

連続溶融めっき製品の品質向上に関する新技術

Newly Developed Techniques for Improving the Quality of Continuous Hotdip Plating Strips

連続溶融めっき製品の品質を向上させる二つの新しい技術の実用化開発に成功した。

第1のものは、めっき厚の均一化を図るもので、これは不均一めっき厚の原因となるめっき厚制御部でのストリップの振動及び変形を減少させる技術である。

第2のものは、自動車・家庭電気品などに使用される片面めっき製品に関する新しい製造法、及びめっき材質に対しても従来の亜鉛に代わるより耐食性に優れたアルミをめっきする技術である。

以上二つの新しい技術は、各種基礎研究の結果を基にして、実機連続溶融めっき設備で試験され、かつ製品品質を大幅に改善するものであることが確認された。

西村和美* Kazumi Nishimura

片山喜一郎** Kiichirô Katayama

木村智明*** Tomoaki Kimura

山口輝雄*** Teruo Yamaguchi

伊藤雅彦**** Masahiko Itô

1 緒言

めっき製品に要求される品質としては、耐食性が最も重要である。これに対し、日新製鋼株式会社と日立製作所は、二つの新しい技術について実用化までの検討を行なった。

第1の技術は、連続溶融めっき製品のめっき厚みを、鋼板全面に対し均一化するものである。すなわち、めっき厚みが不均一であれば、最もめっき厚みの薄い部分が弱点部となり、耐食寿命を低下させるからである。このめっき厚みの不均一は、めっき厚みをガスワイピング制御する部分のストリップが、振動及び変形していることに起因して生ずる。

これに対し、めっき厚み制御部のストリップ板幅端を、磁力によって非接触で引っ張り、ストリップの振動を減少させ、かつストリップの幅方向反り変形を修正する方法を提案し、実用化までの検討を行なった。

第2の技術は、片面連続溶融めっきに関するものである。片面めっき鋼板は、一般に塗装の困難な製品の内面側をめっき面とし、鋼板面を鮮映装飾塗装する製品、例えば自動車車体、家庭電気品用などに使用される。特に自動車車体では、寒冷地で路上へ散布する凍結防止剤や塩による腐食が著しいので、車体側面にも防錆対策が必要となり、片面めっき鋼板の需要が急増している。

これに対し、新しい片面連続溶融めっき法を提案し^{1),2)}、しかも従来の亜鉛に対し、より耐食性に優れたアルミをめっきする方法について検討を行なった。

ここでは上記二つの技術について、原理、機能及び効果について述べる。

2 均一めっき厚み製品製造技術

2.1 不均一めっき厚みとなる原因

連続溶融めっき製品のめっき及びめっき厚み制御は、図1に示す装置構成で行なわれる。すなわち、無酸化還元炉で清浄・活性化されたストリップが、溶融めっき浴槽内を通過することによってめっきされる。めっき厚みの制御は、めっき浴槽から立ち上がったストリップに付着している余分のめっき層を、ノズルから噴出される高圧ガスでワイピングすることによって行なわれる。その後、めっきされた金属が完全に凝固するまで、約40m前後の区間を真っすぐに立ち上げられ冷却される。したがって、凝固完了するまでは、ローラなど

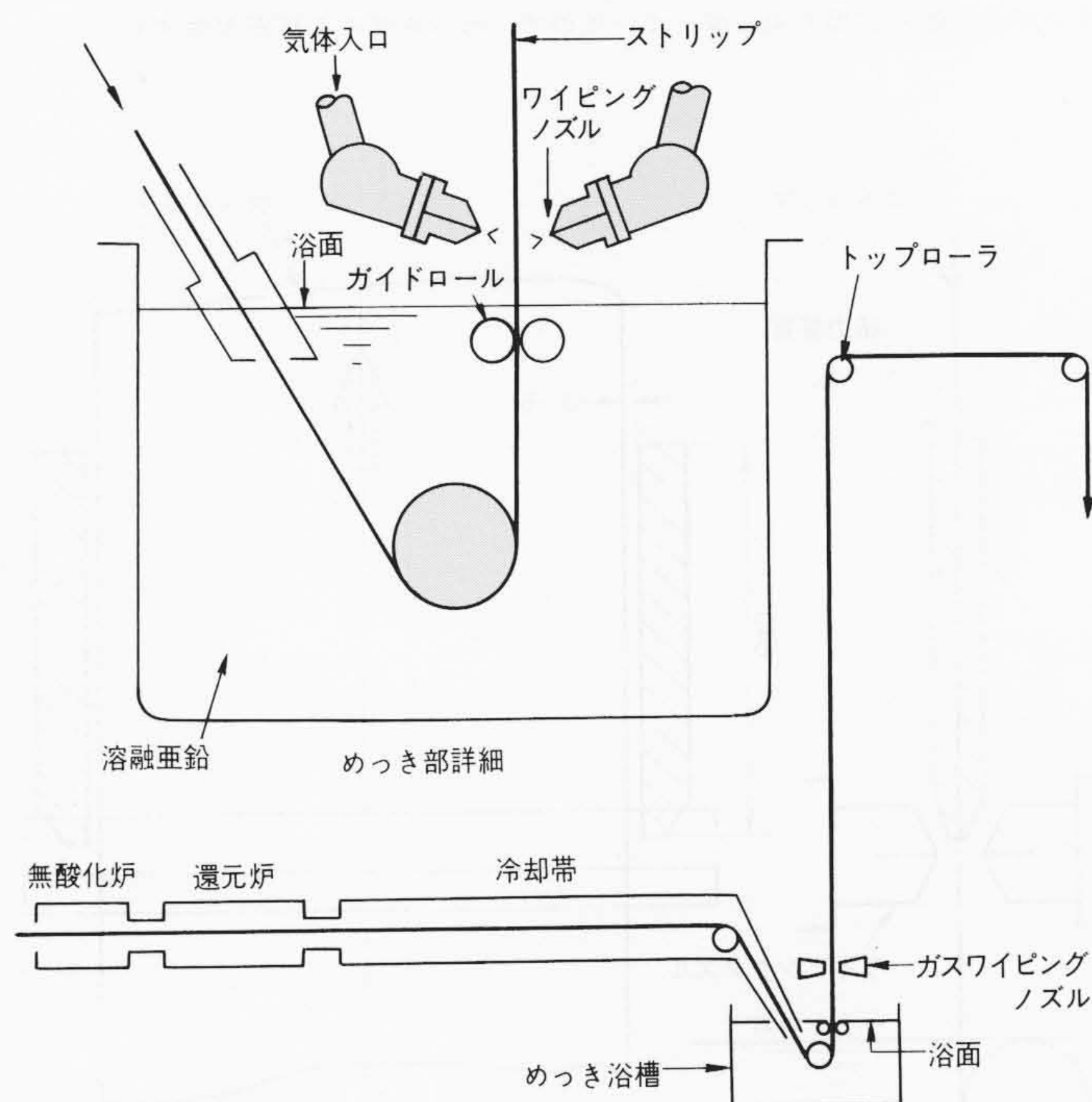


図1 連続溶融めっき設備の配置 めっき浴面からトップローラまでの距離は40mに及び、かつこの間はめっきが完全に凝固していないので、ストリップを支持することができず、ストリップは振動しやすい。

でストリップを支持することができず、ストリップは非常に振動しやすい状態となっている。またストリップは、板幅方向に弓なりに反っていることが多い。以上の理由から、ストリップとワイピングノズル間の間隙は一樣でないため、めっき層に対するガスワイピング量が変化し、ストリップの長手方向及び幅方向のめっき厚みが不均一となる。

図2に、ノズルとストリップ間の距離 δ に対するガスワイピングによるめっき厚みの関係について代表的な例を示す。通常の連続溶融めっき設備での前記距離 δ の誤差は、 $\pm 7\text{ mm}$ 程度に及ぶので、めっき厚みの基準値に対する誤差は約 $\pm 3\mu$ 生ずる。

一方、めっきの耐食性は、ほぼめっき厚みに比例すると考

* 日新製鋼株式会社市川製造所

** 日新製鋼株式会社市川研究所

*** 日立製作所日立工場

**** 日立製作所日立研究所

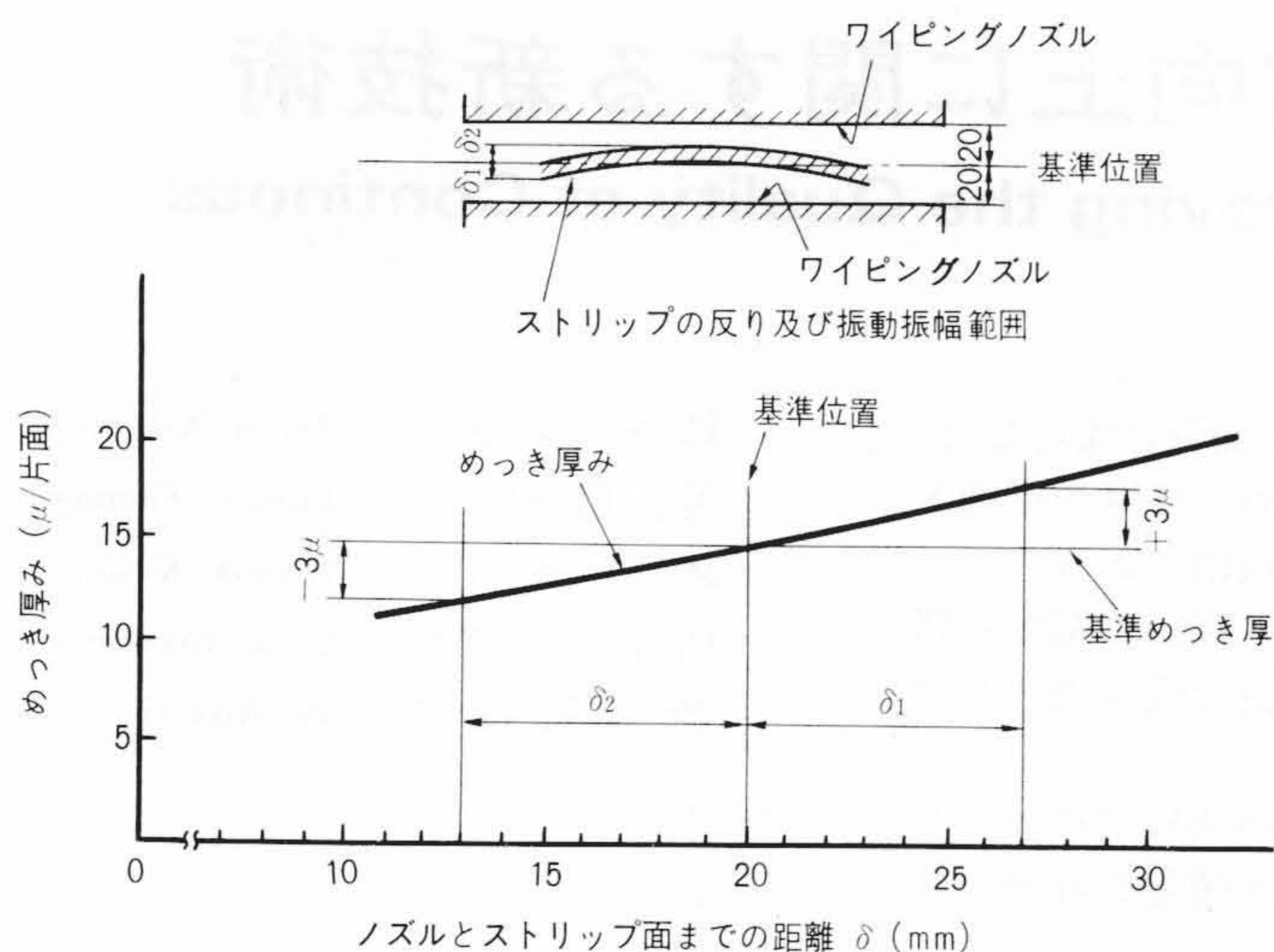


図2 ノズルとストリップ面までの距離に対するめっき厚みの関係
ノズルとストリップ面までの距離が大になるほどめっき厚みが増加する。ストリップは振動及び幅方向に反っているため、めっき厚みの誤差が生ずる。

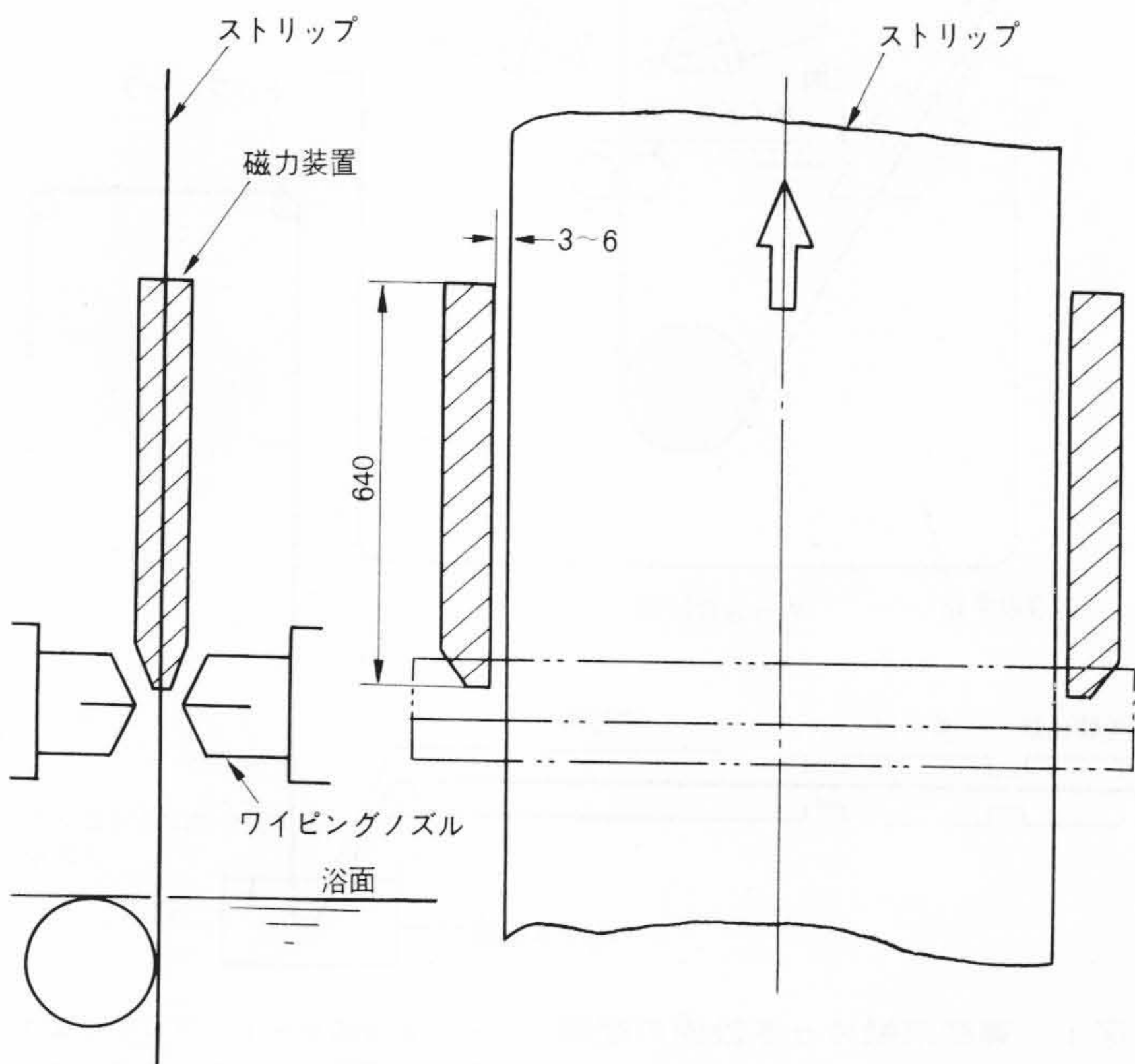


図3 磁力によるストリップの防振及び幅方向反り修正装置
ストリップの板幅端を磁力により引っ張り、ストリップの防振及び反り修正を行なう。この磁力装置はワイピングノズルの直上に配置される。

えてよいから、基準めっき厚を 15μ とする場合、薄い部分は 12μ となり、この部分の耐食性は基準めっき厚み部に対し、約20%耐食寿命が低下することになる。

2.2 ストリップの振動防止及び板幅方向反り修正法

前述しためっき厚み制御部でのストリップ振動防止法として、ストリップの両面を、気体パット軸受で支持する方法が提案されている³⁾。

これに対し、ストリップの振動防止はもちろん、ストリップの幅方向反り変形も修正することをねらって、図3に示すようにストリップの両板幅端を、磁力によって非接触状態で引っ張る方法を提案し、これの実用化検討を行なった。

ストリップの板幅端を引っ張る磁力装置は、ガスワイピングノズルの上部に設けられ、できるだけノズルに接近して配

置される。磁力装置としては電気式のものも可能であるが、ここでは永久磁石を使用した例について説明する。

図4に溶融亜鉛めっき時のストリップ板幅端と、磁石間の間隙に対するストリップ板幅方向に生ずる引張り力の関係を示す。この引張り力は、板厚が薄くなると、これにほぼ比例して減少する。ただし、板厚が薄い場合はストリップの剛性及び質量も低下するので、ストリップの防振及び反り修正効果に及ぼす影響は少ない。

すなわち、板幅方向反り修正に対しては、板の曲げ剛性が関係するが、これは板厚の3乗に比例するので、板厚が薄いほど磁力による修正が容易となる。

一方、ストリップの防振は、振動の加速力を磁力によって拘束し、振動振幅を減少させることにより得られる。また、ストリップを移送するための単位横断面積当たりの張力は、炉内での板切れ防止の面から板厚に関係なく一様に負荷される。したがって、ストリップに発生している振動の振動数及び振幅も、板厚に無関係にほぼ同じ量となる。このため前記

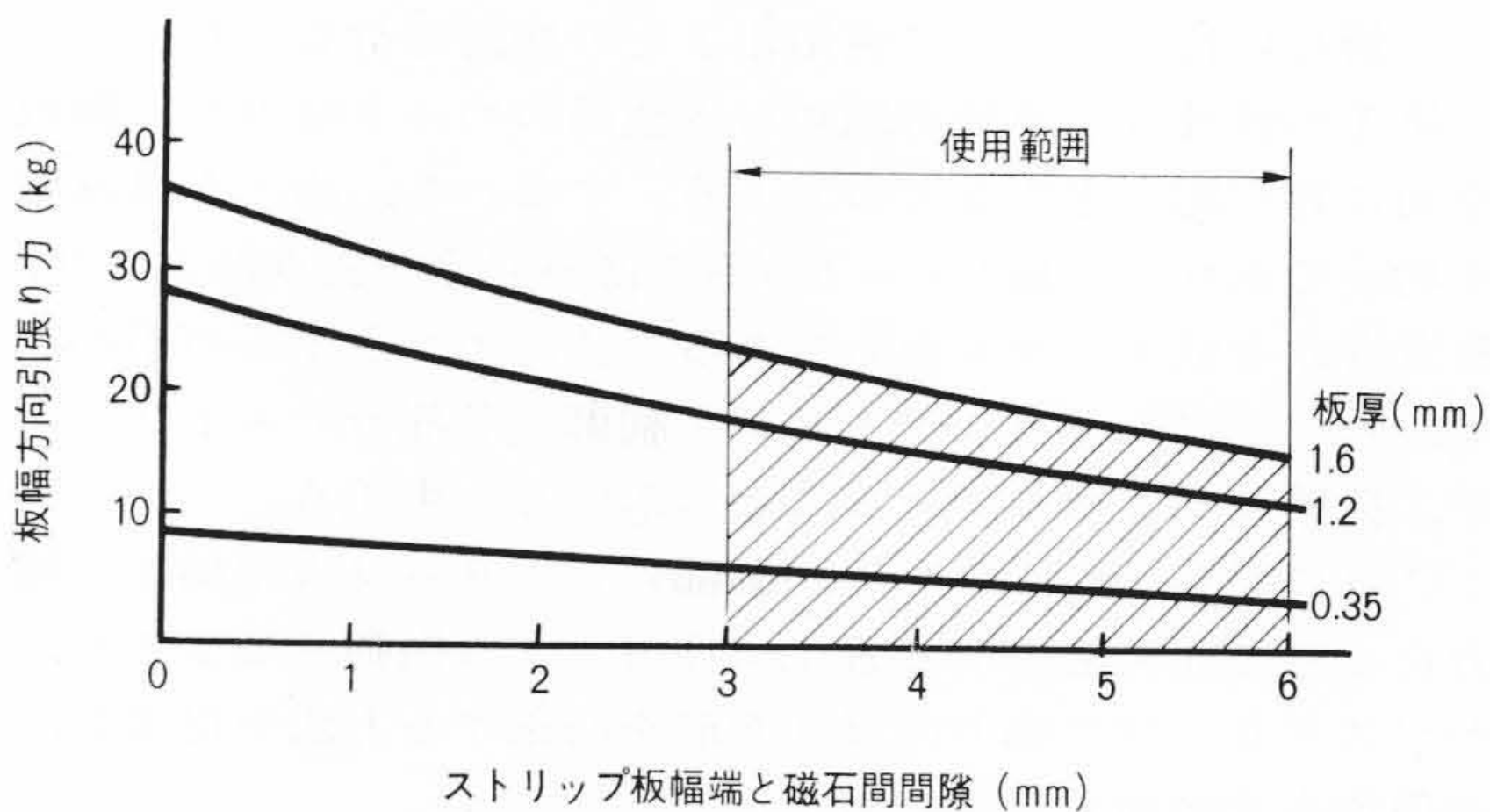


図4 ストリップ板幅端と磁石間間隙に対する板幅方向引張り力の関係
磁力による板幅方向引張り力は、板厚にほぼ比例して増減する。

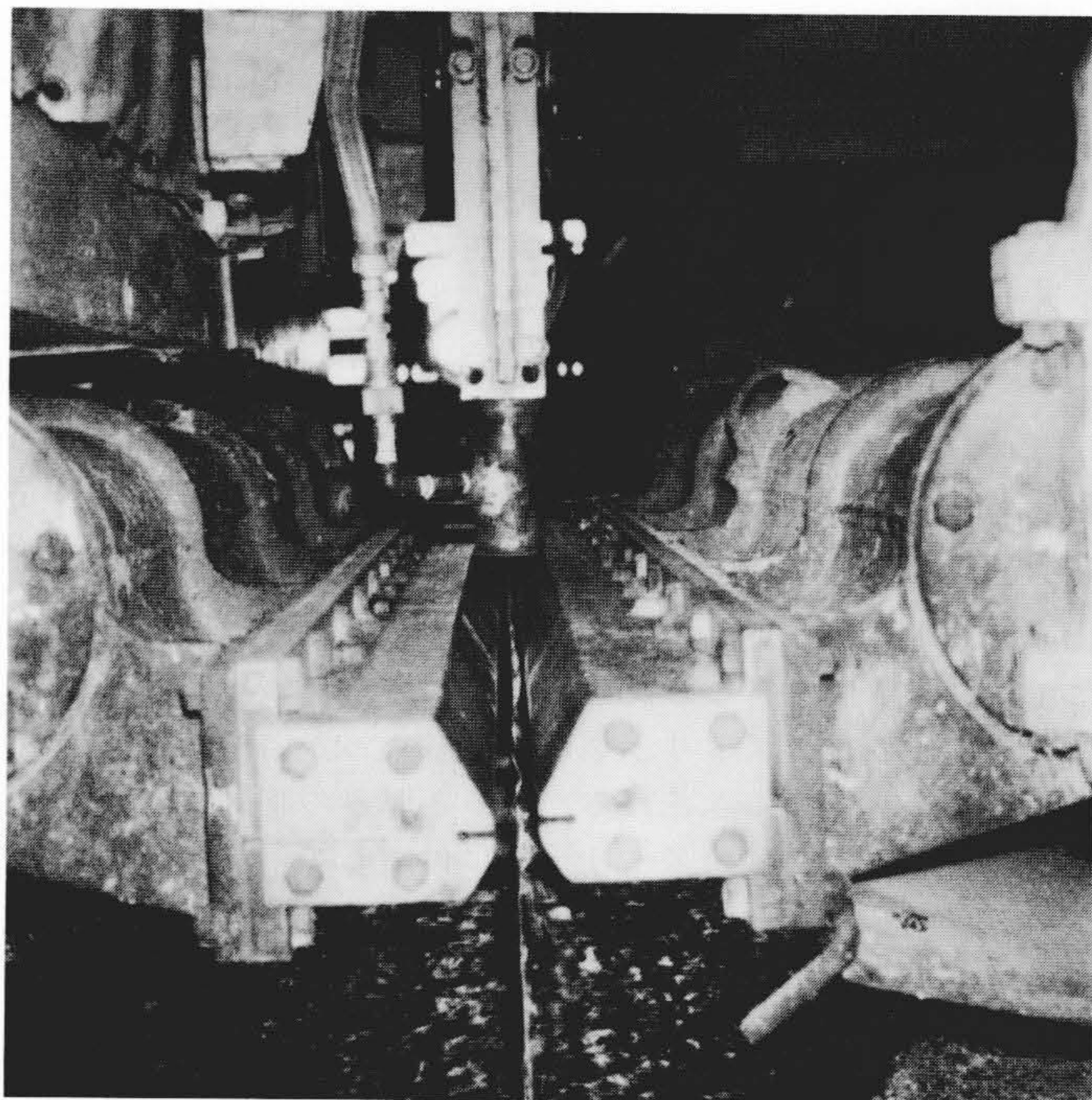


図5 磁力装置を配置しためっき厚み制御状況
磁力装置によってストリップはノズル間のほぼ中央位置に保持され、めっき厚みの均一制御が容易である。

ストリップの振動による加速力は、ストリップの質量、すなわち板厚に比例して増減する。この加速力を拘束する磁力は、前述したように板厚に比例しているから、磁力によるストリップの防振効果は、板厚に関係ないことが分かる。

なお、この磁力装置はストリップ板幅端と磁石間の間隙が、図4に示す斜線部、すなわち3～6mm以内となるように、走行するストリップの板幅端位置の変化に対応して、自動追従制御がなされる。

図5に、実機設備での磁力装置を用いた場合のガスワイピングめっき厚み制御状況を示す。

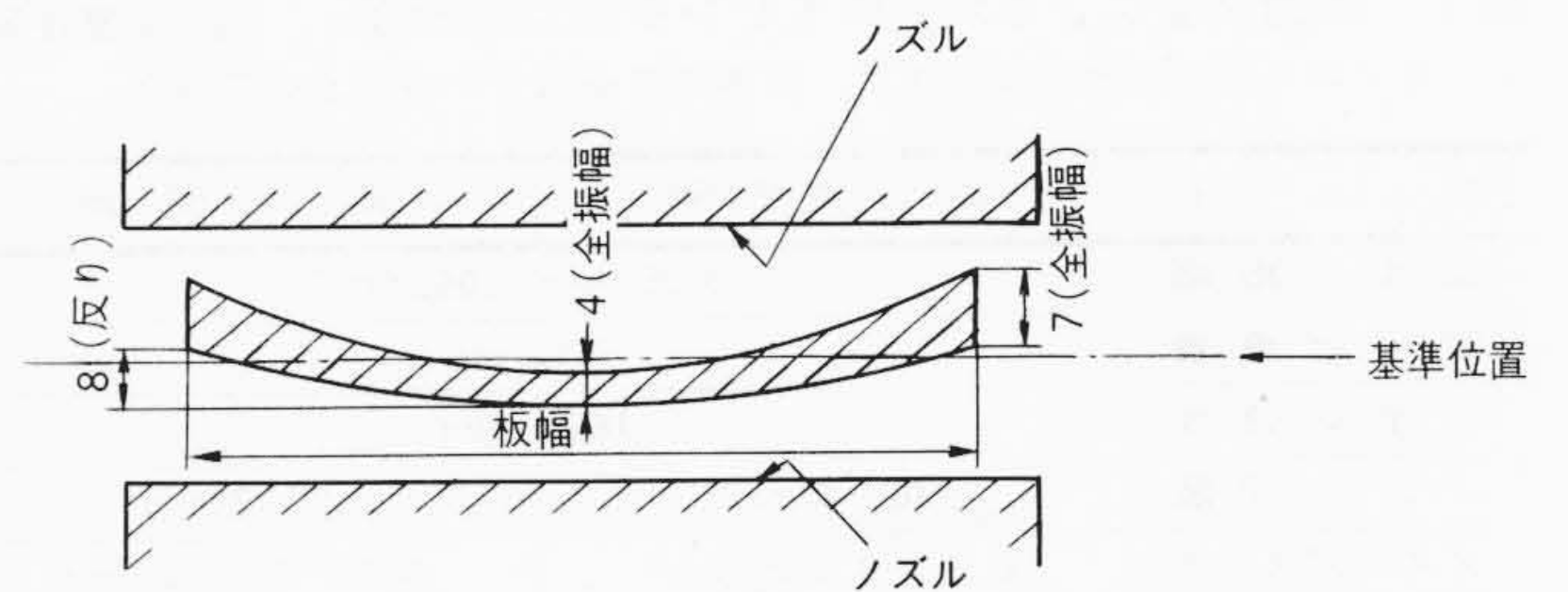
2.3 磁力装置によるストリップの防振及び反り修正効果

ガスワイピング部のストリップの振動及びストリップ板幅方向反り状況を図6(a)に示す。ストリップの寸法は板厚0.8mm、板幅914mmで、最も標準的な場合の例である。ストリップの板幅方向の反り量は8mm、これにストリップの振動が重畳されている。一般にストリップの振動振幅は板幅端で大きく、板幅中央部では小さい。このように振動及び変形しているストリップの板幅端に、前述の磁石装置を作用させると、同図(b)に示すようにストリップの板幅方向反りは、ほぼ完全に修正される。また防振に関しては、磁石効果の及ぶにくい板幅中央部での効果は少ないが、板幅端では顕著な効果が得られている。

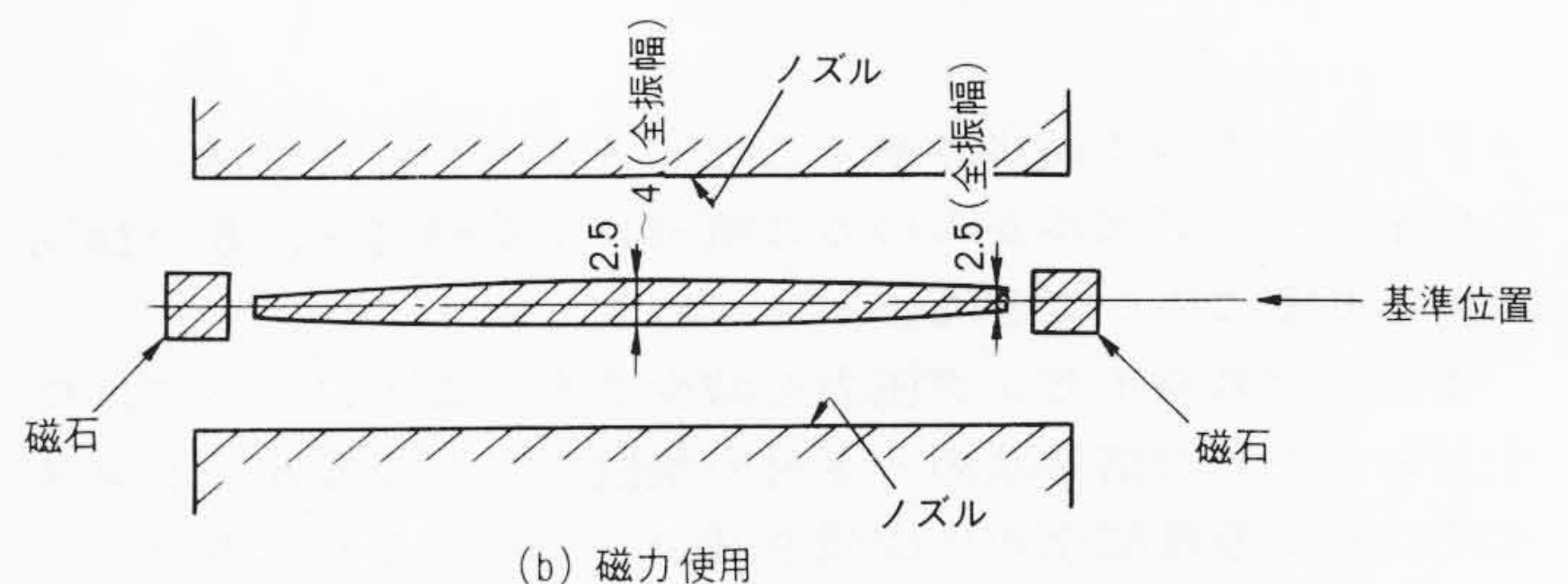
図7(a)及び(b)に、図6での板幅端及び板中央部での磁石装置の有無によるストリップの振動、及び変位の状況を、ストリップの面側に設けたギャップセンサによって測定した結果を示す。磁石装置が作用しない場合は、ストリップがノズル面からの基準位置からずれ、かつ大きく振動していることが分かる。これに対し、磁石装置が作用した場合はストリップが基準位置に保持され、かつ振動振幅も大幅に減少する。

一方、板中央部に対する磁力作用は、磁力によって板の反りが修正され、板が基準位置に保持される効果は認められるが、板の振動振幅の減少に対する効果は少ない。ただし、板中央部での振動振幅は上述したようにもともと小さいので、これによるめっき厚みの誤差発生量は無視できる。

以上に述べた磁石装置による効果は、図6でストリップ面とノズル間の間隙誤差を、磁石装置がない場合の約±7.5mm



(a) 磁力使用前



(b) 磁力使用

注：めっき条件 (ストリップ 板厚0.8mm×板幅914mm)
めっき速度 120m/min

図6 磁力装置によるストリップの防振及び反り修正結果 ストリップの振動及び反り量は、磁力による引張り力によって大幅に減少させることができる。

から±2mm程度に減少させ得るものであることが分かる。

これによりめっき厚みの誤差は、図2から磁力装置がない場合の±3μから±1μに減少する。

すなわち、ほぼ均一なめっき厚をもつ耐食性に優れた鋼板が得られる。

なお、表1に示すように本技術を適用すれば、同一ライン速度に対し、ストリップ面とガスワイピングノズル間の間隙を狭くすることが可能となる。

このようにノズル間隙を狭くできれば、ガスワイピング効率が向上するので⁴⁾、同一めっき厚みを得るためのガスワイピ

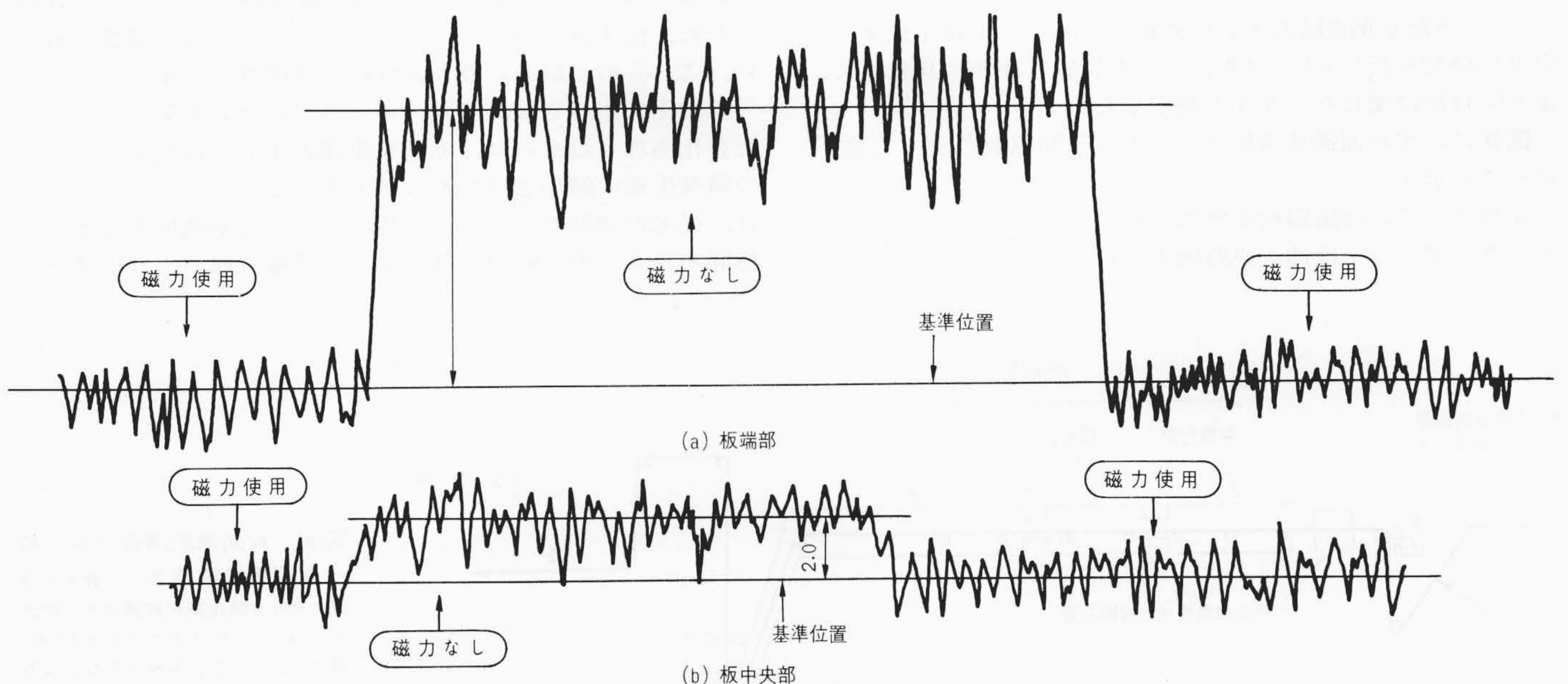


図7 磁力装置によるストリップの防振及び変位修正状況のオシログラフ

磁力を作用させるとストリップは基準位置に移動し、かつ振動振幅も減少する。

表1 磁力装置によるガスワイピング性能の改善 磁力装置使用によってノズル間の間隙を減少させ、ガス圧力を低くすることができた。

項 目	磁 力 使 用 前	磁 力 使 用
板 厚 × 板 幅	0.35mm×1,065mm	
亜鉛付着量	261g/m ²	
ライン速度	165m/min	
ノズル間隙	40～42mm	27～32mm
ノズルガス圧力	0.55～0.60kg/cm ²	0.30～0.38kg/cm ²
騒 音	90～95	85

ング圧力を大きく減少させることができる。これに伴い、ガスワイピングノズルからのガス噴出による騒音を、5～10%減少させることができた。

また、ガスワイピング圧力を減少させることによって、ワイピングされた溶融状めっき材の飛散が少なくなり、ドロスと呼ばれる亜鉛酸化の生成量を減少させることができた。

その他にも、上記のようにガスワイピング効率を向上させた効果として、本技術は、めっき処理速度の高速化あるいは薄厚めっき化を図ることに対し、極めて有効な武器となる。

3 片面連続溶融アルミめっき

3.1 片面めっき鋼板に要求される品質

片面めっき鋼板は前述したように、自動車車体用に需要が多いが、この場合のめっき面は極めて腐食性の強い塩水に対しても、十分な耐食性をもつ必要がある。

また、非めっき面は塗装の鮮映性を得るために、完全な鋼板面にする必要があり、めっきなどの残存は許容されない。このように、非めっき面を完全な鋼板面にすることは、スポット溶接の電極を保護し、信頼性のある溶接を可能にするものである。

3.2 片面連続溶融アルミめっき製品の製造法

従来、片面連続溶融めっき製品のめっき材質としては亜鉛が使用されており、その主な製造法は両面めっきした後、片面のめっき被膜を研磨除去する方法³⁾で製造されていた。

これに対し、図8に示すようにストリップがめっきされる前に、非めっきとする面にめっき阻止剤を被膜し、めっき後このめっき阻止剤を除去する片面連続溶融めっき法を提案し、実用化検討を行なった。また、めっき材質も亜鉛に比較して、より耐食性に優れたアルミを選定した。

図9に、本片面連続溶融アルミめっき鋼板製造法の主要プロセスを示す。

原板としては冷延鋼板が使用され、初めにこれの表面に付着残存している圧延油が脱脂除去される。

次に、非めっき面とされる側に、めっき阻止剤が被膜されるが、本片面めっき製造法では、このめっき阻止剤をどのような成分組成にするかが極めて重要である。すなわち、めっき阻止剤としては安価で、かつストリップへの被膜処理が容易にできるものにする必要がある。また、溶融アルミめっきでは、アルミの浴温が亜鉛の450℃に対し650℃と高いこと、更に、ライン内焼鈍が行なわれる点から、十分な耐熱性をもつことが必要である。

したがって、阻止剤の主成分は粘土($n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2$)を主体とした成分組成とし、これを水に溶解ないしは懸濁してストリップ表面に炉前でロールコートによって被膜する方法を採った。被膜されためっき阻止剤被膜は、炉内で完全に乾燥される。なお、この阻止剤被膜はめっき溶中を通過し、かつローラで曲げられても脱落しないように、十分な密着性をもつ必要がある。このため前述の阻止剤には、金属リン酸塩及びケイ酸塩を適正量配合した。

一方、このような粘土系の阻止剤を使用する場合には、表面は粗面となりがちである。したがって、ストリップがめっき浴面から立ち上がるところで、めっき材が阻止膜面上に付着し引き上げられやすい。特に比重が軽いアルミをめっきする場合には、付着量が多くなるので、これの防止が重要である。したがって、ロールコートでストリップに被膜した阻止剤上面に、気体燃料を不完全燃焼させることにより得られる、ぬれ性の悪い炭素系成生物をバーナで被膜し、めっき材付着の防止を図った。

以上のめっき阻止膜が被膜されたストリップは、片面めっき後冷却され、最後にブラシによってめっき阻止膜を除去することにより、良質な片面溶融めっき鋼板が得られた。

表2に、実機での片面連続溶融アルミめっき製品の製造条件を示す。

3.3 片面連続溶融アルミめっき製品の品質特性

片面連続溶融めっき製品に要求される品質特性として、特に重要な項目は、めっき面の耐食性及びスポット溶接性である。以下に前述した製造法によって得られた片面溶融アルミめっき製品の品質特性について述べる。

3.3.1 耐食特性

片面溶融アルミめっき製品に対し、耐食性に関する代表的な試験、JIS SZ2371による塩水噴霧試験を行なった。比較のため、従来溶融亜鉛めっき製品についても同上試験を行ない、これらの試験条件及び試験結果を図9に示す。

溶融亜鉛めっき製品では、めっき厚の薄い電気めっき及び合金化処理したものは、赤錆発生開始までの時間が短く、かつ錆発生後の錆増加速度も大である。またアルミめっき製品は、従来の亜鉛めっき製品に比べて、赤錆が発生するまでの時間が長く、かつ錆発生後の錆増加速度も遅い。ほぼ同一の

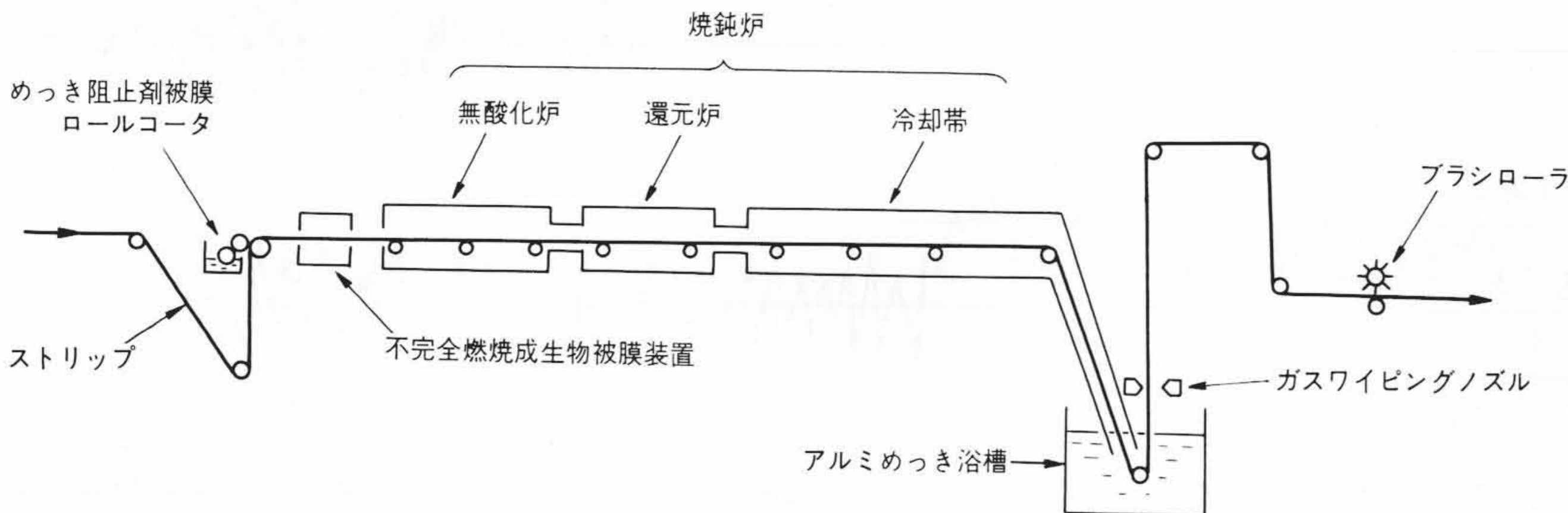


図8 片面連続溶融アルミめっき鋼板の製造法 非めっき面にめっき阻止剤が被膜され、炉内で乾燥された後片面だけめっきされ、最後にめっき阻止剤がブラシにより除去され、片面めっき鋼板が得られる。

表2 片面連続溶融アルミめっき鋼板の製造条件の一例 0.27～2.3mm厚の低炭素鋼板が使用され、現状最大100m/minの速度で片面アルミめっき鋼板を製造することが可能である。

項 目		条 件
ストリップ温度	無酸化炉	580～630℃
	還元炉	680～700℃
めっき浴温度		650℃
めっき速度		55～100m/min
被めっきストリップ	材 質	低炭素冷延鋼板
	板 厚	0.27～2.3mm
	板 幅	max. 1,230mm

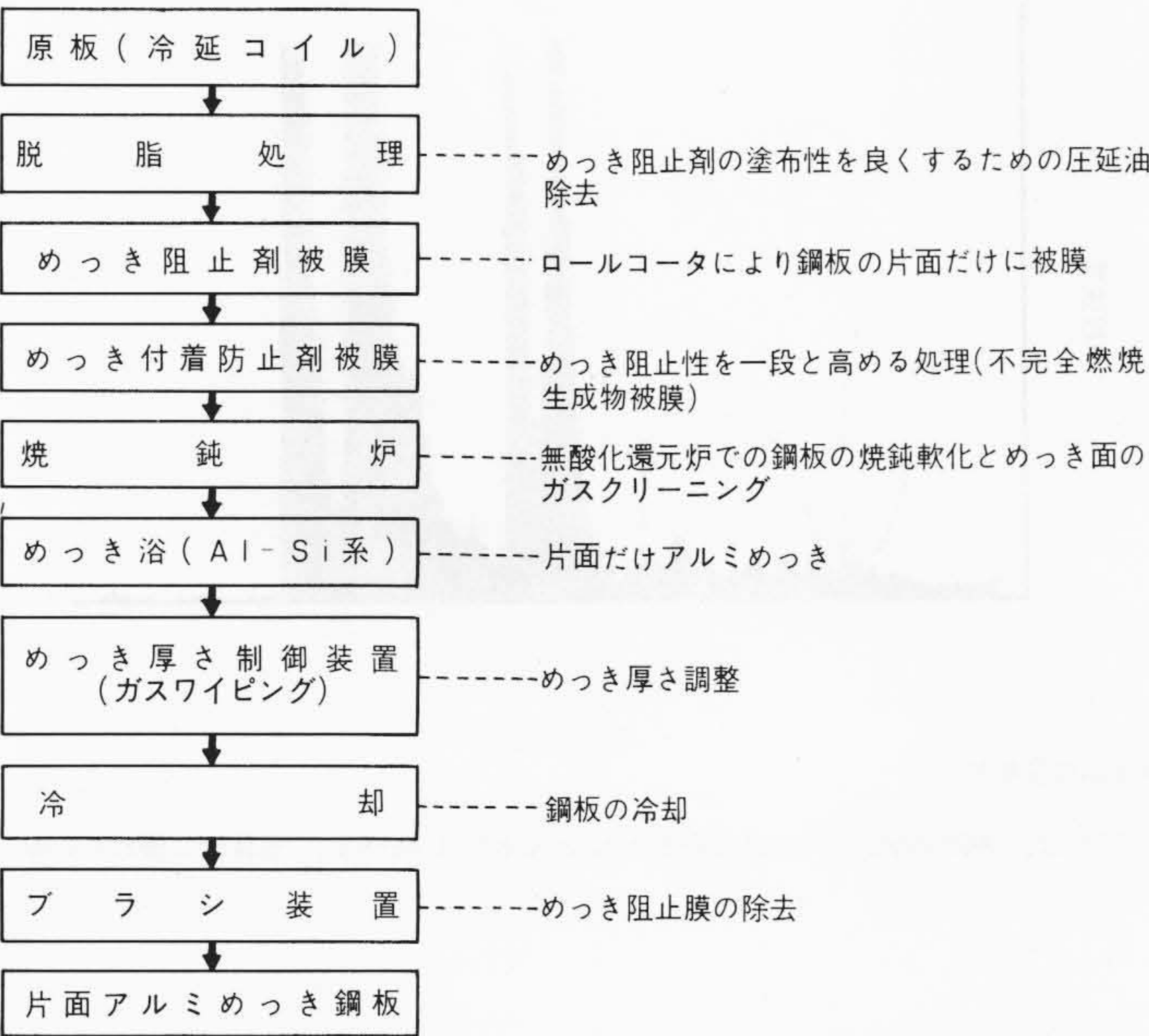


図9 片面連続溶融アルミめっき鋼板の製造プロセス 原板の冷延コイルには、片面めっきのほかにも焼鈍処理が行なわれる。

記 号	サ ン プ ル 名 称	めっき付着量/片面	
		重量(g/m ²)	厚(μ)
□—□	電気亜鉛めっき鋼板	20	2.8
△—△	溶融合金化亜鉛めっき鋼板	55	7.5
○—○	溶融亜鉛めっき鋼板	60	8.5
●—●	溶融アルミめっき鋼板	25	9.3
▲—▲	溶融アルミめっき鋼板	45	16.7

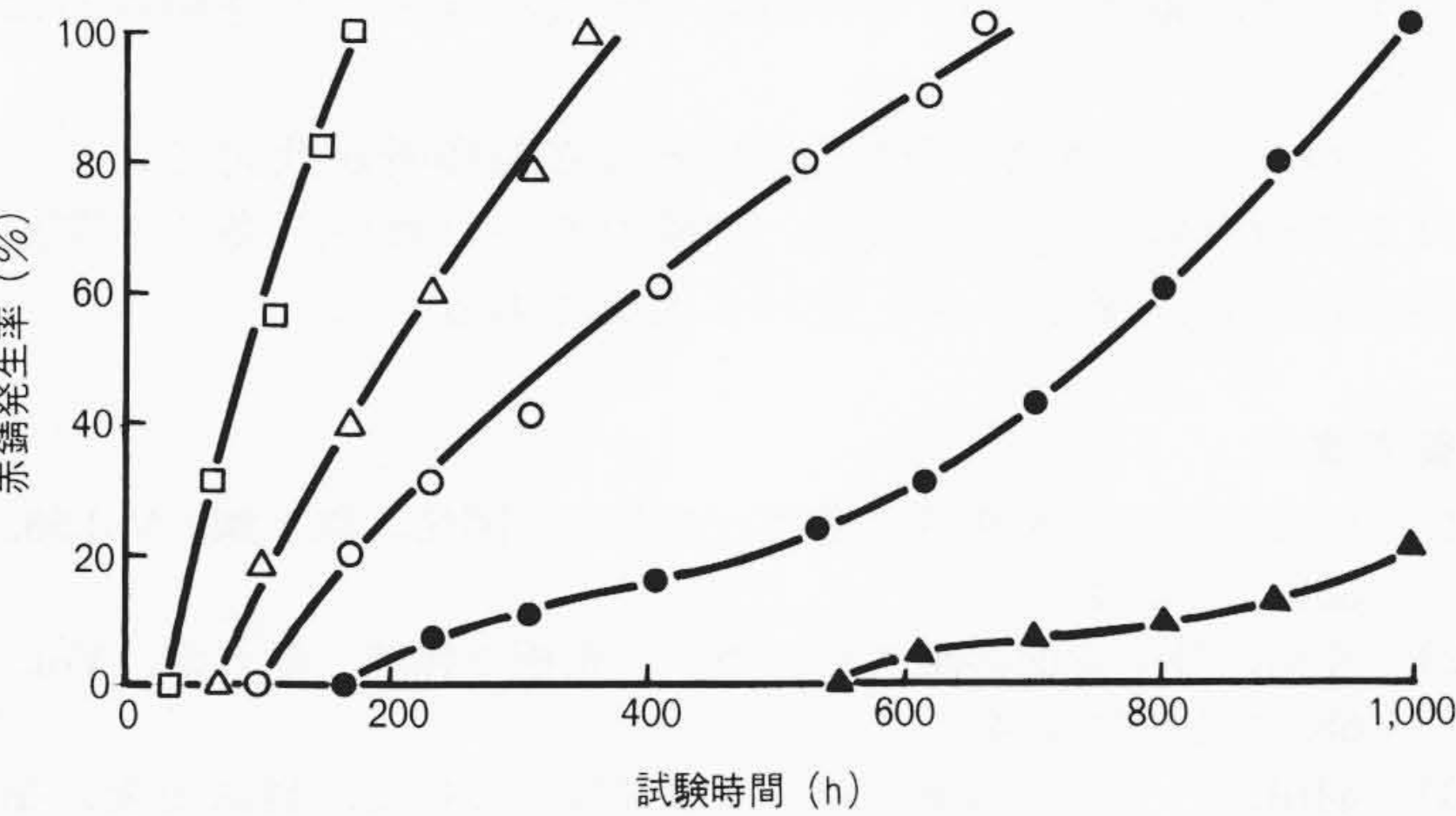


図10 塩水噴霧耐食試験結果 亜鉛めっき系のものは、赤錆発生開始までの時間も短く、錆増加速度も大である。これに対しアルミめっきは、優れた耐食性をもっていることが分かる。

めっき厚みをもつアルミめっき製品と亜鉛めっき製品では、30%赤錆発生までの時間が、アルミめっき製品が亜鉛めっき製品に対し約3倍長い。

以上述べたように、片面溶融アルミめっき製品は従来亜鉛めっき製品に比べ優れた耐食性をもっていることが分かる。更に、アルミは亜鉛に対し比重が $\frac{1}{2.6}$ と小さく、軽量化の面からも有利である。

3.3.2 スポット溶接性

通常、アルミめっき面に電極を加圧し、スポット溶接を行なう場合には、アルミが電極と反応し電極を汚損させ、連続スポット溶接時の溶接強度を低下させる。

しかし、片面溶融アルミめっきでは、非めっき面を電極側にし、めっき面を溶接面とすることによって上記の問題を解決できる。表3にスポット溶接試験条件を、表4に溶接面の組み合わせによる連続スポット溶接時の電極寿命について、めっきのない通常冷延鋼板の場合を基準に比較試験した結果を示す。

アルミがめっきされている場合には、一般に電極の加圧力、通電時間及び溶接電流共、冷延鋼板の溶接条件に対しやや大き目を選定する必要がある。

電極寿命は、電極がアルミめっき面を加圧する組合せでは極端に低下する。しかし、溶接面をめっき面に、電極面を鋼板面とする組合せによって、冷延鋼板と同様な十分に長い電極寿命が得られる。

3.3.3 非めっき面の特性

めっき阻止剤をブラシで除去した後の非めっき面は、片面めっき鋼板を使用する製品の外表面となり、一般に裝飾塗装が施される。したがって、ブラシ後の非めっき面には、非めっきとするために使用しためっき阻止剤の成分が、わずかで

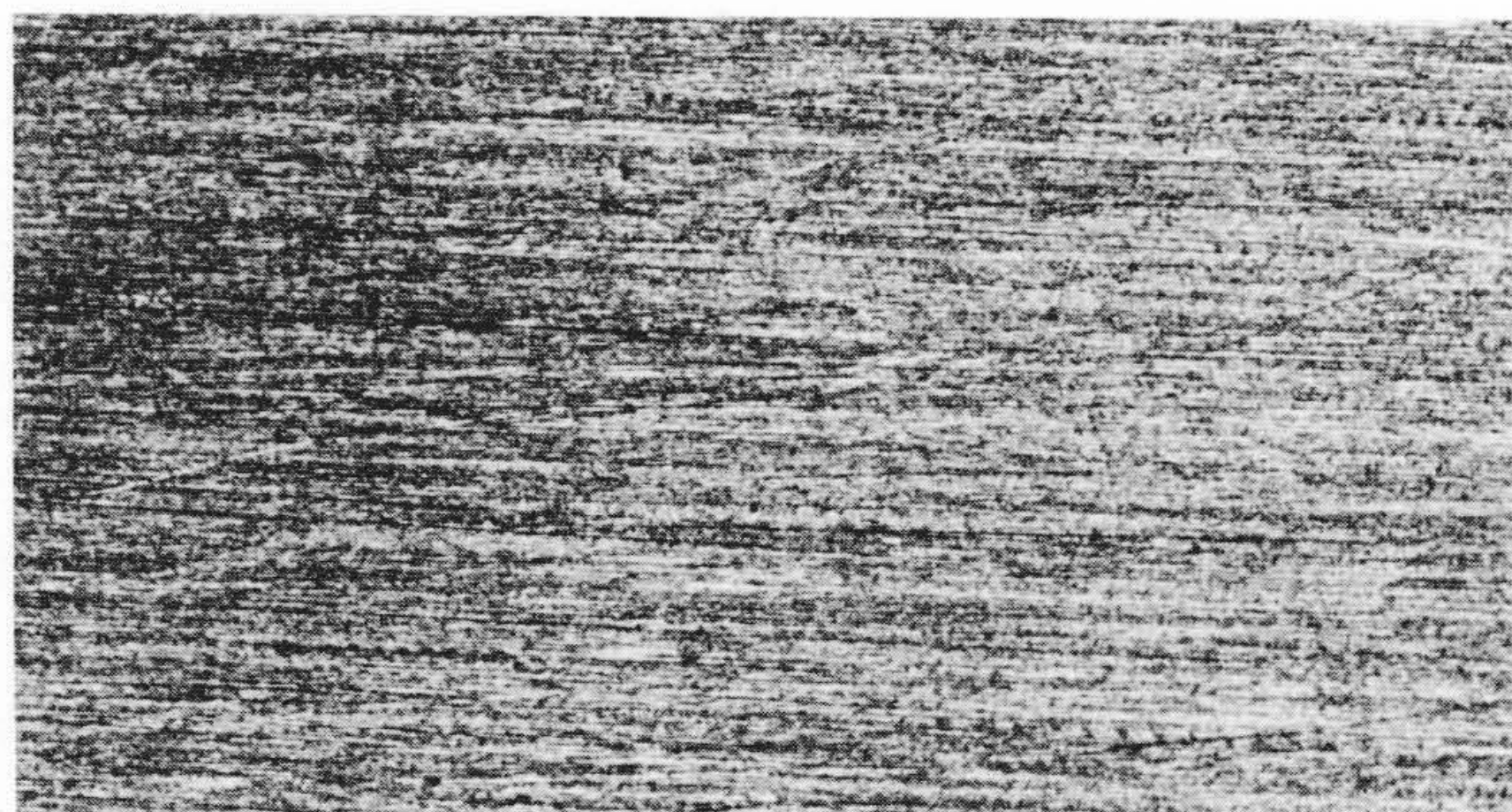
表3 片面溶融アルミめっき鋼板のスポット溶接性試験条件 自動車車体での代表的なスポット溶接条件を採用した。

供 試 材 (比較材)	● 片面アルミめっき鋼板：板厚 0.6mm、めっき付着量40g/m ² ● 冷延鋼板：板厚0.6mm	
	● 溶接機：大阪変圧器株式会社 RSP26形単相電流 ● 電極：チップ材質Cu-Cr 電極先端径4.0φmm	
溶接機電極	● 加圧力：180kg ● 通電時間：8 ～ ● 溶接電流：7.1kA	
溶接条件		
溶接面の 組 合 せ	めっき面-めっき面 (1)	めっき面-鋼板面 (2)

表4 スポット溶接試験結果 片面溶融アルミめっき鋼板のスポット溶接は、溶接面をAl-Alにすることによって、電極寿命を通常冷延鋼板並みに向上できる。

サンプル	溶 接 条 件					電極寿命* (回数)
	溶接面	電極面	加圧力(kg)	溶接時間(s)	溶接電流(A)	
冷延鋼板	Fe-Fe	上下共Fe	160～180	6～8	6.0～7.5	5,000以上
片面溶融めっき鋼板	Al-Al	上下共Fe	170～200	7～9	6.5～8.2	5,000以上
	Al-Fe	上Fe, 下Al	170～200	7～10	7.5～9.0	下Al面側 450～600

注：* 溶接部のせん断強度が、340kg以下に低下した場合を溶接寿命とする。

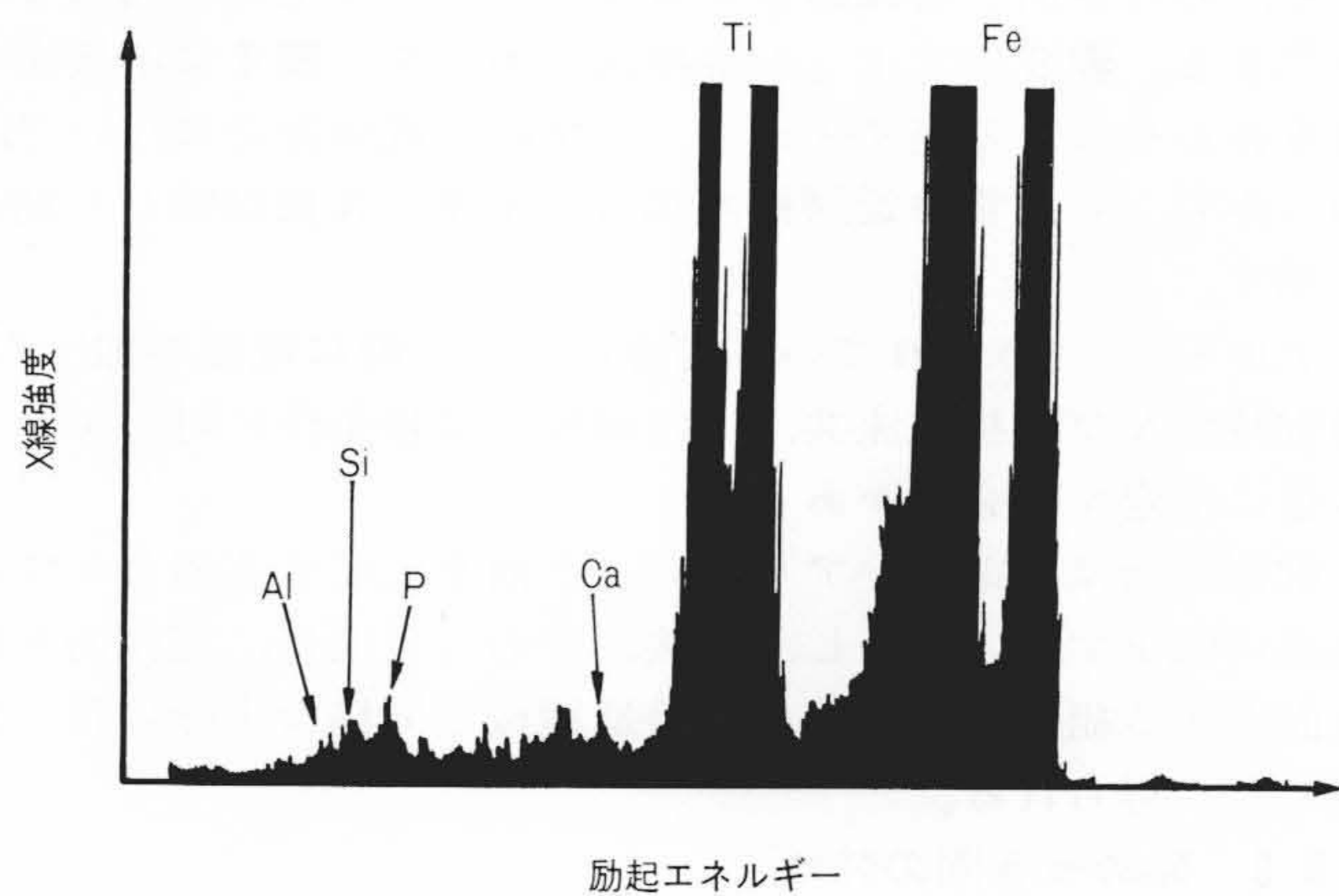
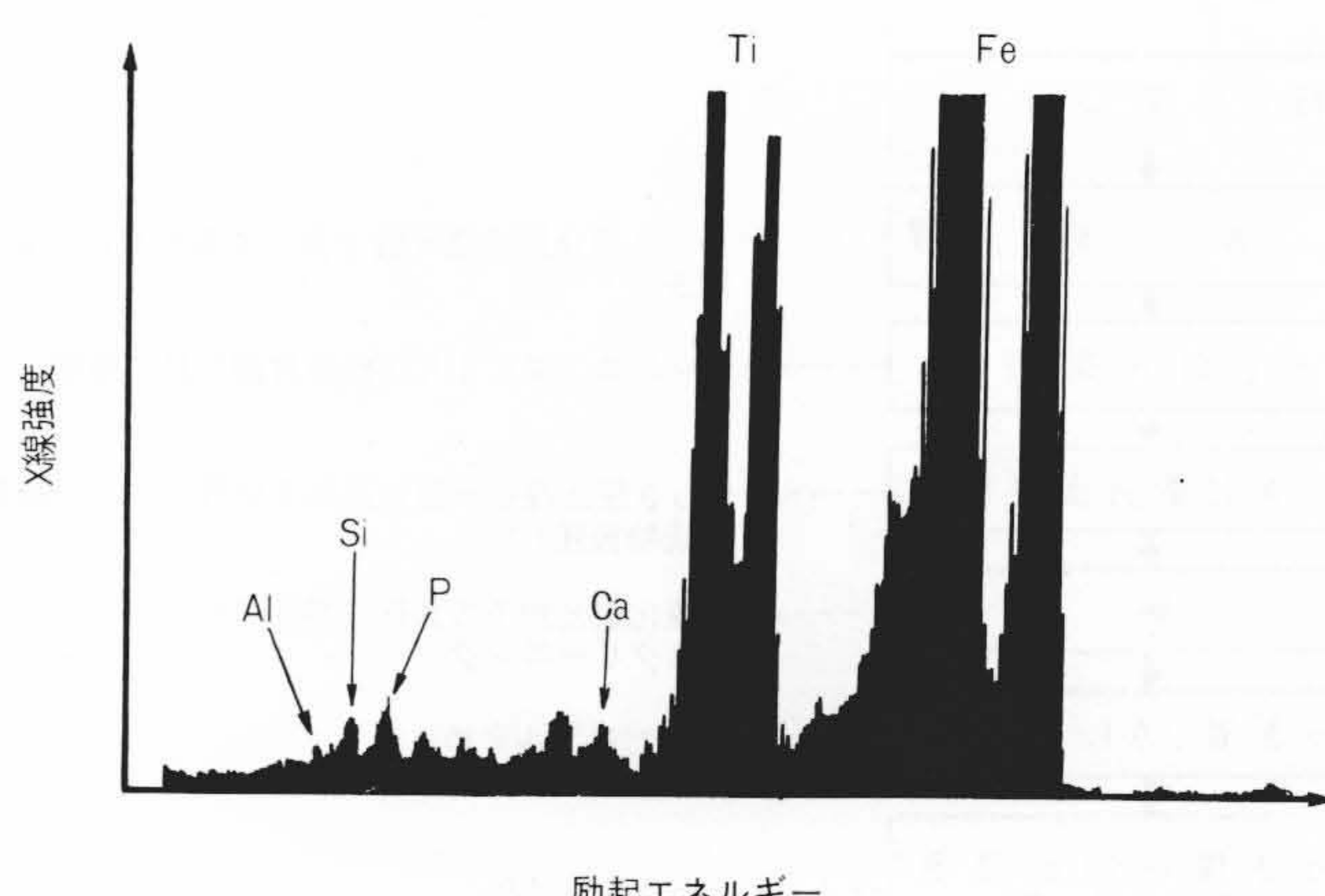


片面アルミ非めっき面



冷延鋼板面

(a) 表面外観

励起エネルギー
片面アルミ非めっき面励起エネルギー
冷延鋼板面

(b) 蛍光X線による表面組成分析結果

図11 片面アルミ鋼板の非めっき面と通常冷延鋼板の表面特性比較

両方は、表面外観及び組成成分ともほとんど同じ特性で、塗装性に優れている。

も残存することは許されない。また、ブラシ後の外観も通常の冷延鋼板並みのものが要求される。

このために、めっき阻止剤除去用ブラシには、粒度240番程度の小径粒子の砥粒を含むナイロン系ブラシを使用し、阻止剤被膜の完全な除去を図った。

図11(a)に阻止膜除去後の非めっき鋼板面と、比較のための通常冷延鋼板面の外観を示す。両方の外観はほぼ同様な様相を示しており、表面粗さの測定結果でも冷延鋼板と同じ粗さ、すなわち最大 0.3μ 程度の粗さに処理されていることが確認できた。

図11(b)に、阻止膜除去後の非めっき鋼板面と、比較のための冷延鋼板面での成分組成を、蛍光X線によって分析した結果を示す。両方の成分組成及び成分強度はほぼ同一であり、完全にめっき阻止剤が除去されていることが分かる。

非めっき鋼板面に対する塗装試験結果でも、通常冷延鋼板面に対する塗装の場合と同様に、優れた鮮映性をもつ塗装が可能であることが確認された。

以上述べたように、片面溶融アルミめっき製品は耐食性を向上し、かつスポット溶接の電極寿命の問題も解決できることが分かった。また、非めっき鋼板面に対する塗装性の検討も行なったが、これは通常冷延鋼板と同等であることが確認できた。

なお、以上に述べた片面連続溶融めっき製品製造法は、アルミばかりでなく、亜鉛に対しても適用可能である。むしろ亜鉛のほうが融点が低くかつ比重も重いことから、めっき阻止膜への付着は少なくなり、アルミをめっきする場合より容易となる。

4 結 言

連続溶融めっき製品の品質、特に耐食性を向上させるための、二つの新しい技術を実用化開発することに成功した。

その一つは、めっき厚み制御部でのストリップの板幅端を、磁力装置で引っ張ることによって、ストリップの振動及び変形を減少させ、めっき厚みを鋼板全表面に対し均一化する技術である。

もう一つは、片面連続溶融めっきの分野で、めっき阻止剤による製造法を可能にし、かついっそう耐食性に優れたアルミをめっきする技術である。この片面アルミめっき製品は従来亜鉛めっき製品に比較して、極めて優れた耐食性をもっていること、またスポット溶接に対しても、めっき面を溶接面とすれば、電極寿命低下の問題を解決できることを明らかにした。

終わりに、日新製鋼株式会社と日立製作所が共同で行なったこの研究に対し、御指導、御協力をいただいた多くの関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 伊藤, 外: 片面連続溶融めっき方法の開発, 鉄と鋼, Vol.68, 380 (昭57-4)
- 2) 片山, 外: 片面溶融アルミめっき鋼板の特性, 鉄と鋼, Vol. 68, 381 (昭57-4)
- 3) 羽田, 外: 新溶融亜鉛めっき設備技術と操業, 製鉄研究, 第304号, 85~101 (昭56-6)
- 4) 梅田, 外: 連続亜鉛めっき設備, 日立評論, 57, 5, 427~432 (昭50-5)