶接不良を起し、メンテナンスに難がありライン中におけるストリップの破断となることがある。このことから一時ステッチャーを使用したことがあったが、ステッチャーで接続する場合、20s以上の接続時間を必要とし、保守に時間を要するため、最近ではプレスジョイナーがよく使用されている。この場合ラインスピードが速くなるとジョイント部が前処理溶液のキャリーオーバーの原因となり、溶液が汚染することがある。最近の高速ラインでは、厚板を溶接機、薄板およびアルミをプレスジョイナーと使い分けている場合がある。

表1は各接続機の特長比較を示す。

アキュムレータは最高ラインスピードにおいて、約1minから1.5minストリップを貯蔵している。アキュムレータにおけるストリップの張力変動は、焼付炉内のストリップの張力に変動を与えるので、この変動を極小にするため、アキュムレータの張力制御は油圧または直流電動機方式が採用される。広範囲な張力制御には直流電動方式が優れている。

2.2 前処理設備

亜鉛鉄板表面における前処理皮膜の均一性は塗膜の密着性能と耐食性能に対して非常に重要である。設備に要

求される課題は必要な処理帯の構成、薬液の自動濃度管理、温度制御、薬液の汚染防止であり、保守上はスラッジ対策である。

前処理設備の主要工程であるリン酸塩処理に使用する溶液の主成分は NaH_2PO_4 , H_3PO_4 , $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ であるといわれている。最近では微細な結晶をち密に、しかも薄膜を一定量付着させることが加工性能を大幅に向上させるといわれていることから、ラインスピードのいかんによらず一定処理時間になるようエクスポージャーコントロールすることが行われている。

最近の高速ラインではリン酸塩処理帯は5ゾーンに分けられ、ラインスピードに対応して処理時間が調整できるようになっている。

処理方式としては、スプレイまたはディップ方式があるが、保守上および高速処理性能上からディップ方式が好まれるようである。

ディップ方式におけるエクスポージャーコントロールとして、ロールディップまたはロールシール方法が行われるが、我々は最近開発したハイドロフロータ方式が機構的には優れていると考える。

リン酸塩処理の場合、スラッジの発生に対して、局部加熱を避け、フィルターをくふうするなどいろいろ対策されているが、特に熱交換器表面のスラッジ発生防止対策として温水による間接加熱方式が行われている。

ジクロメタル塗布の場合、原板の表面処理が重要である。着色亜鉛鉄板用前処理以外に表2のような処理構成が行われている。

2.3 コータ

コータは塗装焼付設備の中で最も重要な機械の一つである。いうまでもなく、コータは必要な塗膜厚が均一に塗布されねばならない。

ラインスピードが高速化して生産量が增大する反面、多品種、小ロットのニーズに適応する機能を有する必要がある。

一般塗料に対してはプレッシャーミータリング方式に

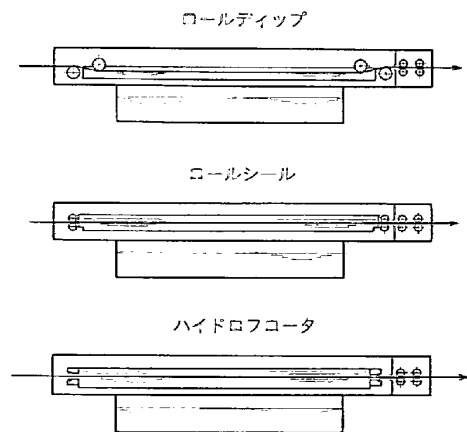


図2 化成処理帯のシール方式

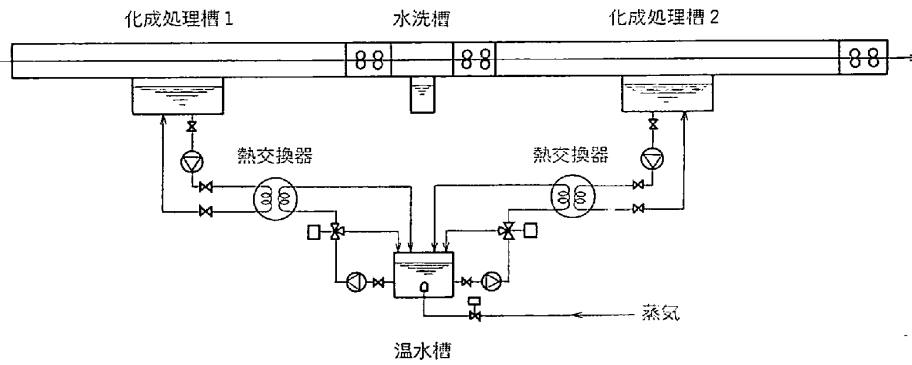


図3 前処理液の加熱方式

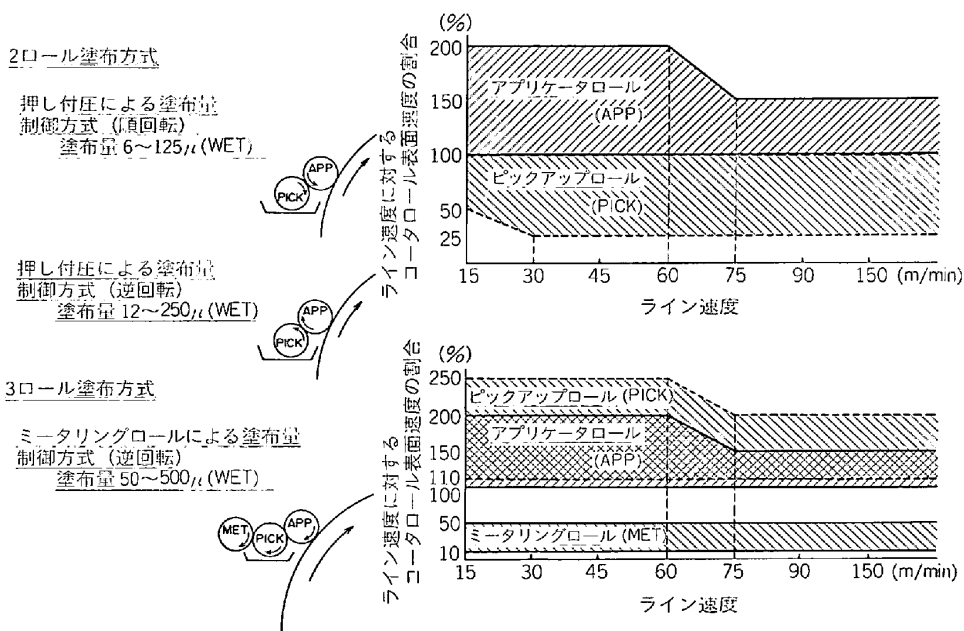


図4 塗布方式と塗布量の関係

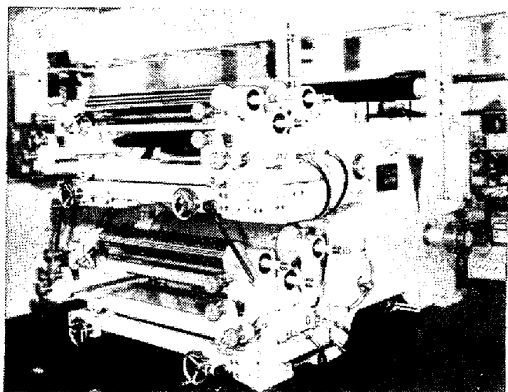


写真2 横出しコータ

よる2ロールヘッド型が、ナチュラルまたはリバースコーティングに使われる。ラインスピードが100m/min以上のラインではロール径を300~400mmにする必要がある。

高速コータの場合、塗料の発泡対策として種々対策が講じられているが、コーティングヘッドの型としては3

表2 各種材料に対する前処理帯の構成

材 料	帯 の 構 成					
	ブラッ 脱脂	湯洗	脱脂	湯洗	表面調 整	化成 水洗 後処理
冷延鋼板 (ジंकロ メタル用)	○	○	○	○	○	
亜鉛めつき 鋼板 (着色亜鉛鉄 板用)		○	○		○	○ ○ ○ ○
圧延油付 冷延鋼板 (着色鉄板 用)		○	○	○	○	○ ○ ○ ○

ロールタイプが良い。図4は2ロールおよび3ロールコーティングヘッドのロール配置とその特性を示す。

ピックアップロールとアプリケーションロールはそれぞれ硬質クロムめつきおよびゴムカバリング製のロールで、塗布量はプレッシャミータリング方式で調整するが、ロールの精度は真円度及び円筒度を10 μ 以下にする必要がある。また、チクソトロピックの性質をもつた塗料

を塗布する場合は、ロールマーク防止のためフルリバース塗布を行うが、この場合はチルドロールを用い、精度は真円度及び円筒度を 5μ 以下にする必要がある。

塗布量はアプリアータロールのゴム硬度、ロールの回転速度比によつて異なるが、一般にロール配置と塗布量の関係は図4のようになる。

多品種、小ロット用コータとしては作業性から見て写真2のようなカートリッジタイプの横出しコータが適している。

最近、測定精度の高い塗膜厚計が開発され、コータと組み合わせて自動的に膜厚制御することが可能となった。

2.4 焼付炉

塗料の焼付には従来カタナリー型が数多く使用されている。加熱方式はほとんど熱風による対流加熱方式が採用されているが、炉の入口ゾーンに赤外線加熱方式を採用して塗料のワキおよびホットエアーによるゴミの持ち込み防止対策を行つた例もある。赤外線加熱の場合、塗装表面の吸収能の差による加熱速度差があるので、その点を考慮する必要がある。

図5はそれぞれの塗料を塗装し、表面温度 500°C の放射体で加熱した時の各材料の加熱温度と所要時間の関係を示す。

カタナリー炉の場合、ストリップのサポートスパンは経験的に 85m が限度とされることから、炉長が長くなる高速塗装ラインではフロータ型炉が採用されている。

フロータ型焼付炉は塗料中の溶剤が蒸発するまではカタナリー型加熱で行うことにより、加熱における塗料のワキを防ぎ、溶剤が蒸発した後は急速加熱することにより、炉長を短くすることができる。

図6は $150\text{m}/\text{min}$ の塗装ラインにおいて、カタナリー型とフロータ型炉を採用した時の炉の長さの関係を示す²⁾。

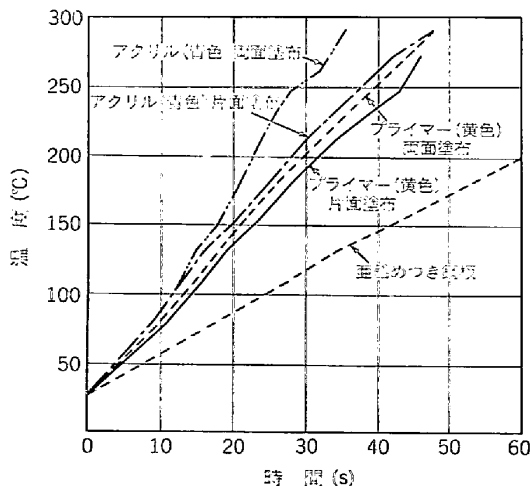


図5 赤外線加熱による各種材料の昇温速度

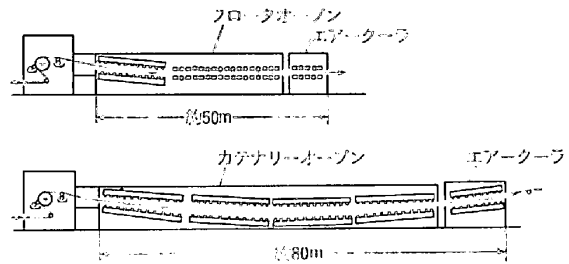


図6 フロータオープンとカタナリーオープンの長さ比較

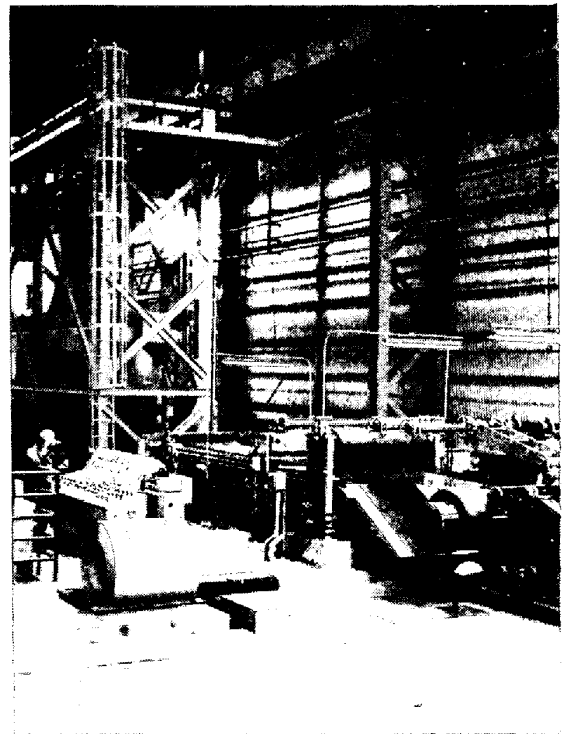


写真3 ライン出側設備

2.5 出側設備

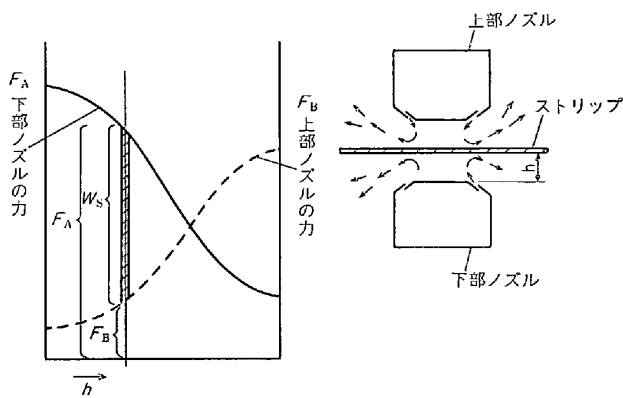
写真3は出側設備を示す。機械要素は入側と類似しているが、出側にはジョイナーが不要で入側のペイオフロールに代わつて製品巻き取り用のテンションロール、ベルトラッパーが設備される。マンドレルは薄いストリップを巻き取る場合、ロールマークが発生しないように考慮する必要がある。

亜鉛めつき鋼板を原板に使用した場合はエッジのオーバーコートによる巻きくずれを防ぐために、周期的にダンボールを入れるか、またはスタッガー巻きを行う必要がある。

高級塗装鋼板を巻き取る場合は、保護フィルムを同時に巻き取つて製品の面ズレを防ぐことが必要である。

3. フロータ型焼付炉

フローティングシステムについては昔からいろいろ研



$F_A = F_B + W_S$
 F_A : 下部ノズルの力
 F_B : 上部ノズルの力
 W_S : ストリップの重量
 h : 下部ノズルからストリップまでの距離

図7 フロータノズルとフロート力

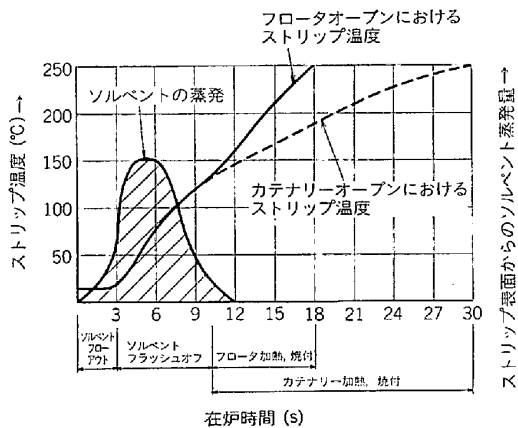


図8 ストリップの加熱と溶剤の蒸発

究されており、米国では1964年にキャンストック用アルミストリップのコーティングラインに初めて採用された報告がある。カタナリー型炉と比較しての特長は、熱伝達率がカタナリー型炉の40~80 kcal/m²h°Cに対して180 kcal/m²h°C前後となり、炉長を短くすることができるということである³⁾。

炉の構造としては、ストリップに浮力を与えるためのプレッシャーパッドノズルと熱を伝達させるためのヒートトランスファーノズルとの組み合わせにより、ストリップを安定してフロートし、かつ急速に加熱する考慮が払われている。加熱するストリップの板厚が変化した場合でも、プレッシャーパッドから吹き出す熱風速度を変えなくても安定してストリップがフロートするように設計されている。

図7はプレッシャーパッドノズルとそのフロート力の関係を示す。すなわち一般に、板厚0.27mmから1.6mmのストリップを通す場合、フロートのためのノズル圧を調節する必要はなく、ストリップ自身が自重とフロートのバランスしたポジションで通板できるので作業性が良い。

フロータオープンを用いたストリップ塗装焼付ラインを使用する場合、大切なことは塗料のワキを起こさせないということである。塗料中の溶剤はストリップ温度が130°C前後に達するまでにほとんど蒸発が完了する。この間にストリップを急速加熱する場合はプリスターが発生しやすいので、焼付炉の入側のゾーンはカタナリー型とし、塗料表面に吹き付ける熱風の速度を制限してストリップの加熱速度をコントロールする。一般に溶剤の蒸発過程においては、塗料表面で熱風速度を10m/s以下にする必要がある。溶剤の蒸発が完了したストリップは、上下のノズル間距離が100mmのフロータゾーンで、ストリップ幅方向の温度差が±3°C以内で焼付けられる。

図8は塗料の蒸発とフロータ型焼付炉およびカタナリー型焼付炉の関係を示す。

4. イナートエアシステムと省エネルギー

従来、塗装焼付用オープンにおいては、蒸発する溶剤が炉内で爆発しないための安全運転の指針として、炉内雰囲気中の溶剤濃度が爆発下限界(LEL)の1/4以下、すなわち溶剤1l当たり約75Nm³の希釈空気を供給してそれと同量の排気をして運転している。

イナートエアシステムでは、溶剤を含む排気をフュームインシネレータに送ってクリーン燃焼させ、そこで発生する高温燃焼ガスをオープンに返すことにより熱源として利用することができる。しかもクリーン燃焼用熱源は溶剤自身の燃焼エネルギーを有効利用するがゆえに、助燃料が節約できるので省エネルギーとなる。

また安全面においては、燃焼生成ガス中の酸素濃度がフュームインシネレータの出口において約2%になるように制御されて炉内に供給されるため、炉内雰囲気が不活性となり、たとえ炉内で溶剤濃度が上昇しても爆発の危険が無いということである。図9は炉内ガス中に溶剤としてヘキサンが存在している場合の、酸素濃度と爆発限界の関係を示す。図9において、ハッチング部Aは雰囲気中の爆発領域である。B点、C点は爆発領域外であるが、従来、オープンの安全運転はB点で行われ、酸素濃

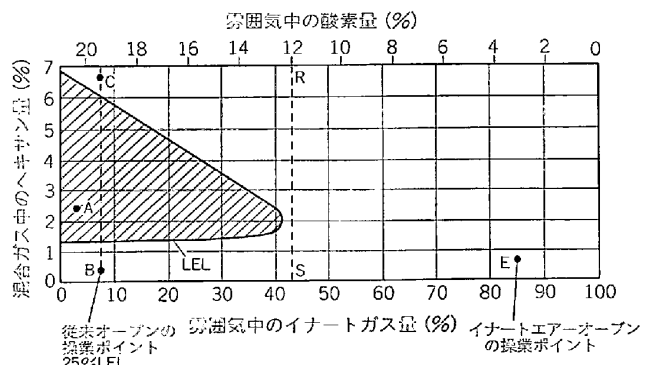


図9 イナートエアシステムの安全性説明図

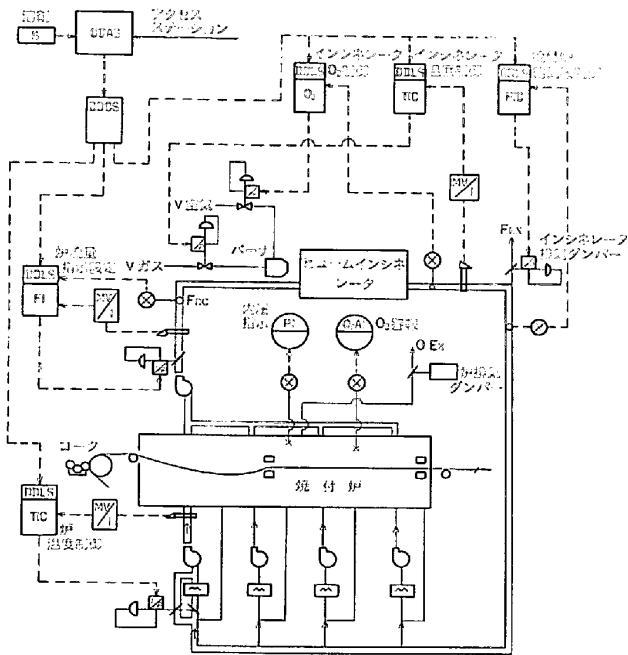


図10 イナートエアシステムの O₂ および温度制御

度 19.5% で LEL の 1/4 の点である。グラフに示されているように、酸素濃度が 12% 以下の場合には酸素濃度に関係なく縦線 R・S の右側は爆発に全く関係のない領域である。

以上の理論により、イナートエアシステムは炉内雰囲気酸素濃度約 4~5% で運転を行い、たとえ何らかの理由で溶剤濃度が変動しても安全が確保され、しかも希釈空気を従来の 1/2 に減らすことにより排ガス損失を少なくし、省エネルギーが確保される方式である。

図 10 はイナートエアシステムのフローおよび制御システムを示す。焼付炉内で蒸発した溶剤は、排気ファンでリッチフェームインシネレータに送り、残留溶剤濃度が数 10 ppm 以下になるように燃焼し、かつ遊離酸素量は 2% に制御され、燃焼生成ガスは焼付炉の熱源として各帯に供給される。各帯の温度制御は、焼付炉内のリターン雰囲気とリッチフェームインシネレータからの燃焼生成ガスを間接式熱交換器で冷却することにより行う。焼付炉の排気量は、塗装条件から発生溶剤量を算出し発生溶剤量に対して必要な排気量を演算して、リッチフェームインシネレータに供給する。必要燃焼空気量は、マイクロプロセッサで演算した量をフィードバックすると同時に、燃焼ガス中の酸素量を O₂ センサーで測定してフィードバックして制御する方式を取っている。

図 11 は生産量 20 t/h の 2 コート 2 ベーク用コーティングラインにおいて、最も一般的な溶剤発生量が 340 kg/h の場合の燃料消費量を、従来型のシステムとイナートエアシステムで比較したもので、従来型の燃料消費量 415 万 kcal/h に対してイナートエアシステムで

		従来のオープンシステム	イナートエアオープンシステム
出 熱	排気による熱損失	525	275
	放熱損失	55	50
	材料加熱	95	95
合 計		675	420
入 熱	溶剤の回収熱量	260	260
	燃料消費量	415	160

(単位 × 万 kcal/h)

図11 イナートエアオープン採用による燃料節約効果



写真左より
データ処理装置、プリンター
センサー、比較増幅器
写真4 赤外線塗膜厚測定装置

は 160 万 kcal/h となり、燃料消費量が約 60% 節約できることを示している。

5. 塗膜厚測定装置

塗膜厚を測定するには X 線、β 線などを用いた計測器があるが、放射線を使用するため法的規制の手続き、取り扱い操作、さらに測定精度などに難点があり、オンライン制御用としては今まであまり採用されていないのが現状である。

塗装焼付ラインの場合、人件費を除くランニングコストの約 70% が塗料費であるから塗膜厚制御は重要な要素である。

写真4は筆者らが開発した赤外線塗膜厚測定装置で、オンライン制御用の有効な測定装置である。原理は、高精度に温度制御された黒体炉から塗装鋼板に基準赤外線ビームを照射し、反射されたビームを回転セクターを通してセンサーに送るが、回転セクターは複数のバンドパスフィルターを持ち、塗料に吸収される帯域の赤外線が

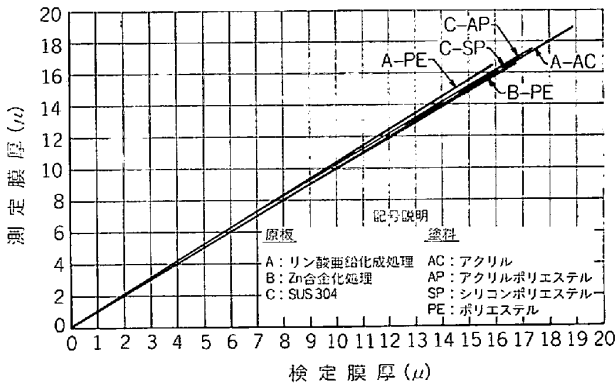


図12 赤外線膜厚計による各種材料の測定データ

選択されると同時に回転位置の同期信号を信号処理装置に伝送する。これは照射赤外線ビームの変動、光学系の外乱などによる測定誤差を低減するために行う。一方、塗料の樹脂の種類、色、原板の反射係数の違いなどに対する補正としては、赤外線センサーから送られる電気信号を演算処理装置に入力し、既知の標準データファイルとの違いを検定データより検索して関数変換処理を行い、塗膜厚を絶対値として算出し出力する。

図12は測定データの一例であるが、現在一般に使用されている着色亜鉛鉄板用塗料の場合、塗装厚20 μ 前後において測定誤差は1 μ 以内で測定できる。

6. む す び

ストリップ塗装焼付製品の用途は建物の屋根や外装に使用される時代から、高級化粧鋼板として家電や自動車等に使用される時代となり、塗装設備も高級化指向にマッチしたいろいろな要求がなされている。

もちろん、省エネルギーの観点からは、本稿で述べたイナートエアシステムによる省エネルギー、およびライン全体の省エネルギーを考えた方向に向かっている。

今後は無公害塗料として、モノマー系でエレクトロンビームあるいはウルトラバイオレットによる架橋硬化設備等の実用化が、ストリップ塗装設備として普及して行くことが予測される⁵⁾。

省力化としての重要課題はコータに対する無人化で、自動膜厚制御の次に取り組みねばならないテーマだと理解している。

文 献

- 1) 高村久雄, 近藤 登: 鉄と鋼, 66 (1980) 7, p. 107
- 2) 藤原勇次: 熱管理士第5号
- 3) E. J. KURIE: NCCA Tech. Meeting (1976) 9
- 4) K. H. HEMSATH and A. C. THEKDI: APCA 67th Annual Meeting (1974) 7
- 5) 加藤清視, 中原正二: 塗装技術 (1980) 6, p.143