浸セキ塗装におけるコーナ一部の膜厚

高橋 俊郎*・中村 勝彦*

Film Thickness of a Corner in Dip-Coating

Toshiro TAKAHASHI and Katsuhiko NAKAMURA

Film thickness distribution of water soluble acrylic resin paints dip-coated on extruded aluminum shapes has been investigated, under stationary state, with some theoretical considerations. Test pieces were of bent plates having curved corners, radii of which varied with each specimen over the range of 0.02~0.2cm. Dip-coating was done with withdrawal speeds of 1.03 and 1.50cm/s. Values of Ca ($Ca = \mu Vw/\sigma$) were 4.8×10^{-3} and 7.0×10^{-3} , respectively, and values of Go ($Go = R(\rho g/2\sigma)^{1/2}$) were in the range of 0.08~0.79, where μ is viscosity, σ is surface tension, ρ is density of paint and g is gravitational acceleration. The following results were obtained by the above experiment. 1) A gradual decrease of film thickness from the plane portion to the corner was observed with the minimum value at the apex. 2) Film thickness at the corner (h''_{th}) can be calculated theoretically by multiplying the thickness on plane portion (h_{th}) by a coefficient $C'm$, that is

$$h''_{th} = C'm \cdot h_{th} \\ = C'm [0.944 Ca^{1/2} (\mu Vw/\rho g)^{1/4}]$$

$$\text{where } C'm = \frac{1}{\frac{2.4(Go-0.15)^{0.85}}{1+2.4(Go-0.15)^{0.85}} + \frac{0.5}{(Go-0.15)}}$$

$$Go = R \left(\frac{\rho g}{2\sigma} \right)^{1/2} \geq 0.15$$

3) Residual coefficient (K) was found to be almost equal both at the bent portion and on the other flat surfaces if the painting conditions would be the same.

$$h''_{ov} = K \cdot h''_{th} = K \cdot C'm \cdot h_{th}$$

where h''_{ov} is the measured value.

1. 緒 言

浸セキ塗装法によって被塗物に付着する塗膜厚の分布については、前報^{1),2),4)}までにアルミニウム製の平板や円筒を被塗物として実験を行ない報告した。これによると塗装条件を同一にして塗装を行なうと、円筒に付着する塗膜厚は平板の塗膜厚に Go 数 (Goucher number, $Go = R(\rho g/2\sigma)^{1/2}$) の関数である $C'm$ (平板の膜厚より円筒の膜厚を求める係数) を乗ずることにより算出でき、しかも残留係数値が同一となった。

実際に生産ラインで塗装の行なわれている被塗物の形状は多種多様であるが、要約すればすべての被塗物は平面と円筒面との組合せでできているといっても過言ではない。そこで、試験片として2つの平面が直交しコーナ一部が円筒面で構成されているものを選んで実験を行なった。(塗料はこれまでの実験で使用した水溶性アクリル系塗料である。)

平面と円筒面とによって構成されている被塗物のコーナ一部の円筒面に付着する定常状態となったときの塗膜表面は、曲面になる。その塗膜表面は表面張力により常に収縮しようとするため、表面の内外に圧力差を生ずる。試料が引上げ方向に等断面であれば圧力差 ΔP は塗膜を薄くする方向に、

$$\Delta P = \frac{\sigma}{R}$$

である。ただし σ は表面張力、 R は曲率半径を示す。すなわち ΔP という圧力差がコーナ一部の塗膜厚を平板の場合より薄くするはずである。そこで、この実験によってコーナ一部に付着する定常状態の塗膜厚の定量化を試みたので報告する。

2. 実験方法

2-1 実験装置

装置はこれまでの報告¹⁾で紹介したものと同一もので、無段変速機を使用して引上げ速度を調整でき、また塗料槽中の塗料温度を一定に保つため補助タンク内に加熱コイルを設置し、塗料温度を自動制御して一定に保つ方法を採用した。

* 理研軽金属工業株式会社 (静岡市曲金3-2-1)

Riken Light Metal Co. Ltd. 3-2-1, Magarikane, Shizuoka

2-2 塗料組成

塗料は水溶性アクリル系のクリヤー塗料で、その組成を表1に示したが、実験には水で希釈して使用した。

2-3 塗料物性の測定

塗料の物性は東京計器製の回転粘度計で粘度を、中村理工工業製のデュスイ表面張力計で表面張力を、浮標比重計で密度を計り、また乾燥後の塗膜密度はピクノメーターを使い測定した。塗料物性の測定時の塗料温度は浸セキ塗装を行なった時の塗料温度に合わせ測定した。

2-4 アルミニウム試験片

被塗物としての試験片は図1に示すような、直交した2平面と円筒面とから構成されたA6063のアルミニウム押出材を選んだ。試験片のコーナー部の円筒面の半径は0.02～0.20cmの範囲の9種類で、試験片の長さは各々1mとした。

2-5 塗装条件

塗装は次の工程に従って行なった。

1. 脱脂：5%サンクリン，50°C，5 min
2. 水洗：水道水
3. エッチング：5% NaOH，50°C，2 min
4. 水洗：水道水
5. ディスマット：15% HNO₃，常温，20 s
6. 水洗：水道水
7. 浸セキ塗装：塗料温度，40±2°C
8. 液切り：ふんい気温度，20±3°C，5 min
9. セッティング：ふんい気温度，20±3°C，10 min
10. 焼付け：180～190°C，30 min

塗装の際の引上げ速度はVw=1.03と1.50cm/sの2つの速度を採用した。また工程8と9の液切りおよびセッティングを行なったふんい気の湿度は30±3%の範囲であった。

2-6 塗膜厚の測定

引上げ速度をVw=1.50cm/sとしても、「浸セキ塗装

法における過渡状態の膜厚²⁾」の結果より、過渡状態の範囲は塗膜上端から30cm未満であることが予想される。そこで定常状態の塗膜厚を測定するため、上端の過渡状態および末端の影響をなくす意味で、試験片の上端より50～80cmの間から長さ約3cmの試料を10個ずつ採取した。

試験片より採取した試料の塗膜厚の測定は、下記の方法に順じて行なった。

1. 試料を顔料入り熱硬化性アクリル樹脂に埋め込む。
2. 試料をエメリーペーパー#280～#1500で、試験片の長手方向に対して直角に研磨する。
3. 試験をブリアンチンで研磨し、次に酸化アルミ#200で最終仕上げを行なう。
4. 研磨の終わった試料は金属顕微鏡で写真撮影する。

5. 図1に示した塗膜の付着図のh_b，すなわちコーナー部の焼付け後の最小塗膜厚を写真より読みとる。

このようにして得られたコーナー部の定常状態の焼付け後の塗膜厚より、焼付け前の塗膜厚(h''_{ov})は下記の式により算出した。

$$h''_{ov} = (\text{焼付け後の塗膜厚}) \times \frac{100}{\text{固形分}(\%)}$$

$$\times \frac{\text{焼付け後の塗膜密度}}{\text{塗料密度}}$$

3. 実験結果および考察

3-1 測定結果

表1に示す組成の水溶性アクリル系塗料を、水で80%希釈して実験に使用した。塗料物性の測定は浸セキ塗装時の塗料温度40°Cのときに行ない、表2に示すような結果を得た。その結果Ca数の値としてはVw=1.03cm/sのとき4.8×10⁻³，Vw=1.50cm/sのとき7.0×10⁻³となった。

コーナー部の測定塗膜厚，10点の平均値(h''_{ov})を各々の試験片のコーナー部の半径(R)に対して表3に示し、同時にGo数，係数Cmおよび円筒の理論塗膜厚(h'_{th})も併記した。Go数は0.08～0.79の範囲に、またCmの値は0.15～0.77の大きさになった。表3から測定

Table 1 Composition of paint (wt %).

Acrylic resin	30
Melamin resin	10
E G	25
B G	30
D A	5

Table 2 Physical properties of paint.

ρ (g/cm ³)	1.02
μ (poise)	0.15
σ (dyne/cm)	32.0
Solid matter (%)	18.5
Dilution rate (%)	80
Density of paint after drying	1.12

Fig. 1 Test piece.

Table 3 Relation between h'_{th} and h''_{ov} .

Radii of test piece R (cm)	Go	Cm	Film thickness (μ)			
			Vw=1.03 (cm/s)		Vw=1.50 (cm/s)	
			h''_{ov}	h'_{th}	h''_{ov}	h'_{th}
0.020	0.08	0.15	0	7.2	0	9.3
0.025	0.10	0.19	0	9.1	0	11.8
0.030	0.12	0.22	0	10.6	0	13.6
0.056	0.22	0.37	1.2	17.8	7.7	22.9
0.062	0.24	0.40	1.8	19.2	8.9	24.8
0.090	0.36	0.53	8.3	25.4	—	32.9
0.10	0.40	0.56	8.3	26.9	25.5	34.7
0.15	0.59	0.69	14.8	33.1	26.1	42.8
0.20	0.79	0.77	19.6	37.0	—	47.7

塗膜厚の値は引上げ速度の上昇にともない増大し、またコーナー部の半径の大きさに応じて増加³⁾することは円筒⁴⁾の場合と同様であった。しかし、半径がある値以下の場合には、塗膜がほとんど付着しないことがわかった。

図2にR=0.15cmの場合の試料写真を示したが、塗膜厚の付着状態は平面の部分よりコーナー部に向かうに従い徐々に薄くなり、コーナー部の頂点付近で最小塗膜厚となる。この傾向は他の半径の試料についても言えることである。

3-2 円筒の理論塗膜厚との比較

前報の円筒の理論塗膜厚(h'_{th})と今回の測定塗膜厚(h''_{ov})との間の関係を調べるため、これまでと同様に横軸に h'_{th} を、縦軸に h''_{ov} を取り図示したものが図3である。これは明らかに円筒の理論塗膜厚とコーナー部の測定塗膜厚との間に、平板や円筒のときのような原点を通る直線関係がない。筆者らは実験前にこの両者の関係はこれまでと同様原点を通る直線関係となるが、前報の円筒の場合より傾きが小さくなると予想した。

それは表面張力がコーナー部の膜を内側に押し、塗膜を薄くし、塗料内部の圧力を上昇させ、膜を内側に押し

力と平衡状態を保つと考えた。それゆえ、コーナー部の塗膜厚は円筒の場合より薄くなり、図3の h'_{th} と h''_{ov} の直線の傾きはさらに小さくなると予想したわけである。

しかし結果は塗膜がほとんど認められない範囲が存在し、 $h'_{th}=18\mu$ 付近から h''_{ov} の値が直線的に増加した。 $h'_{th}=18\mu$ 以下の値に対して塗膜の存在が確認できない理由については明らかでないが、表面張力による膜を内側に押しに打ち勝って塗膜が形成される限界がこの

付近にあるのであろう。

塗膜が認められないものを除いて、各測定点の関係を直線関係にあると仮定して、最小2乗法で求めた直線が図中の実線である。数式で表わせば、 $h''_{ov}=1.10h'_{th}-19.2$ となり、直線の傾き1.10はこれまでの平板や円筒での値0.70と比べて非常に大きなものとなり、しかも縦軸との交点が-19.2となった。これはコーナー部の理論塗膜厚(h'_{th})に円筒の理論塗膜厚(h'_{th})をそのままの形で使用することが適切でないことを示すものである。

そこで前報でのGo数と係数Cmとの関係にならって、Go数と h''_{ov} との関係について調べた。円筒の理論塗膜厚と係数Cmとの関係は(1)式に示した。

$$Cm=h'_{th}/h_{th} \quad \cdots(1)$$

コーナー部の理論塗膜厚についても同様に平板の理論塗膜厚との比、(h'_{th}/h_{th})という値とGo数との関係をみればよいわけである。しかし h'_{th} の値は求められないので、(h''_{ov}/h_{th})という値とGo数との関係を調べてみたものが図4である。図中の実線は係数Cmの値を示すものであり、また一点鎖線は(h''_{ov}/h_{th})のプロットより得た曲線で、図3からも予想されることであるが、この曲線は原点を通らずGo ≈ 0.15 を起点としてその値

Fig. 2 Section of test piece.

Fig. 3 Plot of h'_{th} vs h''_{ov} .

が増大している。このことから円筒に対する係数 C_m に相当するものがコーナー部の場合にも存在するとすれば、 C_m を Go 数の正の方向に0.15平行移動したものが、コーナー部の係数となると考えられる。

3-3 コーナー部における推定理論塗膜厚の導出

Go 数と h''_{ov}/h_{th} とから得られた図4における1点鎖線と、 C_m を正の方向に0.15だけ平行

移動した破線との関係をみてみると、同じ Go 数の値に対して h''_{ov}/h_{th} の値と破線で示す値が、ほぼ比例関係にあることがわかる。

破線の示す曲線を $C'm$ という記号で表わせば、 Go 数との関係は(2)式によって表わすことができる。

$$C'm = \frac{1}{\frac{2.4(Go-0.15)^{0.85}}{1+2.4(Go-0.15)^{0.85}} + \frac{1}{(Go-0.15)}} \dots (2)$$

この $C'm$ を円筒の場合の C_m に相当するものであると仮定して、円筒の時と同じ形にコーナー部の推定理論塗膜厚(h''_{th})を式で示すと(3)式となる。

$$h''_{th} = C'm \cdot h_{th} \dots (3)$$

h''_{th} と h''_{ov} との関係を求めるため(2)式より $C'm$ を、また(3)式より h''_{th} を算出し、その値を示したものが表4であり、その関係を図示したものが図5である。最小2乗法を用いてこの関係をこれまでの平板等のように直線で近似してみたものが図中の実線である。これを(4)式のように数式で表わし、 K 値および C の値を計算してみると、

Fig. 4 Plot of Go vs h''_{ov}/h_{th} .

$$C_m = \frac{1}{\frac{2.4Go^{0.85}}{1+2.4Go^{0.85}} + \frac{0.5}{Go}}$$

$$C'm = \frac{1}{\frac{2.4(Go-0.15)^{0.85}}{1+2.4(Go-0.15)^{0.85}} + \frac{0.5}{(Go-0.15)}}$$

Table 4 Relation between h''_{th} and h''_{ov} .

Radii of test piece R (cm)	Go	C'm	Film thickness (μ)			
			Vw=1.03 (cm/s)		Vw=1.50 (cm/s)	
			h''_{ov}	h''_{th}	h''_{ov}	h''_{th}
0.056	0.22	0.14	1.2	6.7	7.7	8.7
0.062	0.24	0.17	1.8	8.2	8.9	10.5
0.090	0.36	0.36	8.3	17.4	—	22.3
0.10	0.40	0.41	8.3	19.8	25.5	25.4
0.15	0.59	0.60	14.8	28.9	26.1	37.2
0.20	0.79	0.71	19.6	34.2	—	44.0

$$h''_{ov} = K \cdot h''_{th} + C \dots (4)$$

当然のことであるが、 C の値は-1.6 と非常に小さく、 $C \approx 0$ である。また残留係数 K の値は0.70 となり、これまでのクリアー塗料の残留係数値0.70 (平板)、0.71 (円筒) とほとんど同値となった。

以上のことから(3)式によって得られる h''_{th} が、図1に示すような直交する2平面と円筒面とから構成されるコーナー部の定常状態における理論塗膜厚の推定値を与えるものであると良いであろう。

3-4 溶剤の分圧と残留係数

液切りおよびセッティングを行なったふんいん気の条件は、温度20°C、湿度30%であって、この条件下における溶剤(水)の分圧は12mmHg となり、平板の場合の13mmHg、円筒の場合の11mmHg との中間の値となった。このことから本報で平板の理論塗膜厚より、コーナー部の理論塗膜厚を算出する係数 $C'm$ を仮定したことは、間違っていないかと思っている。

4. 結 論

水溶性アクリル系塗料による、直交した2平面と円筒面とにより構成された被塗物の凸部に付着する、定常状態の塗膜厚の実験により下記の結果を得た。

1) 塗膜厚の分布は平面の部分が厚く、コーナーに近

Fig. 5 Plot of h''_{th} vs h''_{ov} .

づくに従い薄くなり、コーナー頂点において最小塗膜厚となる。

2) コーナー部に付着する推定理論塗膜厚(h''_{th})は平板に付着する理論塗膜厚(h_{th})に係数 $C'm$ を乗ずることによって求められる。

$$h''_{th} = C'm \cdot h_{th} \\ = C'm \left[0.944 Ca^{1/2} \left(\frac{\mu V w}{\rho g} \right)^{1/2} \right]$$

ただし

$$C'm = \frac{1}{\frac{2.4(Go-0.15)^{0.85}}{1+2.4(Go-0.15)^{0.85}} + \frac{0.5}{(Go-0.15)}}$$

$$Go = R \left(\frac{\rho g}{2\sigma} \right)^{1/2} \geq 0.15$$

3) また塗装条件が同一であれば、残留係数値は円筒の場合と同様にはば平板で求めた値と等しくなる。

$$h''_{ov} = K \cdot h''_{th} = K \cdot C'm \cdot h_{th}$$

(1975-9-8 受理)

(昭和50年5月、本協会第51回学術講演大会にて一部発表)

文 献

- 1) 高橋俊郎, 長野年宏, 中村勝彦; 浸セキ塗装における定常状態の膜厚, **24**, 11, 631 (1973)
- 2) 高橋俊郎, 長野年宏, 中村勝彦; 浸セキ塗装における過渡状態の膜厚, **25**, 5, 246 (1974)
- 3) 道野鶴松, 榊原隆男, 山崎紘治, 前川晶三; 塗膜の顕微鏡的研究(第2報) エッジ部における膜厚, 色材協会誌, **45**, 10, 558 (1972)
- 4) 高橋俊郎, 長野年宏, 中村勝彦; 浸セキ塗装における円筒の膜厚, **26**, 402 (1975)

次 号 予 告

<巻 頭 言>	研究テーマの研究を……………	村 川 享 男 (昭 和 電 工)
<技 術 解 説>	合金電着と変則型析出……………	東 敬 (九 州 大)
	——応用表面測定法シリーズ(4)——	他 1 名
	光の反射を利用した表面解析(上)……………	高 村 勉 (東 芝)
<研 究>	硫酸酸性浴からのニッケルカドミウム合金の電解析出について……………	金 慶 詰 (京 大)
	コロドコート試験における試験結果のバラツキに及ぼす要因について……………	藤 田 実 (武 工 大)
	熔融塩浸セキ法による超硬合金への Cr 炭化物被覆……………	新 井 透 (豊 田 中 研)
	マレイン酸-硫酸系発色皮膜の加熱脱色過程の検討……………	阿 部 隆 (昭 和 ア ル ミ)
	気体クロマイジングした Cr-Mo 鋼の耐摩耗性に対する Cr 層の深さと熱処理……………	金 武 典 夫 (キ ト ー)
<研 究 ノ ー ト>	無電解メッキ液からの EDTA の回収・再利用……………	本 間 英 夫 (関 東 学 院 大)
		他 2 名
<資 料>	——英文アブストラクトの書き方シリーズ(3)——	
	アブストラクトを書くときの基本的注意 その3……………	村 川 享 男 (昭 和 電 工)