Microscopic Studies on Coating Film. II.

Film Thickness on Bended Edge

Tsurumatsu DONO*, Takao SAKAKIBARA*,
Koji YAMASAKI* and Syozo MAEKAWA*
*Coating Research Laboratory Dai-Nippon
Toryo Co., Ltd.*

Abstract

It is well known that the painted film thickness on bended edge parts is thinner than any others, but there have been no reports studied systematically about it.

The authors attempt to examine the film thickness on bended edge parts by taking photograms of sections of paint films using a microscope and to explain about several factors which influence to the films on edge parts. The results are as follows:

1. The film thickness on bended edge parts was influenced greatly upon with forms of edge parts, especially in the case of a right angle was extremely thin.
2. Among the film thickness on edge parts of several paint types, Nitrocellulose Lacquer was the thickest. There was a few differences between both Amino Alkyd Enamel and Thermosetting Acrylic Enamel.
3. Influence of coating conditions upon the film thickness on edge parts by changed by paint types. In the case Nitrocellulose Lacquer, it was influenced greatly upon with temperature and air velocity. It was considered owing to evaporation ratio of solvents in paints and thinners.

* 878, Nishinomori, Mitsufuchi, Komaki-City, Aichi, Japan

塗膜の顕微鏡的研究(第2報)

エッジ部における膜厚

道野鶴松*・榊原隆男*・山崎紘治*・前川晶三*

要 旨

塗膜の膜厚はエッジ部(たとえば折り曲げた鉄板の肩の部分など)が、他の部分に比べて薄くなるということは経験的には知られているが、体系的に研究された例はほとんどないようである。そこで筆者らは顕微鏡で、塗膜の断面を観察して、エッジ部の膜厚の状態を検討した。すなわち、エッジ部の膜厚の状態およびそれに影響を及ぼすと考えられる数種の因子について考察したので、その結果をここに報告する。

1. エッジ部の膜厚は、エッジ部の形状によって大きく左右される。特に直角部分での膜厚は非常に小さかった。
2. 塗料の種類によるエッジ部の膜厚は、ラッカーが最も大きく、メラミンアルキドと熱硬化性アクリル樹脂塗料の間にはあまり差がなかった。
3. エッジ部の膜厚に及ぼす塗装時の条件による影響は、塗料の種類によって異なり、ラッカーでは温度・風速の影響を大きく受けた。これは塗料中の溶剤・希釈溶剤の蒸発速度などに関係すると思われる。

1. 緒 言

塗膜の性能は塗料の品質と塗装技術の優劣とによって左右されるものである。現在、所期の性能が塗料によって発揮できない場合には、塗装技術や被塗物の設計面などで、それをカバーしていることが多い。たとえば、エッジ部における塗装を例にとると、エッジ部は平坦部に比べて膜厚がつき難いため、他の部分と比べて早期にサビが発生しやすい。そこで、これを防ぐためにエッジ部の形状を変えたり、エッジの部分だけ塗装回数を増やしたりしている。しかし近年塗装関係においても、省力化が大きな問題として取り上げられ、その一方策として塗装の自動化が実施されてきた。その結果、従来のように塗装技術で補ってきたものを、塗料や塗膜の品質によって解決せざるを得なくなってきた。

筆者らは前報¹⁾と同様に光学顕微鏡を利用し、エッジ部における塗膜の断面を観察して膜厚状態を検討し、延いてはエッジ部に適合する塗料の組成をは握するための一助にしようとした。供試塗料としては現在自動車用塗

料に採用されているメラミンアルキド樹脂系塗料・熱硬化性アクリル樹脂系塗料およびラッカーの各エナメルを使用し、主として次のような項目について調べた。

- 1) エッジ部の形状の違いにより、膜厚の分布はどうなるか。
- 2) 塗料の種類により、エッジ部の膜厚にどのような差が生じるか。
- 3) 塗装時の条件により、エッジ部の膜厚にどのような差が生じるか。

2. 実 験

2.1 供試塗料およびエッジ部の形状

供試塗料は、現在自動車用塗料として用いられている下記の各エナメルを使用した。

- メラミンアルキド樹脂系塗料(ソリッド、白色:以下メラミンアルキド塗料と略す)
- 熱硬化性アクリル樹脂系塗料(メタリック:以下アクリル塗料と略す)
- ラッカーエナメル(ハイソリッドラッカー、白色:以下ラッカーと略す)

エッジ部の形状は厚さ 0.5 mm の軟銅板をそのまま(何も間にはさまないで)折り曲げたもの(O-T)と、厚

昭和 47.5.31 受理

*大日本塗料(株)塗膜研究所

小牧市大字三ツ淵字西の門 878

Fig. 1. Forms of Edge Parts of Test Pieces

さ 1.0 mm の軟鋼板を角度 90° に切断成型し、研磨したものとを試料塗板とした(図-1 参照)。

2.2 塗装条件

各塗料について共通な塗装条件は次のようである。

温度 20°C, 30°C

湿度 75% RH

風速 0.3m/sec, 0.8m/sec

空気圧 メラミンアルキド塗料・アクリル塗料

塗料圧送圧 1.3 kg/cm²

吹付空気圧 5 kg/cm²

ラッカー

吹付空気圧 5 kg/cm²

塗り重ね幅 1/2

吹付距離 30 cm

また個々の塗料によって異なる塗装条件を表-1 に示す。このうち吹付塗装粘度の調整は各種塗料に適合したシンナーを使用して 20°C で行ない、さらに上記の粘度の塗液の 30°C における粘度測定をも行なった。

Table 1. Coating Conditions of Each Enamel

Paint Type	Viscosity*1)		Stage		
	20°C	30°C	Number	Flash off (min)	Specifications*2)
Amino Alkyd Enamel	27	19	2	1.5 3 10	S-D
Thermosetting Acrylic Enamel	19	16	3	3 6	S-D-D
Nitrocellulose Lacquer	15	13	2	10	D-D

*1) Second/Ford cup No. 4

*2) S : Single D : Double

塗料の吹付塗装粘度における溶剤組成は下記のようなものである。これは原液塗料中の溶剤(ビヒクル中の溶剤も含む)と、希釈溶剤の添加量との合計の百分率と蒸発速度の遅速別²⁾を表示したものである。

メラミンアルキド塗料 アクリル塗料 ラッカー

Ar-F	—	—	45
Ar-M	51	64	6
Ar-S	17	8	—
Es-F	—	—	23
Es-M	—	6	12
K-M	3	—	2

Et-M	—	2	2
Et-S	18	11	1
Al-M	11	9	9
Ar : 芳香族炭化水素類	Es : エステル類		
K : ケトン類	Et : エーテル類		
Al : アルコール類	F : 蒸発速度の早いもの		
M : 蒸発速度の中程度のもの			
S : 蒸発速度の遅いもの			

2.3 塗装試験片の作成

試験片を溶剤脱脂後、リン酸亜鉛系表面処理を行なった。0-T の試験片のうち、その半数は表面処理後下塗りとして電気泳動塗装を行ない、次いで全試験片について 2.2 に述べた塗装条件によりエアスプレー塗装を行なった。塗装方法としてはエッジ部分が上になるように垂直に固定し、図-2 に示すように 3 方向から塗装して、エッジ部にできるだけ塗料を付着させるようにした。

Fig. 2. Spraying Directions at Edge Parts

塗装系としては次の 3 種類である。0-T の試験片に電着し、さらに各種供試塗料を塗装した系(以下 0-T + ED と略す)と、直接塗装した系(以下 0-T と略す)および角度 90° の試験片に直接塗装した系(以下 90° と略す)である。塗装後メラミンアルキドおよびアクリル塗料は規定条件で焼付乾燥を行ない、ラッカーは塗装時の温度で 1 時間自然乾燥後、室温に放置して乾燥させた。

それぞれの試験片の塗装条件を表-2 に示す。

2.4 顕微鏡観察用試料の作成と膜厚の測定

エッジ部の塗膜の断面を顕微鏡で観察するための試料の作成方法は前報¹⁾に準ずる。使用した顕微鏡は前報に記載したもので、エッジ部を 200 倍大に拡大して膜厚を測定した。

3. 結果および考察

3.1 膜厚測定結果

顕微鏡による塗膜断面の観察から、エッジ部における上塗り塗膜の膜厚測定を行なった結果を表-3 に示すことにする。表-3 中に記載した数値は平坦部の膜厚に対するエッジ部の膜厚の比率である。

また、各種供試塗料のエッジ部における塗膜断面の顕微鏡写真を、それぞれメラミンアルキド塗料については

Table 2. Coating Conditions of Each Test Piece

Test Piece No.	Temperature (°C)	Air Velocity (m/sec)	Paint Type	Flash off (min)	Test Piece No.	Temperature (°C)	Air Velocity (m/sec)	Paint Type	Flash off (min)
1	20	0.3	Amino Alkyd	1.5	13	30	0.3	Amino Alkyd	1.5
2	"	"	"	3	14	"	"	"	3
3	"	"	"	10	15	"	"	"	10
4	"	"	Acryl	3	16	"	"	Acryl	3
5	"	"	"	6	17	"	"	"	6
6	"	"	Lacquer	10	18	"	"	Lacquer	10
7	"	0.8	Amino Alkyd	1.5	19	"	0.8	Amino Alkyd	1.5
8	"	"	"	3	20	"	"	"	3
9	"	"	"	10	21	"	"	"	10
10	"	"	Acryl	3	22	"	"	Acryl	3
11	"	"	"	6	23	"	"	"	6
12	"	"	Lacquer	10	24	"	"	Lacquer	10

Photo. 1. Sections of Paint Film on Edge Parts (Amino Alkyd Enamel; Test Piece No. 2) **Photo. 2.** Sections of Paint Film on Edge Parts (Thermosetting Acrylic Enamel; Test Piece No. 4) **Photo. 3.** Sections of Paint Film on Edge Parts (Nitrocellulose Lacquer; Test Piece No. 6)

写真-1, アクリル塗料については写真-2, ラッカーについては写真-3 に示す。

3.2 エッジ部の形状による膜厚の変化
エッジ部の形状による膜厚の変化を図-3 に示した。

Fig. 3. Variations of Film Thickness due to Form of Edge Parts

Table 3. Film Thickness Ratio of Each Enamel on Edge Parts

Test Piece No.	O-T+ED	O-T	90°	Test Piece No.	O-T+ED	O-T	90°
1	0.500	0.194	0.233	13	0.467	0.270	0.079
2	0.439	0.154	0.086	14	0.389	0.268	0.081
3	0.366	0.400	0.239	15	0.375	0.348	0.220
4	0.462	0.286	0.043	16	0.656	0.333	0.021
5	0.393	0.333	0.000	17	0.661	0.308	0.016
6	0.506	0.479	0.117	18	1.043	0.776	0.232
7	0.385	0.324	0.029	19	0.523	0.333	0.067
8	0.439	0.500	0.164	20	0.563	0.465	0.022
9	0.548	0.436	0.077	21	0.510	0.233	0.173
10	0.478	0.229	0.060	22	0.466	0.270	0.088
11	0.478	0.098	0.050	23	0.609	0.420	0.067
12	0.794	0.610	0.083	24	1.057	0.887	0.266

エッジ部の膜厚は塗料の種類に関係なくエッジ部の形状(曲面)がゆるやかなほどつきやすい。すなわち、O-Tの試験片のようにRをもったエッジ部ではRの大きい方が膜厚がつきやすい傾向がある。また90°の試験片のように角度をもったエッジ部では前者と比べて膜厚は非常に小さい。なおエッジ部の形状が同じO-Tであっても、下塗りとして電着塗装されている場合には、エッジ部の膜厚はかなり厚くなり、塗装回数を増やすことは、エッジ部に膜厚をつける上で有効な方法であると思われる。

3.3 塗料の種類による膜厚の変化

図-3より塗料の種類別にエッジ部における膜厚の変化を見ると、ラッカーが一番つきやすく、メラミンアルキドとアクリル塗料の間には大きな差はない。このことは塗料中に含まれている溶剤および希釈溶剤の蒸発速度に関係し、これらの溶剤の蒸発速度が早いほど、エッジ

Fig. 4. Variations of Film Thickness at Edge Parts by Evaporation Ratio of Thinner.

{ Temperature 20°C, Air Velocity 0.3m/sec
Flash off 3min.
Other Conditions are the same as mentioned above }

部の膜厚は厚くなるものと考えられる。2.2に示した各種塗料組成をみても、ラッカーが一番早いことがわかる。このことからエッジ部に膜厚をつける方法の一つとして、塗料中の溶剤や希釈溶剤をラッカーのように比較的蒸発速度の早い溶剤の組み合わせを採用すると、良好な結果が得られるのではあるまいか。アクリル塗料はワンコート用の塗料を使用したため、wet-on-wet用の塗料と比べて塗料中の溶剤や希釈溶剤の蒸発速度がメラミンアルキド塗料と近似していたので、メラミンアルキド塗料との間に大きな差がみられなかったためであろう。

次いで、溶剤の蒸発速度がエッジ部の膜厚に影響を与えることを確認するために、メラミンアルキドおよびアクリル塗料の希釈溶剤の組成を変えてエッジ部における膜厚がどのように変化するかを図-4に示した。使用した塗料は先の実験と同一のものである。希釈溶剤の蒸発速度が早い場合、吹付塗装粘度はメラミンアルキド塗料で16秒/20°C、アクリル塗料で12秒/20°C(いずれもFord Cup#4)であった。また2.2の溶剤組成と同様に、塗料中の吹付塗装粘度における溶剤組成は下記のものである。

	メラミンアルキド塗料	アクリル塗料
Ar-F	—	9
Ar-M	53	29
Ar-S	12	—
Es-F	—	31
Es-M	—	—
Es-S	9	—
K-M	2	16
Et-M	—	1
Et-S	15	6
Al-M	9	8

図-4 をみると、希釈溶剤の蒸発速度が早いほど、エッジ部に膜厚はつきやすく、特にアクリル塗料の場合は顕著であった。

3.4 メラミンアルキド樹脂系塗料の塗装時の諸条件による膜厚の変化

次に個々の塗料について、塗装時の諸条件によってエッジ部の膜厚にどのような影響があるかを検討した。

メラミンアルキド塗料の塗装時の諸条件によるエッジ部の膜厚変化を図-5 に示した。

メラミンアルキド塗料の塗装時の諸条件(温度・風速・ステージ間隔)による影響は、エッジ部の形状に関係なくほとんど見受けられなかった。このうち温度・風速の影響をほとんど受けなかったのは、多分塗料中の溶剤や希釈溶剤の蒸発速度が比較的遅く、また塗装後指触乾燥までの時間が相当長いため、今回行なった実験の因子(温度・風速)ぐらいの差では、ほとんど影響を受けなかったものと推察される。メラミンアルキド塗料は2ステージで塗装したが、これらのステージ間隔でも影響を受けていなかった。これは塗装時の温度・風速によるエッジ部の膜厚に対する影響が小さく、この傾向が各塗装間隔によってもほとんど変化がないことを示している。

3.5 熱硬化性アクリル樹脂系塗料の塗装時の諸条件による膜厚の変化

アクリル塗料の塗装時の諸条件によるエッジ部の膜厚

変化を図-6 に示した。

アクリル塗料は塗装時の温度によって幾分影響を受け、塗装温度が20℃のときよりも30℃のときの方がエッジ部の膜厚はつきやすい。しかし、風速・ステージ間隔にはほとんど影響を受けていない。今回の実験ではメラミンアルキドおよびアクリル塗料の希釈溶剤の蒸発速度が近似していたにもかかわらず、この両者間に塗装温度による影響に差が見受けられたのは、樹脂の特性が影響しているのではあるまいかと考えられる。アクリル塗料にあっては、希釈溶剤の蒸発速度のより早いものほど、塗装温度の影響を受けやすいものと推察される。塗装時の風速やステージ間隔の影響を受けていないのは、メラミンアルキド塗料の場合と同じような理由によるものと思われる。この場合でも希釈溶剤の蒸発速度のより早いものでは、違った傾向になるであろう。

3.6 ラッカーエナメル塗装時の諸条件による膜厚の変化

ラッカーの塗装時の諸条件によるエッジ部の膜厚変化を図-7 に示した。

ラッカーは塗装時の温度・風速の影響を受け、特に温度の影響が顕著であった。これは塗料中の溶剤や希釈溶剤の蒸発速度が他の供試塗料に比べてかなり早いいため、温度および風速の影響が大きかったものであろう。なお、これらの条件による影響は、エッジ部の形状(曲面)

Fig. 5. Variations of Film Thickness by Coating Conditions of Amino Alkyd Enamel

Fig. 6. Variations of Film Thickness by Coating Conditions of Thermosetting Acrylic Enamel

がゆるやかなほど大きく、また風速による影響は 90° のものではほとんど見受けられなかった。

4. ま と め

以上の考察から、エッジ部における膜厚の状態は下記のように結論付けられる。

- 1) エッジ部の膜厚は、エッジ部の形状(曲面)ができるだけゆるやかな方がつきやすい傾向がある。すなわち、O-T の試験片のようにRをもったエッジ部ではRの大きい方が膜厚がつきやすい。また、 90° のような角度をもったエッジ部では膜厚は非常に小さかった。なお塗装回数を増やして、エッジ部の形状を段々とゆるやかにすることも効果があると考えられる。
- 2) 供試塗料3種のうち、ラッカーエナメルがエッジ部に最も膜厚がつきやすい。このことは塗料中の溶剤や希釈溶剤の蒸発速度の遅速に左右されるもので、蒸発速度の早いものほど膜厚がつきやすいためであろう。なお溶剤が使用されている硝化綿やビヒクルなどと離脱する難易度にも関係があるものと思われる。
- 3) エッジ部の膜厚に及ぼす塗装時の諸条件の影響は、塗料の種類によって異なってくる。メラミンアルキド塗料では塗装時の温度・風速・ステージ間隔のいずれにもほとんど影響を受けない。アクリル塗料は温度によって幾分影響を受けるが、風速・ステージ間隔には影響を受けない。ラッカーは塗装時の条件に最も左右されやすい塗料でこれは溶剤の蒸発速度が早いことに起因するものと思われる。

これらのことから、エッジ部の塗装に適切な塗料の組成は、使用する溶剤の組成をラッカーのようなものにすれば、非常に効果があると予想される。すなわち、塗料

Fig. 7. Variations of Film Thickness by Coating Conditions of Nitrocellulose Lacquer

中の溶剤および希釈溶剤の組成を蒸発速度の比較的早い組み合わせのものとし、塗装後のウェット塗膜から溶剤が早期に蒸発するようにすれば、エッジ部の塗膜は厚くなるものと考えられる。

なお、エッジ部に膜厚をより多くつけるためには、上述のエッジ部の膜厚に影響を及ぼすそれぞれ一つの因子だけではなく、多くの因子を総合的に取り上げ、その積み重ねによって解決する必要がある。たとえば、塗料中の溶剤および希釈溶剤の組成は塗膜の仕上り外観、塗装作業性を低下させない程度にその蒸発速度を早くしたり、エッジ部の形状をゆるやかにしたり、塗装環境を整備したりして、総合的な方法でエッジ部により多くの膜厚をつけるよう、適切な手段を講ずる必要がある。

終りに、本研究遂行に当たり終始御援助を賜った大日本塗料(株)中央研究所の牧島博氏および塗装面で御協力を賜った同塗膜研究所の井口美知男氏に深甚な謝意を表したい。

参考文献

- 1) 道野他：色材, 44 [12], 551 (1971)
- 2) 松田他：溶剤ハンドブック(産業図書) 41~46