

メツキの厚さ測定法

——亜鉛メツキ鋼板の問題を中心にして——

久松敬弘・菅野昌義

1. まえおき

現在もつとも広く使用されている金属材料である銅は不幸なことにわれわれの住んでいる条件でもつともさびやすいものの一つである。さびを防ぐ手段にもいろいろの進歩があるけれども、今のところ銅製品をさびさせずに長年月の使用に耐えさせようとするれば、まず厚く亜鉛メツキを施すより仕方がなさそうである。厚い亜鉛メツキを行う方法としては、450°位の溶融亜鉛に浸して行う溶融メツキ、わが国ではメタリコンという名で通っている溶射被覆法、シエラダイジングとよばれる亜鉛浸透法それに現在では主として線材だけに行われている電気メツキがある。俗にトタン板といわれている亜鉛メツキ鋼板は溶融メツキ法によつて作られる。亜鉛メツキをほどこしたものの耐蝕性は今までのいろいろの研究によつて実験室でできる種々の腐蝕試験——たとえば食鹽水中につけるとか、食鹽水の噴霧にさらすとかして、さびの出るまでの時間の大小によつて比較するような加速された腐蝕試験——によつては判定することは不可能であつて実際の腐蝕条件に長年月さらしてみなければならないということが知られている。このような長期間の曝露試験による大體の結論としては、亜鉛メツキの耐蝕性は、そのメツキの方法の種類によらないで、メツキの厚さによるということになつている。亜鉛メツキは亜鉛の鐵に對する電気化學的位置からいつて、普通のメツキ（たとえばニッケル・メツキ）とちがつて、ピンホールとよばれる小孔の存在は耐蝕性にあまり影響をもたないので、メツキ層の厚さが重要な意味をもつてくるわけである。溶融亜鉛メツキでは他の方法による場合とちがつて、表面の亜鉛層と下地鋼との間に鐵亜鉛合金層ができるので、メツキの厚さをたとえば何ミクロンといつたいい表わし方をしないで、単位表面當りの亜鉛の付着量をもつて示すことになつている。これは溶融メツキだけにかぎらず線材の厚い電気メツキについても同様にいい表わしている。

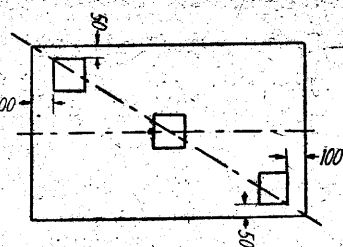
2. 亜鉛メツキ鋼板の試験法

亜鉛メツキ鋼板のメツキ試験は、日本工業規格 JIS H 0401 (1950) の中に定められている。およそこの種のメツキの試験には、メツキが使用条件ではがれてはいけないという点から行う機械的試験と、化學的試験ともいふべきメツキの性状——すなわち厚さ・均一性・耐蝕性の

メツキには普通の電気メツキの他に熔融金屬に品物をつけてメツキする溶融メツキやその他のいろいろの方法があるが、いずれの作業でも、その厚さ、ことに厚さの分布を知っていることは作業の管理の上のぞましいことである。亜鉛メツキ鋼板の場合を中心にしてこの問題をとりあつたつてい。

試験が行われる。亜鉛メツキ鋼板では後者の試験としては、厚さ測定に相當する付着量試験だけを行えば良いことに定められている。耐蝕性試験または腐蝕試験を行わないことは前述の通りである。均一性の試験としては、他の種類の製品では硫酸銅試験(タンベン試験)が採用されている。これは硫酸銅飽和水溶液に試験片を普通一分間浸して、亜鉛を銅と置換させ、一分ごとにとり出して亜鉛の上に析出した銅をぬぐいとり、亜鉛の一番薄い所がなくなつて下地鋼面が露出しこの上に密着性のある銅が析出するまでの浸漬回数によつて、いわばメツキのもつとも薄い個所の厚さを比較しようとしたものである。亜鉛メツキ鋼板についてこの試験を除外しているのは、硫酸銅試験の試験片程度の大きさについてはメツキに不均一性がないからということにもとづくものであつて、板全體について均一性を問題にする必要がないということではない。亜鉛メツキ鋼板の付着量試験としては JIS では、直接重量法・鹽化アンチモン法の二つが採用されている。直接重量法というのはメツキ作業中のある原板について、酸洗・水洗の後これを充分乾燥してその重量をはかり、この板を他のものと同一の作業でメツキした後再び秤量して、その間の増量を板の表面積で割つたものを亜鉛付着量とするものである。この付着量の単位としてはわが国では平方メートル當りのグラム数 (g/m²) を用いるが、輸出向および慣習によつて 1 平方フット當りのオンス数 (oz/ft²) もよく使われている。1 oz/ft² は 305 g/m² である。この付着量の表示の場合、亜鉛メツキ鋼板では他のものと異つて板の兩側の亜鉛量をもつてよぶことになつている。つまり亜鉛メツキ鋼板の場合の 1 oz/ft² というのは、片側のメツキの厚さとしてはこの半分の 0.5 oz/ft² (大約 21 ミクロン) に相當するものである。直接重量法は上にのべたように非破壊の試験であるが、鹽化アンチモン試験はメツキされた板から小試験片を切りとつて、この試験片のメツキをはがしてその付着量を求める破壊試験である。この鹽化アンチモン試験には三點法と最小點法の二つがある。

三點法は第1圖のように板の中央から1枚、對角線上反對の位置で少くとも圖示の寸法以内の個所から2枚計3枚の試験片をとる。最小點法



では上の三點法に 第1圖 JIS 三點法の位置 (mm) ならつてとつた試験片の内もつとも付着量の少いものを最小點法の成績とするかまたは圖示の寸法以内の任意の一個所から1枚の試験片をとる。亜鉛メッキ鋼板の鹽化アンチモン試験では試験片の大きさは常に 57.2 mm (2.25 in) 平方にとる。これはこの試験片を清淨にした後秤量し、鹽化アンチモンをインヒビターとして加えた濃鹽酸によつてメッキをはがし、水洗・乾燥の後再び秤量してその差をグラム數で表わしたとき、この數値が直ちに oz/ft² で表わした付着量となるからである。これはもろん板の兩側の亜鉛メッキ付着量であつて、從つて薄板の場合以外にはこのような寸法の試験片のとり方はしない。三點法による成績は上の三つの試験片の平均値をもつてする。この鹽化アンチモン試験ではメッキ層を全部とりのぞいたものが二度目の秤量値として得られるので、この付着量には合金層中の鐵分もふくまれることになる。さてこの合金層であるが鐵亜鉛系には亜鉛に近い方から FeZn₁₃, FeZn₇, Fe₅Zn₂₁ という化合物があるが、薄鋼板の場合普通の作業温度では合金層としてはまず FeZn₁₃ だけを考えればよい。この合金層と表面亜鉛層の厚さを別々に知ろうとするには、メッキを陽極的に一定電流密度で溶して行けば、電壓の時間に対する變化の様子から兩者の厚さが別々に求められる。これは線材の場合だと均一にメッキをとかすことが割合に容易であるので、よく行われているが¹⁾、板ではなかなかうまく行かない。しかし大體の見當はつくものである。

上にのべたように直接重量法は板全體にのつている亜鉛量を片側の面積で割つたもので、こうして得られた付着量は全體の厚さが均一であれば板の亜鉛メッキの厚さになるが、後にくわしくのべるように厚さの分布が均一でなく、周邊が厚く中央部が薄くなつてゐる。それで規格でもたとえば次のような決め方をしている。1.25oz/ft² の付着量をもつ亜鉛メッキ鋼板というのは、直接重量法による値が 1.00 oz/ft² 以上であれば合格で、三點法ではこの値は 0.90 oz/ft²、最小點法では 0.80 oz/ft² となつてゐる。(JIS G 3302 (1951))

現場で實施されている付着量試験は上の二つであるが鹽化アンチモン試験は破壊試験であるので、作業管理は直接重量法によつて行つてゐるのが本邦の現況である。直接重量法を 30 分に1回位の割合で行つてゐるのが普

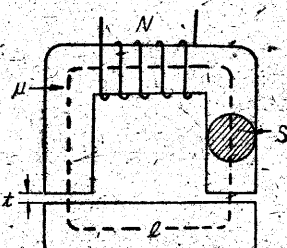
通のようである。そこでもつと簡単な非破壊試験が望まれる。他の非破壊付着量試験としてはX線によるもの、磁氣的方法、電磁的方法等²⁾があげられる。X線法はガイガー・カウンタが廣く使えるようになればおそらくこれが一番良いだろうと思われる。磁氣的方法是は現在米國等で市販されているのは、吊した小さな永久磁石と下地鋼板との磁氣的吸引力が非磁性のメッキ層によつて弱められることを利用したもので、これでは普通の電氣メッキ程度の厚さ (1 桁ミクロン程度またはそれ以下) も測れなうである。磁氣的方法のもう一形式³⁾は、鐵針をコイルで磁化するもので原理は同じである。電磁的方法 (現在價格の上で一番やすくつきそうである) については以下にわれわれの行つたものについてのべるが、これは紙の厚さとか塗膜の厚さとかには良く使われてきたが、メッキ程度の薄いものについては良好な結果が得られなかつたものである。これらの方法によるときは當然板の片面の局所的付着量を測ることになり、三點法又は最小點法に従うことになるわけである。

3. 電磁的メッキ厚さ測定法

1) 測定原理および方法

電磁的メッキ厚さ測定

法にも自己インダクタンス變換によるものと相互インダクタンス變換によるものとがあるが、測定器の構造上自己インダクタンス變換によるものの方が都合がよいので、われわれの所ではこれによる装



第2圖 インダクタンス變換器置を設計試作した。まずその原理についてのべる。第2圖のような空隙を有する鐵心をもつ電磁コイルのインダクタンスは

S : 鐵心の斷面積 l : 鐵部分の磁路の平均長さ

l : 空隙の幅 N : コイルの巻數

μ : 鐵心の透磁率

とすると次の式で與えられる

$$L = L_0 + 4\pi N^2 S / (l/\mu + 2l) \text{ e.m.u.}$$

$$= L_0 + \{4\pi N^2 S / (l/\mu + 2l)\} \times 10^{-9} \text{ H}$$

ただし L_0 は空隙を通過しない磁束による漏洩インダクタンスである。上式は N, S, l, μ を一定とすると、次のような形にかくことができる。

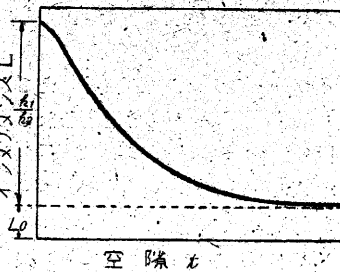
$$L = L_0 + k_1 / (k_2 + l) \quad \text{ただし} \quad k_1 = 2\pi N^2 S$$

$$k_2 = l/\mu$$

この式から空隙 l とインダクタンス L との關係を圖示すると第3圖のようになり、 l が小さくなるに従つて L は大きくなる。この時の感度すなわち l の變化に對する L の變化の割合は

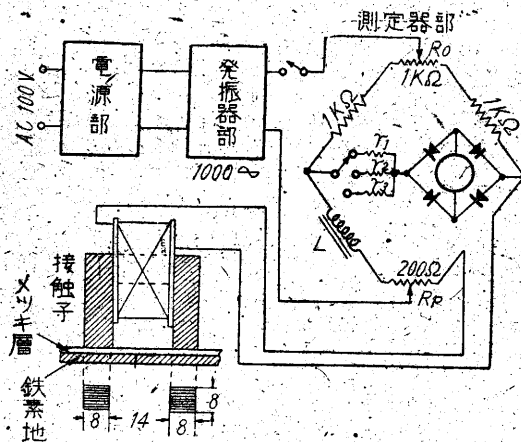
$$dL/dt = -k_1/(k_2 + t)^2$$

で表され、 t を小さくするほど感度は高いが、容量型変換器と違って、 t が k_2 にくらべてあまり小さくなると、次第に一定値 $-k_1/k_2$ に近づく感度は良くなる。 $k_2 < t$ の範囲では $dL/dt \approx -L/t$ となり、ほぼ直線関係が得られる。そこで強磁性の鋼板の上にコ型鉄心を有するコイルをおけば、このコ型鉄心と鋼板とで磁路が閉じられもしこの鋼板の上に非磁性の金属たとえば亜鉛メッキのような層があれば、これが空隙と同じ作用をして磁気的には第2圖と同一の回路となる。それでインダクタンス L の変化を知ればメッキの厚さが求められるわけである。われわれの装置ではこの L の変化を測定するためにマックスウェル型交流ブリッジを用いた。装置の概要は第4圖に示す通りで、電源部、発振器部、測定器部および接触子からなり、前述のコ型鉄心コイルは接触子と



第3圖 インダクタンスと空隙との関係

の範囲では $dL/dt \approx -L/t$ となり、ほぼ直線関係が得られる。そこで強磁性の鋼板の上にコ型鉄心を有するコイルをおけば、このコ型鉄心と鋼板とで磁路が閉じられもしこの鋼板の上に非磁性の金属たとえば亜鉛メッキのような層があれば、これが空隙と同じ作用をして磁気的には第2圖と同一の回路となる。それでインダクタンス L の変化を知ればメッキの厚さが求められるわけである。われわれの装置ではこの L の変化を測定するためにマックスウェル型交流ブリッジを用いた。装置の概要は第4圖に示す通りで、電源部、発振器部、測定器部および接触子からなり、前述のコ型鉄心コイルは接触子と

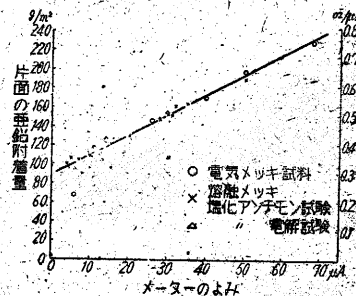


第4圖 電磁的メッキ厚さ測定回路

してコードで自由に動かせるようにしてあり、他の部分はカットの寫眞のようなゲースに一まとめに組込んである。第4圖のようにブリッジの一邊に接触子を入れている。従来この方法では 50 サイクルしか使われていないが感度を上げるために、この装置では発振器部で真空管発振器により約 1000 サイクルの交流を発振してこのブリッジに入れる。接触子の對邊の L は、接触子を空隙零すなわち直接鋼板の上にのせた場合の接触子のインダクタンスにほぼ等しいインダクタンスをもち、コイルの巻数・鐵心等も接触子と等しいものを用いた。測定に際してはまず測ろうとするメッキ鋼板の下地と同じでメッキしていない鋼板の上に直接接触子のをせて、零調節 R_0 お

よび位相調節 R_1 の可變抵抗を調節してブリッジを平衡させ 100 μA 電流計の電流を零にする。ここには亜酸化銅整流器があつて交流を兩波整流してメーターに通すようにしてある。次にこの接觸子をメッキ鋼板の上にのせてメッキの厚さに應じた不平衡電流をメーターで讀んで校正曲線から厚さまたは付着量に換算するのである。接觸子の鐵心は感度の式からもわかるようにできるだけ μ の値の高いものがよいが、入手しやすい點からトランス用珪素鋼板を重ねて固定し、接觸面は1ミクロン程度の粗さに仕上げ、さびどめのため薄くクロムメッキをほどこしてある。抵抗 r_1, r_2, r_3 は測定しようとするメッキの厚さに應じてメーターの感度を變えるためのものである。

2) 測定の實例 この装置を用いて測定するときには下地の鋼板の厚さ・組成・熱處理等の相違によつて零點が變動することが考えられるが、入手した各種の亜鉛メッキ鋼板のメッキをはがしたものについて實驗してみたところによると、鋼板の厚さは #22~#31 程度の範囲にわたつては零點の變動はなく、組成の違いおよび板の方向による變動もないようであつた。まず亜鉛メッキ用の鋼板に、電気メッキによつて片面の付着量を定めた各種の標準試料を作成し、これによつて電磁メッキ厚さ測定器の μA メーターの讀みと亜鉛付着量との関係を求めると第5圖の○點のようになる。



第5圖 亜鉛付着量とメーターのよみとの関係

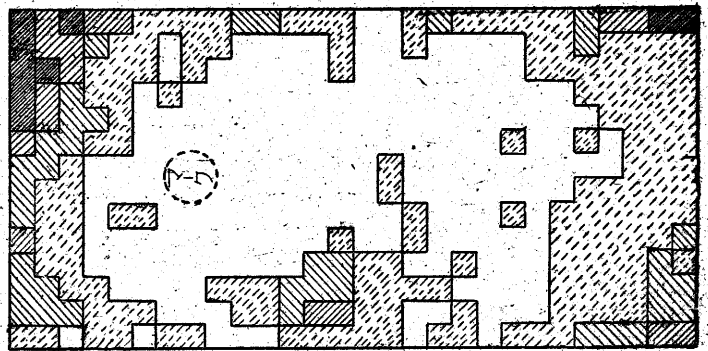
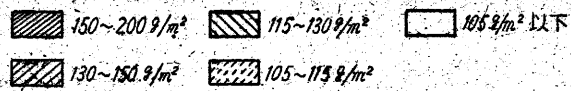
る。溶融メッキでは合金層が存在することが電気メッキの場合と異なるので、亜鉛メッキ鋼板の鹽化アンチモン試験による付着量とメーターの讀みとの関係をも求める必要がある。このために市販の #31 の亜鉛メッキ鋼板について、一枚の板でも厚い所から薄いところまであるのでメーターの振れの異なるいろいろの場所について、その場所より試験片を切りとり、裏面をパラフィンでおおつて片面のみに對して鹽化アンチモン試験を行つて求めた付着量とメーターの讀みとの関係を示すと同圖の×點のようになる。

この兩者はかなりよく同一の直線の上にいるが、ただ付着量の少い所では電気メッキ標準試料による點がはずれてくる。一般に磁気的方法是合金層のために低い讀みを出えるから溶融メッキに對しては不充分であるといわれている⁴⁾ がこのことがその間の事情を示しているものと思われる。上に用いた亜鉛メッキ鋼板について Britton の溶液¹⁾ による陽極溶解法によつて合金層の厚さを求め

てみると、亜鉛層との合計付着量（第5圖△點）のいかんによらず大體一定で、付着量として 45 g/m^2 位である。メッキの一番薄いところでも合金層は全體の 50% 位ということになる。鐵-亜鉛二元合金系の磁氣的研究⁵⁾によると化合物はすべて常磁性で、亜鉛（鐵を固溶しても）の比帯磁率は -10^{-7} 、 FeZn_{13} は $+10^{-7}$ のオーダーあるから、合金層による影響はその磁氣的性質にあるのではないと思われる。なお、電気メッキと溶融メッキとの差のあらわれてくる範圍（厚さにして 10 ミクロン以下）では、珪素鋼板程度の μ では原理の項でのべたようにコイルの特性からも装置の精度も落ちているし、また下地鋼板表面のでこぼこが 2~5 ミクロンもあるので、はつきりしたことはいえない。装置の感度はもつと μ の大きな鐵心を使えばさらに上るはずである。またこのような感度曲線は抵抗 r_1 等を變化させることによつていろいろに求められる。

以上の實驗から校正曲線としては鹽化アンチモン試験による直線を取り、大體の精度もわかつたので、この装置を用いて市販の #31, $3' \times 6'$ の亜鉛メッキ鋼板の全體について厚さの分布を調べてみた。これは亜鉛の節約の上からも、板の周圍に不必要に多量の亜鉛をつけないようにできるだけ均一なメッキをすることが作業管理の上から望ましく、そのためにはまず全體がどんな付着量の分布をしているかを知ることが大切だからである。實驗はメッキ鋼板の全體について、ごく端の部分すなわち長邊より 1 インチ、短邊より $1/2$ インチの部分のをぞいた内部を、縱横 $2\frac{1}{2}$ インチごとに 28 および 14 に分け、結局全體を 392 カ所の $2\frac{1}{2}$ インチ角の部分に分けて、その各部分について電磁メッキ厚さ計でメーターのよみをとって校正曲線から片面の亜鉛付着量に換算し、全體を 5 つの範圍に分類して分布圖を畫くと第6圖のようになる。このような付着量の分布圖は鹽化アンチモン試験をこれだけの回数行えば得られるものであるが、これは中々大變なことである。一應板の周圍の方が厚くなることは豫想される通りであるが、中央近くに厚い所があつたりして必ずしも規則的ではない。

次にこの装置をもつて直接亜鉛メッキ現場に出掛けてもつとメッキの厚い輸出向のものについて直接重量法との比較を試みた。その一例を示すと第1表のようにまとめられる。これは 1.25 oz/ft^2 の注文の亜鉛メッキ鋼板であり、#22, $2.5' \times 8'$ である。表からわかるように直接重量法やこの装置による三點法の値は前述の JIS の規格よりかなり高くなつてゐるが、最小點法ではぎりぎり位である。この板の最小點(中央)の付着量は現在のわれわれの装置ではかなり精度の低いところに来てゐるので、厳



第6圖 亜鉛メッキ鋼板付着量分布圖

第 1 表

1.25 oz/ft ² , #22, 2.5' × 8'					
		g/m ²	oz/ft ²	JIS oz/ft ²	
直接重量法		350	1.15	>1.00	
	片面の附着量 A	A × 2			
	(g/m ²)	g/m ²	oz/ft ²		
三點法	表	153	306	1.00	>0.90
	裏 (表點の下)	163	326	1.07	
最(中)點法	表	115	230	0.76	>0.80
	裏	132	264	0.87	

密な判断はむずかしいがとにかく周邊部にくらべ中央部がかなりに薄くなつてゐることがわかる。

以上のべたようなこの装置による付着量測定に際してもつとも障害となることは、板の大きなでこぼこ(面の粗度でなく)である。すなわち板に肉眼的な大きなでこぼこがあると、接觸子と鋼板との間にメッキによらない間隙ができてこのための誤差を生ずるのである。

以上がわれわれの試作した電磁メッキ厚さ計による結果であるが、さらに回路上の問題その他につき検討を加えつつある。御指導をいただいた小川芳樹教授に御禮を申上げるとともに、亜鉛メッキ現場の方々にも今後とも御教示をお願いしたい。

附記：本誌第3巻(1951)7月號グラビアに出した陽極溶解法によるメッキ厚さ測定法は本題のものよりさらに薄く、普通の電気メッキ製品の局部的なメッキ厚さ測定法で、その精度もかなり良いものであるが、これについては他誌⁶⁾にその詳細を投稿中であるので、ここではふれなかつた。

文 献

- 1) 小川・久松：金屬表面技術 1 (1950) No. 5, 5, 25
- 2) X線法；仙田・山本：日本金屬學會第 26 年秋季講演會に發表その他文獻については山本洋一譯：現代電気メッキ技術 p. 36 参照
- 3) 武井・杉本：金屬表面技術協會第 26 年春季講演會に發表
- 4) J.R. Daesen: Galvanizing Handbook (1946) p. 154
- 5) J. Schramm: Z. Metallkunde 30 (1938) 327
- 6) 金屬表面技術に投稿中