渦電流式膜厚測定

結 城 英 恭*

Measurement of Coating Thickness by Eddy Current Equipment

Hideyasu YUUKI*

Key Words : Thickness Measurement, Coating Thickness, Eddy Current Equipment

渦電流式膜厚計は非破壊計測が可能で、しかも $0.1\mu\text{m}$ の分解能をもっているため、アルマイト被膜を中心に品質管理から研究開発用まで広く用いられている。

1. 原 理

渦電流式を原理とした膜厚計は、アルミニウム、銅、真ちゅう、オーステナイト系のステンレス等の良好な導電材料に施された塗装、樹脂、酸化物等の絶縁材料の膜厚測定に多く用いられている。

測定原理は、図1のようにフェライト材料にコイルを巻き、それに高周波電流を流して導電材料に近づけるとその導電材料の表面に渦電流が流れる。この渦電流は、図2のようにコイルと導電材料との距離 (D) にほぼ比例的に変化する。これをコイル側から論じると、コイルのインダクタンスが変化することになる。従って、コイルと導電材料の間に存在する材料、即ち皮膜が絶縁材料であれば図2と同様な関係が成り立ち、インダクタンスの変化量と膜厚との関係を予め求めておけば、非破壊式膜厚計として用いることができる。

では、実際に渦電流式膜厚計を設計する際に留意する点はどんなことであろうか。渦電流を発生させるには、周波数が高いほど有利であるが、必要以上に高くすると、電子回路、センサー（コイル部）の周囲温度やロケーションによる不安定

図1 渦電流式膜厚計の測定原理

図2 インダクタンスの変化量と膜厚の関係

さが問題となる。一般的には、 $1\sim 10\text{MHz}$ 程度の周波数帯が多く用いられている。また最近ではインダクタンスの計測には、発振回路方式が最も多く用いられているようである。この方式は、構成部品点数が少なく、低価格で優れた安定性をもっている。

渦電流式膜厚計でもう一つ大事なことは、センサーの先端部分の材料である。センサーの先端部は、測定対象物に常に接しているため、機械的には、耐摩耗性、耐衝撃性が、また電気的には優れた絶縁性が要求される。これらの条件を満足する材料として、人工ルビーやサファイアが用いられ

* (株) ケット科学研究所 (〒143 東京都大田区南馬込 1-8-1, ☎ 03-776-1111)
Ket Electric Laboratory (8-1, Minami-magome 1-chome, Ohta-ku, Tokyo 143)

ている。

以上、渦電流式膜厚計の性能を左右するポイントをまとめてみると、使用する周波数、インダクタンス計測回路、センサー部の機械的強度そして電気的絶縁性等が挙げられる。膜厚計は、これらの要素がそのコストに応じてバランス良く使われていることが大事である。

2. 特 徴

- (1) 非破壊計測ができる。
- (2) 非破壊計測が可能であることから、測定回数を多くとれるので、測定対象物の特定部位に限らず全体の膜厚を簡単に把握することができる。現在では、統計計算機能が設けられているものも用意されている。
- (3) 小型軽量である。本体重量が 500 g 以下のものもある。
- (4) 取扱いが簡単で、足場の悪い現場での計測も可能である。
- (5) 繰り返し精度が良く、個人差が生じない。
- (6) 安価である。

3. 得意、不得意とする被測定検体

渦電流の流れ具合は、素地材質に最も強く影響されるが、素地自身の厚さや素地表面粗さにも関係する。従って、アルミサッシのアルマイト皮膜測定のように、素地厚さが確保され、かつ素地面が比較的平滑なものでは、精度よく測定できる。ところが、ブラスト処理された粗い素地面をもつ材料や、アルミ缶のように素地自身の厚さが 100 μm 程度の材料では、測定器本来の精度を求めることは難しい。もっとも、素地厚さや表面粗さが、渦電流に影響を与えないような一様の条件をもってれば、それなりにキャリブレーションを行って測定することができるが、実際には条件が整っていない。

4. 標準板についての留意点

渦電流式膜厚計には、キャリブレーションのた

めの標準板が必ず装備されている。キャリブレーションは、既知の厚さの標準板を用いて行われるので、標準板の精度が膜厚計の精度に直接係わることになる。従って、標準板は、経時的に厚さが変わらず物理的、化学的強度が優れているものが要求される。もしも、使用過程で、傷ついたり、折れ曲がったりした場合は、新しいものと交換して常に正しいキャリブレーションが行えるように、そのメンテナンスに留意する必要がある。

ここに標準板として必要条件を具体的に列記する。

- (1) 表記されている厚さが正確である。
- (2) 絶縁性に優れている。
- (3) センサーを押し当ててもへこみ難い。
- (4) 厚さが、温度等の周囲環境に影響されない。
- (5) 厚さが、経時的に変化しない。
- (6) 部位による厚さのバラツキがない。

以上の条件を満たす材料として、現在のところポリエステル・フィルムが多用されている。

5. キャリブレーション

渦電流式膜厚計は、比較測定であるため、測定素材ごとに使用前にキャリブレーションをする必要がある。ただし、最近、マイコンを備えたものが市販されるようになり、キャリブレーションによって得られた検量線を記憶することができ、同一素材であれば、測定ごとにキャリブレーションをする必要がなく大変使いやすくなっている。キャリブレーションは次の点に留意する。

- (1) 測定対象物と同じ材質、形状の素地（原則として平滑な面をもったもの）を用いる。
- (2) どうしても標準板自身に部位による厚さの違いがあるので、それによる誤差を避けるた

表 1 膜厚の測定範囲とキャリブレーション

測定範囲	標準板 4 点 調整
0~100 μm	ゼロ板, 10 μm , 40 μm , 100 μm
100~400 μm	ゼロ板, 40 μm , 100 μm , 400 μm
400~800 μm	ゼロ板, 100 μm , 400 μm , 750 μm

図4 高周波磁界の分布

め、多くの部位を測定し、その平均値を採用するようにする。

- (3) 測定対象物の膜厚の測定範囲によって、方法を分ける。具体的には、次のような方法が最適である(図3)。

6. 測定時の留意点

6.1 素地の厚さによる影響

センサーから発する高周波磁界は、図4のように分布している。この磁界が素地厚を通過しなければ、その範囲内で厚さが異なっても測定値に影響することはないが、通過するとなると問題がある。具体的には、素材が薄くかつその素材の厚さにバラツキがあると、渦電流変化は膜厚のみならず厚さにも影響され、その分が誤差となる。これを避けるための方法として次の点に注意する。

- (1) 磁界が通過する材料で、その厚さが一定のものでは、十分厚さのある機械的強度のしっかりした絶縁材料(例えばアクリル)の上で測定する。
- (2) 素材が薄く厚さのバラツキがあるものは、キャリブレーション、計測時ともに、そのものと同じ材料で厚さが十分あるものを敷いて測定するとよい(図5)。

6.2 素地の材質による影響

原則的には、素地の導電率の違いによって、測定値に差がでるので、測定対象と同様な材料でキャリブレーションをしなければならない(図6)。

6.3 素地の面積による影響

小さな部品や形がさまざまな部品を測定するに

図5 素地の厚さによる影響

図6 素地の材質による影響

図7 試験片

図8 測定面積の影響

は、その面積を考慮しなければならない。一点接触式センサーは、点接触なので小さな部位も何の考慮もせずに測定できると考えがちだが、実際センサーから発する磁界は接点の数倍以上にもなる。そこで、測定対象物の面積が、膜厚測定にどの程度影響するか試験してみた。

試験方法は、一枚の平滑な金属板(純度の高いアルミニウムか銅が良い)から一連の異なった直径の円板を打ち抜く。一番径の大きい円板でキャ

図9 測定形状

図10 測定形状(直径)の影響

リブレーションをとり、順次径の小さな円板を測定する。このような測定面積による誤差を避けるためには、測定対象と同様な形状の材料でキャリブレーションすることの他はない(図7, 8)。

6.4 丸棒、パイプ状の材料の直径による影響

測定対象物は平面とは限らず、丸棒やパイプそして自動車のボディのようにわん曲したものもある。丸棒の直径による誤差がどの程度か、一つの材料を図9のように機械加工して調査してみた。方法は前項6.3と同様に最大径の所でキャリブレーションをした後、径の大きなものから順次測定した。ここでも直径によって誤差が生じる。これの解決方法は前記6.3と同様である(図10)。

7. 表示・記録方式

最近では、マイコンやデジタル技術の進歩により、安価で、小型・軽量のデジタル式ディスプレイが、膜厚計に多く採用されている。デジタル表示器は、液晶(LCD)または発光ダイオード(LE

*** DATE 85.10.17 ***	日 付
*** U.LIMIT=100 ***	上限設定値
*** L.LIMIT=50 ***	下限設定値
*** OFFL. H0=1 ***	アフリケーションNo
*** LOT 96321 ***	ロット番号
H=0001 B=01 83.7um	測定値
H=0002 B=01 83.4um	
H=0003 B=01 85.8um	
H=0004 B=01 54.0um	
H=0005 B=01 83.1um	
BLOCK RESULT	統計結果
H = 0001-0005	測定回数
B = 01	ブロックNo
R0 = 78.4um	平均値
S = 11.2um	標準偏差
Hmax = 85.8um	最大値
Hmin = 54.0um	最小値

図11 印字例

D)のものが主流で用途によって使い分けられているが、消費電力が少ないLCD表示が多く使われている。また膜厚計自身が多機能になったため、表示内容も単に膜厚値にとどまらず、統計結果を表示できるようになったので、ドットマトリックス型の表示器が使われている。表示の他、膜厚値を顧客へ提示したり、管理用データとして保存する要求が多くなり、表示と同時にプリンターで印字できる機能をもったものも市販されている。印字内容も膜厚値、日付、管理膜厚範囲、統計結果等多彩である(図11)。

(1989-1-17 受理)

参考資料

「陽極酸化皮膜に用いるうず電流式膜厚計に関する調査」

軽金属製品協会・東京アルミサーフト研究会