

# 白色高光鋁片製程對品質特性影響探討

孫秉誠\*<sup>1</sup>、蔡日新<sup>2</sup>、陳文斌<sup>3</sup>

## Effects of Coating Process to the High Reflectance Pre-coated Aluminum Sheet

P. C. Sun\*<sup>1</sup>, J. H. Tsai<sup>2</sup>, W. P. Chen<sup>3</sup>

### 摘 要

白色高反光鋁片可製作燈罩、LCD TV 光源反光片，有質輕、易加工成形及散熱等優點，具開發價值。但塗膜鋁片所要求的反光率、白度值及耐蝕塗膜黃變特性較高，需在製程條件及塗料作篩選探討。本研究針對塗膜反光率、白度值及抗高溫高濕等特性影響，進行塗膜種類、厚度、烘乾溫度及前處理狀況之評估測試。為了達到高反光率  $R\% \geq 92$ 、高白度值  $L \geq 94$  及高溫高濕加速腐蝕試驗 240 小時後，色差值  $\Delta E < 2$ ，以實驗計劃法探討重要影響因素。S/N 比結果顯示，高膜厚塗層對高反光率及防止高溫高濕銹蝕黃變現象有明顯效果。

關鍵字：高反光塗膜鋁片；反光率；白度值；烘乾溫度；S/N 比值。

### ABSTRACT

High reflectance coated aluminum sheet is used to produce the lamp cover, reflecting plate or backlight plate for the light source. There are many benefits to use the coated aluminum sheet such as less weight, easy forming and heat conductance. In order to reach the high performance, a special manufacturing process and coating materials are investigated to make the coated high reflectance aluminum sheet. Since the coated aluminum sheet should provide high reflectance, high value of whiteness and the corrosion-resistance properties. These properties are highly affected by coating materials and coating manufacturing process.

This study develops the process and evaluates the suitable coating materials for the high reflectance product. The quality of coated high reflectance aluminum sheet will meet the criterion of reflectance  $R\% \geq 92$ , value of whiteness  $L \geq 94$  and the  $\Delta E < 2$  after corrosion test. The

---

1 中國鋼鐵公司新材料研發處，有機材暨特用化學品組

1 Specialty Chemicals Sec., New Materials R & D Dept., China Steel Corporation

2 中國鋼鐵公司工業工程處，經營發展組

2 Dept. of Industrial Engineering, China Steel Corporation

3 中鋼鋁業公司研究發展處，產品研發組

3 Dept. of R & D, China Steel Aluminum Corporation

\* 連絡作者：pcsun@mail.csc.com.tw

approach included experimental planning methods to investigate the effects of coating materials, chromium pretreatment, baking temperature and film build thickness. As a result, the selected coating materials could produce the high reflectance aluminum sheet and reach the criterion of the product. The results of orthogonal experiment and the analysis of signal-to-noise (S/N) ratio also shows reflectance significantly affected by coating materials, film build thickness, and the value of whiteness, corrosion also have the same results.

Keywords: Coated high reflectance aluminum sheet; Reflectance; Value of whiteness; Baking temperature; Signal-to-noise value (S/N).

## 1. 前言

白色反光鋁片可用於燈罩、LCD TV 背光及 LED 光源反射模組，由於必須向國外進口，價格高，市場面顯示有急切開發需求。自從 2004 年開始，筆記型電腦、LCD 顯示器及 LCD TV 產品逐漸蓬勃，尺寸加大，需求也大增。國內幾家新世代 LCD 設備投產，背光模組所需的白色反光鋁片亦將隨之成長，是值得開發的新技術。

根據文獻報導，白色反光片原使用在筆記型電腦及桌上型電腦的 LCD 光源反射模組，其製造方式有底材貼膜<sup>[1,2]</sup>、鍍面及塗漆三種<sup>[3-7]</sup>。而以鋁片為底材重量最輕、耐蝕、加工成型及散熱性優良，其中表面處理又以塗漆成本最經濟。一般塗膜鋁片表面需具有耐蝕、附著性；但關鍵技術是要達成光源材料用的高反光率塗膜特性。預期市場從 LCD 15、17 吋的電腦顯示器一般尺寸，迅速跨入更大的畫面，則白色反光鋁片需求量將更可觀，所需鋁材料的厚度、強度也隨著增加。

針對客戶需求的高反光塗膜鋁片的特性，蒐集了日本廠家反光鋁片塗膜的品質規格資料及樣品，以協助釐清產品的特性需求。參考其高反光塗膜鋁片規格項目、標準，並聯繫國內有經驗廠家取得適當塗料，在實驗室進行塗膜塗製、檢測品質特性，篩選合格塗料，製作符合需求的高反光塗膜鋁片。另，同時針對不同種類塗料、製程參數變異，以實驗計劃法進行製程條件影響之探討，求得最佳製程條件及影響關鍵品質的要因，建立反光塗膜鋁片產製技術。

## 2. 實驗

### 2.1 材料及準備

- (1) 鋁片厚度 0.15 mm，鉻酸化成皮膜處理 20 mg/M<sup>2</sup>，另作 5 mg/M<sup>2</sup>、35 mg/M<sup>2</sup>。
- (2) 白色高反光鋁片用塗料，皆可兼作底漆、面漆；塗料編號如下：  
A 塗料：甲廠家之 PE 塗料。  
B 塗料：甲廠家之 PU 塗料。  
C 塗料：乙廠家之 Acrylic 塗料。

### 2.2 研究方法與步驟

#### 2.2.1 塗膜之研究試製

選取適當的塗料烘烤溫度 PMT(Peak Metal Temperature)設定約 240 °C 左右，烘焙時間 35 秒，鉻酸處理量為 20 mg/M<sup>2</sup>；進行塗膜鋁片試製。

#### 2.2.2 塗料最佳製程條件之選取

引進的塗料共有 4 個廠家，各廠家提供數種不同的塗料，進行先期篩選，取三個不同廠家塗料進行實驗計劃分析、探討。

- (1) 因子水準設計：實驗設計包括：塗料親水性、塗膜厚度、烘焙溫度及鉻酸處理量等 4 個因子與塗膜特性相關，每個因子有高、中、低 3 個水準。
- (2) 田口式直交表配置：依照實驗計劃法展開田口式直交表。

## 2.3 評估試驗項目及方法

### 2.3.1 塗膜反光率

各種試片，每一種(10 cm × 5 cm × 3 pcs)，以色度計量測 550 nm 時的 R%值；反光率越高 R%值越高。儀器為色差計(Minolta CM-508i)加裝原廠量測軟體後，建立塗膜反光率量測方法。

### 2.3.2 塗膜白度值

色度計可量測不同塗膜試片，各種試片，每一種(10 cm × 5 cm × 3 pcs)的色度差異，其中黑白色顯示為 L 值，L 值即白度值，數值越高則越白。儀器型號：S&M Color Computer SM-5。

### 2.3.3 耐溶劑試驗— MEK(丁酮)

將試片 10 cm × 10 cm 置於平坦桌面，以 1 Kg 重之 Hammer 包紗布沾 MEK(丁酮)來回擦拭鋁片表面算 1 次；經過 50 次擦拭後以硫酸銅溶液浸泡後檢視鋁片表面無顏色變化。

### 2.3.4 附著性方格試驗

將試片 10 cm × 10 cm 以方格切割機，在塗膜上分別劃上橫、直交叉格線，切割完後以 Tape 黏貼剝離之，檢視塗膜有無剝落，無脫落 100/100 為合格標準，若脫落則記上未脫落比例。方格切割機：

Erichsen GMBH&CO; KG MODEL: D-5870 HEMER-SUNDWIG, GERMANY。

### 2.3.5 高溫高濕耐蝕試驗

將試片尺寸為 100 mm × 100 mm 置於濕潤試驗機(Humidity Cabinet)中，在 65 °C、95%RH 經過 240 hrs，觀察表面無生銹，量測記錄其色差值 $\Delta E$ ， $\Delta E < 2$  為合格。恆溫恆濕機 MODEL:CT3 JAPAN。

## 3. 結論與討論

本研究主要目標有兩項：(1)引進國內、外之適當的白色高反光率(Reflectance)塗料，實驗室模擬白色高反光率鋁片之產製、品質特性評估技術。(2)篩選塗料，以實驗計劃法探討塗料、製程條件對塗膜特性影響，建立高反光塗膜鋁片最佳製程條件，試製生產鋁捲產品。

### 3.1 LCD TV 用反光鋁片塗膜特性分析技術探討

日料在 SEM 及 EDX 斷面觀察下顯示：塗膜厚度約 62  $\mu\text{m}$ ，分為 3 層，詳如圖 1；包括樹脂及無機成份，無機成份主要是 Ti，少部份 Si 及 Al。

反光鋁片各項特性，以塗膜反光率(Reflectance，簡稱 R%)是白色反光鋁片之品質特性

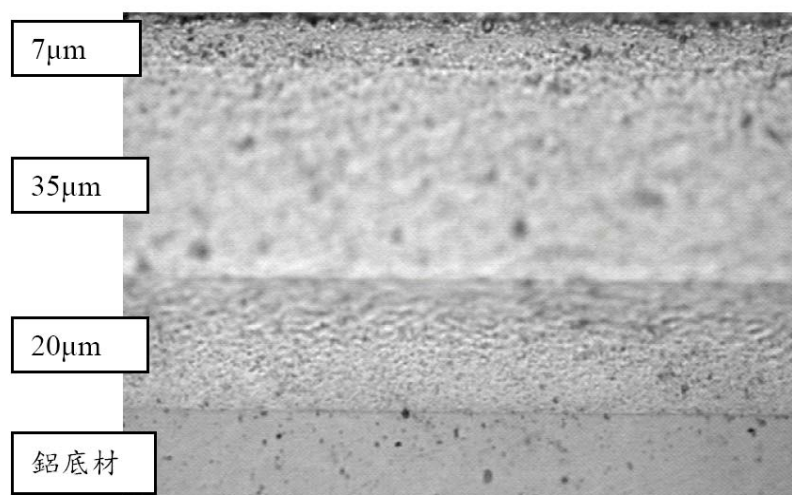


圖 1 白色反光鋁片塗膜斷面結構 (× 1000 倍)。

Figure 1 Cross-sectional SEM micrograph of the high reflectance coated film at the aluminum sheet sample.

表 1. 高反光率之白色反光塗膜特性評估。

Table 1 Coated film characters in the high reflectance aluminum sheet.

	A 塗料		B 塗料		C 塗料	
	1C	2C	1C	2C	1C	2C
平均膜厚( $\mu\text{m}$ )	29	55	28	52	23	42
反光率 R%	—	92.3	88.6	91.9	85.1	90.9
白度值	91.7	94.4	92.0	94.1	93.3	96.0
耐溶劑性	70%脫落	OK	70%脫落	40%脫落	70%脫落	10%脫落
附著性%	100	100	100	100	100	100
高溫高濕( $\Delta E$ )	—	0.60	—	0.47	—	0.53

表 2. A 塗料之不同膜厚塗膜反光鋁片之反光率及白度值。

Table 2 Reflectance and whiteness of coated aluminum sheet.

	A 塗膜樣品	1 道	2 道	3 道	日料樣品
平均膜厚( $\mu\text{m}$ )	75	23	47	70	62
R 值%	93.6	88.5	92.8	93.2	92.9
L 值	97.6	95.4	97.1	97.3	97.1

關鍵。由於無量測反光率之經驗，經拜訪塗料公司，了解塗膜反光率的量測方法是以色差計(Color Meter)在綠光(550 nm)範圍作量測，樣品所顯示的反光率數值與規格吻合。

### 3.2 初步篩選評估合格塗料

以有實績供應燈罩白塗料廠家的 A、B 及 C 三種塗料進行評估。其中 A、B 為同一廠家，C 為另一廠家之塗料，進行塗膜性能評估，試驗結果如表 1。一道(1C)塗膜約 25  $\mu\text{m}$ ，反光率(R%)皆無法達到 92%之標準；兩道(2C)塗膜反光率(R%)，則以 A 塗膜合於反光率 > 92%。其餘相關試驗如耐溶劑性皆合格、高溫高濕耐蝕後黃變色差 $\Delta E < 2$ 等結果，亦顯示 A 塗料的塗膜品質特性合於所需。與取得樣品塗膜厚度達 62  $\mu\text{m}$  相同，測試結果亦顯示高膜厚才能達到高反光率、高白度值。因此以 A、B 及 C 塗料，作進一步之研究，其中 C 塗料測試品質特性不佳，換成品質特性較佳的 Acrylic 塗料。

### 3.3 合格塗料初選

合格塗料廠家量產 A 塗料，並於產線實驗室驗收塗料，分別塗製 1 道、2 道、3 道塗膜之鋁片，塗膜平均厚度分別為 23  $\mu\text{m}$ 、47  $\mu\text{m}$ 、70  $\mu\text{m}$ ，反光率

表 3. 不同塗料及膜厚之反光率。

Table 3 Reflectance of coated aluminum sheet with different film thickness.

平均膜厚( $\mu\text{m}$ )	20 $\pm$ 3	40 $\pm$ 3	60 $\pm$ 3	80 $\pm$ 3	100 $\pm$ 3
A 塗料(R%)	88.5	92.2	93.4	93.9	94.1
B 塗料(R%)	86.7	90.0	91.8	91.8	92.0
C 塗料(R%)	87.7	92.1	93.5	94.3	94.6

及白度值如表 2，膜厚在 47  $\mu\text{m}$  時反光度及白度值可達標準。

為了解塗膜與反光率的關係，在實驗室塗製不同膜厚塗膜，並測試其反光率、白度值；測試結果分別如表 3、表 4 所示。100  $\mu\text{m}$  塗膜反光率最高可達到 94.6%，100  $\mu\text{m}$  塗膜白度值最高可達到 95.9%。由實驗結果數據推估，最佳塗料達成塗膜反光率、白度值合格之最低膜厚約為 40  $\mu\text{m}$  ~ 50  $\mu\text{m}$ 。

### 3.4 實驗計劃法探討塗膜品質影響因子

由以上塗料的初步篩選，進而以田口式實驗計劃法，探討包括 3 個塗料品牌種類，製程參數如：塗膜厚度、烘烤溫度及鉻酸前處理量等，共設計 4 個影響因子，每個因子有 3 個水準，實驗計劃如下：

(1) 因子水準設計

因子 \ 水準	1	2	3
塗料品牌種類	A 塗料	B 塗料	C 塗料
塗膜平均厚度	25 ± 3 μm	45 ± 3 μm	65 ± 3 μm
烘烤溫度(PMT)	225 °C	235 °C	245 °C
鉻酸處理量	5 mg/M <sup>2</sup>	20 mg/M <sup>2</sup>	35 mg/M <sup>2</sup>

(2) 田口式直交表配置<sup>[8,9]</sup>：

	塗料 品牌種類	塗膜厚度	烘烤溫度 (PMT)	鉻酸處理量
t1	1	1	1	1
t2	1	2	2	2
t3	1	3	3	3
t4	2	1	2	3
t5	2	2	3	1
t6	2	3	1	2
t7	3	1	3	2
t8	3	2	1	3
t9	3	3	2	1

經設計出塗料品牌種類、塗膜厚度、烘烤溫度及鉻酸處理量為可能影響塗膜品質特性的 4 個重要

表 4. 不同塗料及膜厚之白度值。

Table 4 Whiteness of coated aluminum sheet with different film thickness.

平均膜厚(μm)	20 ± 3	40 ± 3	60 ± 3	80 ± 3	100 ± 3
A 塗料(L 值)	92.1	94.3	94.9	95.2	95.4
B 塗料(L 值)	91.4	93.2	94.1	94.2	94.2
C 塗料(L 值)	92.2	94.8	95.5	95.7	95.9

因素。各個因子分別列出 3 個水準，包括：塗料有 3 個品牌種類；塗膜厚度由薄至厚塗膜分成低、中、高 3 個水準，可能與反光率、耐蝕性及成本有關。最高板溫(PMT)一般在 225 °C ~ 245 °C 之間，因此以 10 °C 為間隔設定為 225 °C、235 °C、245 °C 等 3 個水準。前處理鉻酸量可能影響附著、親水及耐蝕性，一般是 20 mg/M<sup>2</sup>，區隔分成 5、20、35 等間隔 15 mg/M<sup>2</sup> 的 3 個水準，以探討前處理鉻酸量對塗膜特性的影響。

試驗評估結果詳如表 5(田口式直交表 t1 ~ t3)、表 6(田口式直交表 t4 ~ t6)、表 7(田口式直交表 t7 ~ t9)；試驗結果以 A 塗料如表 5(田口式直交表 t1 ~ t3)高膜厚之反光率及相關特性合格，B 塗料如表 6(田口式直交表 t4 ~ t6)反光率表現稍差、其餘特性合格，

表 5. 田口法 A 塗料之塗膜反光鋁片特性。

Table 5 Taguchi methods for A coating film properties of aluminum sheet.

評估項目		實驗設計代號		
		t1	t2	t3
反光率	光源 550 nm	88.51	92.24	93.40
白色度	色差 L 值	92.10	94.25	94.91
耐溶劑性	MEK 擦拭試驗	OK	OK	OK
附著性	碁盤目方格	100/100	100/100	100/100
高溫高濕	65 °C 95%RH	ΔE = 0.33	ΔE = 0.26	ΔE = 0.23

表 6. 田口法 B 塗料之塗膜反光鋁片特性。

Table 6 Taguchi methods for B coating film properties of aluminum sheet.

評估項目		實驗設計代號		
		t4	t5	t6
反光率	光源 550 nm	86.73	90.03	91.76
白色度	色差 L 值	91.43	93.20	94.14
耐溶劑性	MEK 擦拭試驗	OK	OK	OK
附著性	碁盤目方格	100/100	100/100	100/100
高溫高濕	65 °C 95%RH	ΔE = 0.63	ΔE = 0.41	ΔE = 0.37

表 7. 田口法 C 塗料之塗膜反光鋁片特性。

Table 7 Taguchi methods for C coating film properties of aluminum sheet.

評估項目		實驗設計代號		
		t7	t8	t9
反光率	光源 550 nm	87.65	92.10	93.50
白色度	色差 L 值	92.16	94.76	95.50
耐溶劑性	MEK 擦拭試驗	OK	OK	OK
附著性	碁盤目方格	100/100	100/100	100/100
高溫高濕	65 °C 95%RH	$\Delta E = 0.68$	$\Delta E = 0.53$	$\Delta E = 0.43$

C 塗料如表 7(田口式直交表 t7 ~ t9)高膜厚之反光率合格。由直交表各項試驗結果顯示：高膜厚塗膜反光率可達 92%的合格標準，而最高塗膜反光率可達 94.5%，根據製程要因分析實驗結果之 S/N 比值顯示如表 8、表 9 及表 10，塗膜反光率受塗膜厚度影響最大，塗料種類品牌影響居次，其餘因素影響不大，詳如表 8；塗膜白度值及高溫高濕耐蝕黃變性探討結果與反光率相同受塗膜厚度、塗料種類品牌影響較大，其餘因素影響不大，詳如表 9、表 10。

表 8. 反光率之 SN 比回應表。

Table 8 Reflectance factors response table of signal to noise ratio for coated aluminum sheet.

	塗料 品牌種類	塗膜 厚度	烘焙 溫度	鉻酸 處理量
1	39.22	38.86	39.16	39.15
2	39.04	39.23	39.16	39.14
3	39.19	39.36	39.12	39.16
$\Delta$ (相對顯著)*	0.18	0.50	0.04	0.02
影響排行	2	1	4	3

\* Note： $\Delta$  值越大表示越顯著。

表 9. 白度值之 SN 比回應表。

Table 9 Whiteness factors response table of signal to noise ratio for coated aluminum sheet.

	塗料 品牌種類	塗膜 厚度	烘焙 溫度	鉻酸 處理量
1	39.44	39.27	39.44	39.43
2	39.37	39.47	39.44	39.42
3	39.48	39.55	39.41	39.44
$\Delta$ (相對顯著)*	0.11	0.28	0.03	0.02
影響排行	2	1	3	4

\* Note： $\Delta$  值越大表示越顯著。

綜合以上試驗結果，不但可篩選出製造最佳品質特性塗膜的塗料；更找出品質關鍵因素以膜厚、塗料品牌種類，為開發本產品的決定性因素。由於烘焙溫度及鉻酸處理量影響品質不大，為了節省成本可以調低烘焙溫度及降低鉻酸處理量等次要影響因素來生產產品。

#### 4. 結論

白色反光塗膜鋁片之開發研究，經過塗料引進、測試評估、篩選及製程變異因素探討後，完成反光塗膜鋁片產製條件及特性影響要因分析，綜合本研究之結論如下：

1. 燈罩及光源反射用白色高反光率塗膜鋁片之品質特性；經製程條件及相關特性探討後，顯示高反光率的達成是生產白色高反光塗膜鋁片的關鍵。
2. 高反光率白色塗膜鋁片製程條件，以篩選的塗料，膜厚 50  $\mu\text{m}$  以上，以一般烘烤溫度及鉻酸處理量為製程條件，即可達成塗膜高反光率及耐蝕性之品質目標。

表 10. 高溫高溼耐蝕性之 SN 比回應表。

Table 10. Corrosion factors response table of signal to noise ratio for coated aluminum sheet.

	塗料 品牌種類	塗膜 厚度	烘焙 溫度	鉻酸 處理量
1	11.6	6.0	8.2	8.7
2	6.8	8.2	7.7	7.2
3	5.7	9.9	8.2	8.1
$\Delta$ (相對顯著)*	5.9	3.9	0.5	1.5
影響排行	1	2	4	3

\* Note： $\Delta$  值越大表示越顯著。

3. 由實驗計劃法塗膜特性量測分析之 S/N 比值，得知膜厚影響塗膜反光率、白度值及耐蝕性最大，其次為塗料品牌種類。而烘焙溫度及鉻酸處理量，在適當操作範圍內，對塗膜高反光率品質特性影響小。

## 誌謝

本研究除感謝中鋁現場工程師協同取得鋁片底材及品管人員試製安排與試驗結果之判定。整個實驗計劃法之設計及結果計算分析，承中鋼工業工程相關人員協助，謹此表達誠摯的感謝。

## 參考文獻

1. 日本三菱樹脂：「Alset 金屬與樹脂複合反光板」型錄，2002。
2. 奇美電子公司：「Lamp Reflector 資料」，Oct. 2003。
3. Hiromi. Matsushita, US patent: 6,435,685; Aug.2002.
4. Hideki. Moriyama, US patent: 6,492,031; Dec.2002.
5. Robert L. Fraizer, US patent: 6,520,650; Feb.2003.
6. Leo Frans Maria. Ooms, US patent: 6,540,379; Apr.2003.
7. Randall D. Blanchard, US patent: 6,692,137; Feb.2004.
8. B. M. Dabade and P. K. Ray, "Quality Engineering for Continuous Performance Improvement in product and process: A review and reflections.", Quality and Reliability Engineering International, 12 (1996) pp. 173-189.
9. P. Y. Chao and Y. D. Hwang, "An improved Tachugis method in designing of experiments for milling CFRP composite", International Journal of Production Research, 35 (1997) pp. 31-45.

收到日期：2005 年 8 月 25 日

修訂日期：2006 年 1 月 5 日

接受日期：2006 年 1 月 18 日

