

## 高耐蝕抗菌之奈米環保塗料於鍍面鋼板之開發應用 Development and Application of Nano Eco-friendly Coating with High Corrosion Resistance and Antibacterial Applied to Galvanized Steel Sheet

黃瑞淵、楊秉霖、張匡毅、曾智良

Jui-Yuan Huang, Pin-Lin Yang, Tony Chang, Chih-Liang Tseng

### 中文摘要

近幾年市場變化，家電與建材耐蝕性需求提升且因應歐盟規定，需要同時符合 RoHS (Restriction of Hazardous Substances)及 REACH (the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)指令要求。原先使用之鉻酸鈍化表面處理藥劑，其鹽水噴霧測試僅 48 ~ 120 小時，不僅耐蝕性差，亦不符合歐盟環保法規規定。因此本公司與塗料供應商共同開發三價鉻環保鈍化藥劑 G2，可同時達到無 Cr<sup>6+</sup> (Chromium)環保及超高耐蝕性能，其耐蝕性可達 288 小時。

受新冠病毒疫情影響，消費者對抗菌需求大幅增加，能生產製造高效抗菌鋼捲已是不可避免之趨勢。本公司除研發高耐蝕塗料 G2，並於塗料中添加奈米抗菌劑之成分，經測試對大腸桿菌、金黃色葡萄球菌具卓越顯著之抗菌能力，除能符合奈米標章 TN-052 II 類之認可，其耐蝕性更可高達 516 小時，可同時兼具高耐蝕及環保抗菌之特性。

**關鍵詞：**高耐蝕、奈米、環保、大腸桿菌、金黃色葡萄球菌、鍍鋅鋼板。

### Abstract

In recent years, the market has changed. The demand for corrosion resistance of home appliances and building materials has increased. In response to EU regulations, it is necessary to comply with the requirements of RoHS (Restriction of Hazardous Substances) and REACH (the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) directives. The present used chromic acid passivation surface treatment agent could be treated with only for 48~120 hours of salt spray test, which not only has poor corrosion resistance, but also does

收到日期：112 年 01 月 16 日

修訂日期：112 年 04 月 07 日

接受日期：112 年 05 月 29 日

燁輝企業股份有限公司

Yieh Phui Enterprise Co., Ltd.

\*聯絡作者：C339@yiehphui.com.tw

not meet the requirements of EU environmental protection regulations. Therefore, our company and coating suppliers jointly develop  $\text{Cr}^{3+}$  (Chromium) environmentally friendly passivation agent G2, which can achieve eco-friendly  $\text{Cr}^{6+}$ -free environmental protection and ultra-high corrosion resistance at the same time, and its corrosion resistance can reach 288 hours.

Due to the COVID-19 epidemic, consumers' demand for antibacterial has increased significantly, and it is an inevitable trend to produce anti-microbial plus metallic coated steel sheets. In addition to the research and development of high corrosion resistance coating G2, the company has added nano antibacterial agents to the coating. After testing, it has an excellent antibacterial ability to against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. In addition to being able to meet the nano-mark TN-052 Class II, its corrosion resistance can reach 516 hours, and it can have high corrosion resistance, environmental protection and antibacterial properties at the same time.

**Keywords:** High corrosion resistance; Nano; Environmentally friendly; Escherichia coli; Staphylococcus aureus; Galvanized steel.

## 1. 前言

熱浸鍍鋅是提高鋼材對抗大氣腐蝕最普遍的方法，在大氣環境下能發揮遮蔽保護及替代腐蝕機制，延長鋼材使用年限，為了更提升鋼材壽命，抑制表面白銹生成，通常表面會賦予化學塗層。目前最廣泛使用為六價鉻鉻酸鹽鈍化處理。

有鑑於近年來新冠病毒疫情影響，消費者對於居住環境安全意識的抬頭與重視，鉻的氧化活性比鋅低，鉻酸是強氧化劑，讓  $\text{Zn} \rightarrow \text{ZnCrO}_4$ ，常見的鉻酸鹽有三價鉻、六價鉻，六價鉻易溶於水，能在鈍化膜刮傷時起再鈍化作用，因此能防止空氣與水侵蝕鍍鋅層，對鋅層保護，但六價鉻為吞入性毒物、吸入性極毒物，皮膚接觸可能導致敏感；更可能造成遺傳性基因缺陷，吸入可能致癌，對環境有持久危險性，本公司及塗料供應商與抗菌材料業者合作，共同開發三價鉻環保鈍化藥劑。三價鉻與六價鉻耐蝕性能接近，且無毒性不溶於水，應用三價鉻之藥劑不僅可符合歐盟之環保法規 RoHS 及 REACH 指令，其耐蝕性更加提升許多。

另外，鋼捲表面含有高效奈米級長效穩定之抗菌成分塗膜，能有效抑制細菌的生長，可避免因細菌而造成異味、污漬、甚至是食物中毒及過敏等之威脅。燁輝所使用之高效抗菌成分能更有

效穿透細菌的細胞壁，破壞其結構組織，抑制生長繁殖。

燁輝企業的高效抗菌環保鍍面鋼捲已通過 SGS、食品工業發展研究所和新加坡 TÜV SÜD PSB 權威機構的抗菌測試(依據 JIS Z 2801 : 2010 標準)，能夠有效抑制常見之金黃色葡萄球菌、大腸桿菌生長，並已取得奈米標章證書之認可。

## 2. 實驗方法

### 2.1 試片製備

共製備 4 種相同鍍層量( $\text{Z27} : 275 \text{ g/m}^2$ )但不同表面處理藥劑之預熱浸鍍鋅鋼板，如下 A ~ D :

- A. 一般  $\text{Cr}^{6+}$  鉻酸鈍化表面處理鍍鋅鋼板
  - B.  $\text{Cr}^{3+}$ G1 鈍化表面處理鍍鋅鋼板
  - C.  $\text{Cr}^{3+}$ G2 鈍化表面處理鍍鋅鋼板
  - D.  $\text{Cr}^{3+}$ G2 鈍化表面處理 + 奈米抗菌劑鍍鋅鋼板
- 註：G1、G2 為藥劑代碼

### 2.2 中性鹽水噴霧試驗

評估塗料的耐蝕性標準，以塗料附著於鍍面鋼板表面，依據規範 CNS 8886 鹽水噴霧試驗法進行試驗，以白銹面積 5% 為判定基準，超過 5% 判定為 NG，試驗條件如下表 1：

表 1 CNS 8886 鹽水噴霧試驗法試驗條件。  
Table 1 CNS 8886 NSS.

項次	項目	試驗條件
1	試驗溫度	33.3 ~ 36.6 °C
2	相對溼度	95 ~ 98%
3	飽水桶溫度	46 ~ 49 °C
4	鹽水純度	99.7%以上
5	鹽水濃度	50 ± 5 g/L
6	鹽霧收集量	1.5 ± 0.5 ml/hr/80 cm <sup>2</sup>
7	試片放置角度 (對垂直)	20 ± 5 度
8	比重	1.029 ~ 1.036
9	pH 值	6.6 ~ 7.1

### 2.3 摩擦係數試驗

摩擦係數為表示材料表面光滑度之物理量，本試驗使用圖 1 ALTEK MODEL 9505A 進行量測。動摩擦係數量測方式：

- (1) 將測試鋼板置於試驗平台上並以夾具固定。
- (2) 於測試鋼板表面上放置 2 kg 荷重砝碼。
- (3) 以每秒 5 mm 速率拖移砝碼，使砝碼穩定移動，與鋼板產生相對運動。
- (4) 待數值穩定時，顯示即為鋼板之動摩擦係數。

### 2.4 奈米抗菌試驗

奈米技術產品之驗證，主要重點包括產品的奈米尺寸、奈米功能：(1)奈米尺寸：確認為真正之奈米技術產品；(2)奈米功能：應較原傳統產品增加新功能，或增強原有功能者；(3)奈米技術產品如係法定管制品者，另需符合相關法規之要求；或產品耐久性亦需符合產業一般要求。依據奈米抗菌製品驗證規範 TN052 II 類，須符合下列之要求水準。

- (5) 奈米尺寸：

利用 SEM(掃描式電子顯微鏡)高能量的電子與樣品產生的交互作用作為基礎而獲得樣品表面的形貌影像，確認奈米材料成分，其任一維平均尺寸在 100 nm 以下。

#### (6) 耐久性(耐刷洗性) II 類

待測抗菌製品樣品(或從產品本身選取或提供相同材質的試驗片)，裁切為邊長 50 mm ± 2 mm(厚度 10 mm 以內)表面平整之正方形塊，作為樣品。刷洗 2,000 週期/450 克/海棉，刷洗後對特定之金黃色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* (BCRC 10451，ATCC 6538P) 及大腸桿菌 *Escherichia coli* (BCRC 11634，ATCC 8739)之抗菌率須 90 %以上。

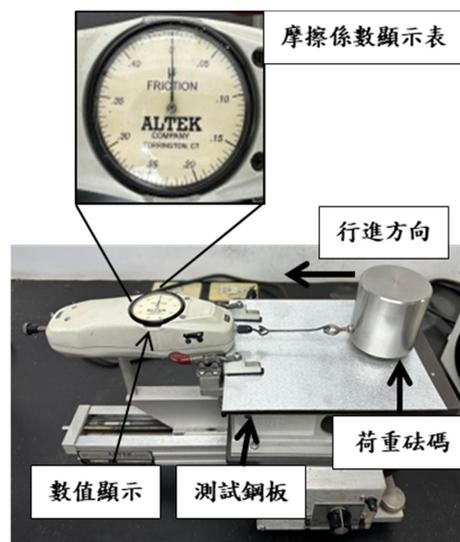


圖 1 摩擦係數測定儀。  
Figure 1 Friction Tester.

## 3. 產線 LAYOUT 簡介

熱浸鍍鋅的原理，簡單的說即是將已清洗潔淨的鋼材，浸入鋅浴中，使鋼鐵與熔融鋅反應生成鍍鋅層，但是鋅在空氣中會逐漸的氧化，既影響表面的美觀，又對往後的使用帶來不利的影響，因此為延長使用壽命，於鍍層之表面施予鈍化處理，可減少或避免在儲存、使用時白銹之產生。所謂的金屬鈍化現象，是由於金屬和介質發

生反應，在金屬表面生成一極薄但是緻密的膜，除增加防蝕保護性，也能提高後塗裝的密著性。圖 2 為鍍鋅產線之 LAYOUT 及鈍化處理設備之位置，塗裝方式採用輥塗；圖 3 為鍍面鋼板加上表面鈍化後之側面剖視圖。

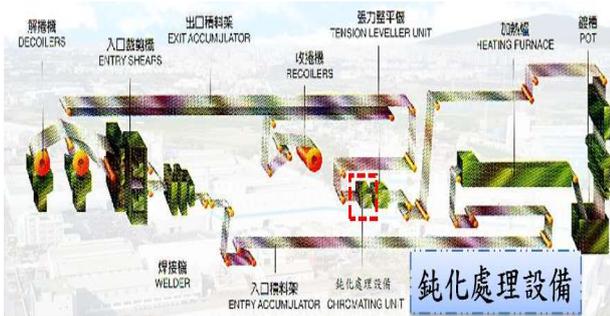


圖 2 鈍化處理之產線 LAYOUT。  
Figure 2 Production line LAYOUT of passivation treatment.

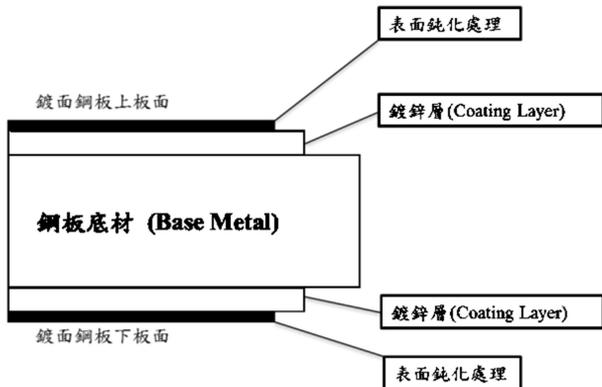


圖 3 表面鈍化處理後鍍面鋼板側面剖視圖。  
Figure 3 Cross-section view of plated steel plate after surface passivation treatment.

#### 4. Cr<sup>3+</sup>環保鈍化藥劑

鉻(Cr)是一種化學物質，金屬鉻在空氣中極易鈍化，表面形成一層極薄的鈍化膜，鉻酸皮膜層具有良好的化學穩定性，在鹼、硫化物、硝酸和大多數有機酸中均不發生作用，通常應用於金屬塗層中之防蝕機制。

歐盟採領先全球中最嚴格規定，建材產品需要同時符合 RoHS 及 REACH 指令要求不能含有六價鉻，原本使用之六價鉻鉻酸鈍化鋼材，中性

鹽霧測試僅 48 ~ 120 小時，白銹面積 > 5% (如表 5)，不僅耐蝕性差，亦不符合 RoHS 及 REACH 指令要求。

本公司於 2018 年 3 月，開始與塗料商進行共同開發三價鉻環保鈍化藥劑 G1，可同時達到無 Cr<sup>6+</sup>環保及超高耐蝕性能，經各項物化性試驗皆有極佳之性能(如表 2)，中性鹽霧測試可達 288 HRS，白銹面積 < 5% (如表 6)。

表 2 三價鉻環保鈍化藥劑 G1 各項物化性能比較。

Table 2 Comparison of various physical and chemical properties of Cr<sup>3+</sup> environmental passivation G1.

測試項目	測試方法	測試結果
測試加工性 (T-bend)	180° VISE, 20 °C	0T, 3 點
C.E.T	100 mm/100 mm, 高度 6 mm 後 taping	無剝落
衝擊試驗	100/100, ½ × 50 cm × 1 kg	無剝落
耐沸水性	98 °C × 1 hr	無色差及起泡
SST	CNS 8886	216 小時

但在研發試製過程中，使用 G1 藥劑於鍍面鋼板生產時，鋼板表面容易浮現嚴重之白霧化現象，如下圖 4 所示，此現象於客戶端成形加工時，容易產生白色粉末狀，造成客戶之困擾。

故針對此一白霧現象探討其原因，並進行以下相關試驗方法：

- (1) 取試片分別在不同條件之板溫 PMT(Peak Metal Temperature)進行塗佈 G1 藥劑，而每一片之鉻附著量均為不同。
- (2) 將試片以放入恆溫恆濕機 20 分鐘(設定條件溫度 50 °C，濕度 95%RH)，並量測其 60° 光澤度，檢測結果如下表 3。

由表 3 得知，當 PMT 越低，鉻附著量越高時，光澤度越減少，白霧現象越嚴重。



圖 4 白霧狀鍍面鋼板。  
Figure 4 White mist plated steel plate.

表 3 鉻附著量與 PMT 交叉比對之光澤度實驗。

Table 3 Glossiness test of cross-comparison between chromium content and PMT.

單位：GU

鉻附著量 PMT	50 mg/m <sup>2</sup>	80 mg/m <sup>2</sup>	110 mg/m <sup>2</sup>	140 mg/m <sup>2</sup>
90 °C	163	95	82	79
100 °C	171	130	85.8	80.4
110 °C	167	145	122	110

另外生產時因鍍鋅產線工作環境溫度較高，會使藥劑中乙醇和水蒸發，固成分提高，致使樹脂及 SOLGEL(溶膠凝膠)溶出，黏度上升，造成 pH 值下降，跟鋼板表面的鋅產生白化反應，致使鋼板表面產生白霧，原理如圖 5。

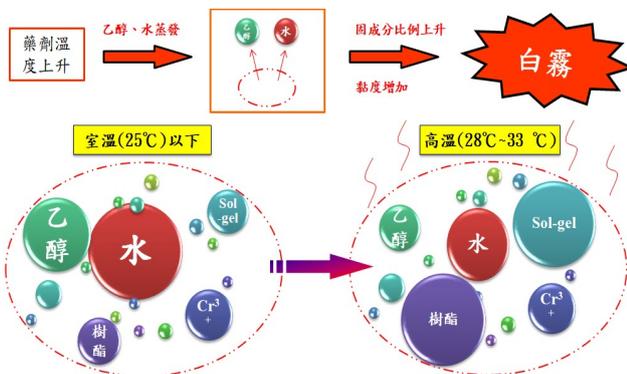


圖 5 白霧狀產生之原理。  
Figure 5 The principle of white mist.

➤ 固成分變化計算：

原始藥劑 G1 固成分 = 12%

原始藥劑溫度 25 °C

原藥劑固成分(%)Nv =

$$\frac{\text{樹脂} + \text{Cr}^3 + \text{Solgel} (g)}{\text{水} + \text{乙醇} + \text{樹脂} + \text{Cr}^3 + \text{Solgel} (g)} \times 100\% \quad (4.1)$$

工作溫度升溫 33°C後藥劑 G1 固成分= 16%

	參數
G1 藥劑比熱	4.6375 cal/g°C
H (msΔT)	3710 cal
熱量變化	15508 J (1 cal = 4.18 J)
水汽化熱純	2260 J/g
乙醇汽化熱	855 J/g
水蒸散	6.86 g
乙醇蒸散	18.14 g

因工作環境溫度，使得 G1 藥劑由原液溫度 25°C升高至 33°C，固成分由 12%上升至 16%，白霧現象明顯，產線必須以冰水機將藥劑降溫方可確保白霧狀缺陷不會發生。

但使用冰水機讓藥劑降溫，並非長遠之計，後續與塗料持續討論並進行藥劑改質。改質後之 G2 藥劑各項物化性能試驗與 G1 藥劑相同，其成分不含 SOLGEL(溶膠凝膠)與乙醇，而樹脂含量更只有 G1 的三分之一，可有效避免因工作環境溫度高，造成藥劑溶劑揮發，耐蝕能力與 G1 相當。

另外 G1&G2 藥劑對於鋼板表面亦可提供較佳之潤滑性，一般來說，耐指紋皮膜之潤滑性最佳，而鉻酸鈍化最差，G1&G2 藥劑介於耐指紋與鉻酸之間，有較佳的潤滑性，亦可提供客戶較佳之成形性，如下表 4 所示。

表 4 不同藥劑潤滑性之比較。  
Table 4 Comparison of lubricity of different surface treatments.

藥劑別	動摩擦係數 $\mu k$	成形性
耐指紋皮膜(AFP)	0.1 ~ 0.15	優
G1&G2 三價鉻藥劑	0.2 ~ 0.25	佳
六價鉻鉻酸鈍化藥劑	0.4	劣

### 5. 高效奈米抗菌環保鍍面鋼板

近兩年全球新冠病毒疫情影響，消費者對抗菌需求大幅增加，能生產製造高效抗菌鋼捲已是不可避免之趨勢。本公司除研發高耐蝕藥劑 G2，並於塗料中添加奈米抗菌劑之成分，主要利用內含奈米鋅複合物，奈米鋅為新型多功能材料，因為其晶體粒子變小，導致表面電子結構及晶體結構發生變化，造成許多特性變化。因此，氧化鋅抗菌機制分為：

- (1) 光催化機制。即奈米鋅在陽光，尤其是紫外光照射下，在水和空氣中，能自行釋出帶負電的電子(e<sup>-</sup>)，同時留下帶正電的空穴(h<sup>+</sup>)，激發空氣產生活性氧，而活性氧能與多種微生物發生氧化反應，從而達到殺菌效果。
- (2) 金屬離子溶出機制。即游離出來的鋅離子在接觸細菌體時與蛋白酶結合，使其失去活性從而達到殺菌效果。

金屬離子溶出機制和光催化機制共同產生作用，其中光催化機制具體為有水和氧氣存在的情況下，水溶液中的光催化還原反應在奈米 ZnO 顆粒表面進行，吸附於 ZnO 顆粒表面的水分子被光生空穴氧化後，生成氧化能力和反應活性極強的氫氧自由基(HO)，上述過程如下：



另外光生電子還原水中的溶解氧，生成過氧化氫自由基(HO<sub>2</sub>)。



過氧化氫由以下反應生成氫氧自由基



生成的 HO 自由基和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 屬活性氧類，是活性很高的強氧化劑，可有效進行抑制害菌在產品表面滋長，達到其抗菌目的，實屬一永久性之抗菌材料。如圖 6 所示，於 24 小時內，添加奈米抗菌劑可完全將細菌破壞，落菌量為 0，持續有效可長達 5 ~ 10 年。

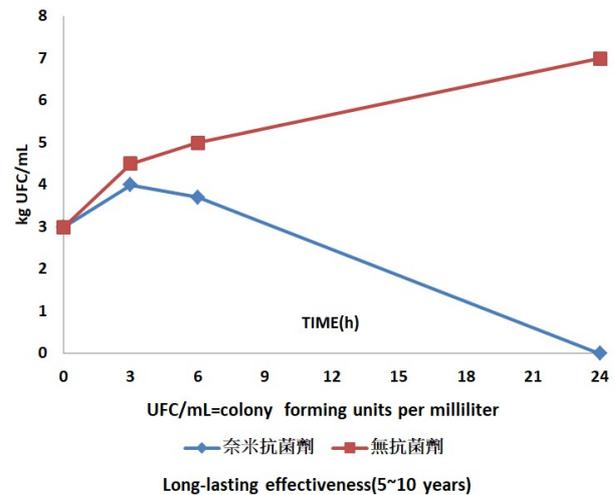


圖 6 24 小時有無奈米抗菌劑對照之落菌量生成理。  
Figure 6 Physiology of colony mass production in 24 hours with or without nano antibacterial.

如圖 7 所示，鋅離子穿破細菌細胞壁進行殺菌反應，(a)為穿透前，(b)為穿透後。當帶正電的鋅離子與細菌接觸時，因細菌的細胞壁多為帶負電荷，在正、負離子量不平衡的情況下產生拉力，導致細菌的細胞壁被拉破而產生破洞，無法合成細胞壁而影響繁殖。

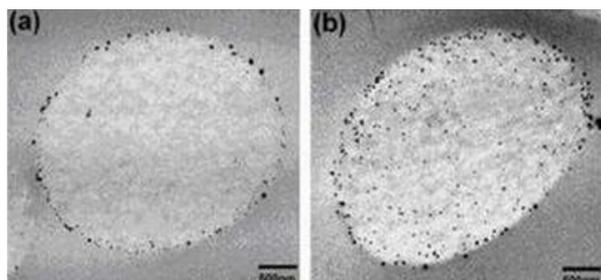


圖 7 細菌的細胞壁殺菌反應。  
Figure 7 Bacterial cell wall bactericidal response.

如圖 8 所示，鋅離子進行殺菌機制後之顯著成效(a)塗抹前細菌數量(b)塗抹後細菌數量。

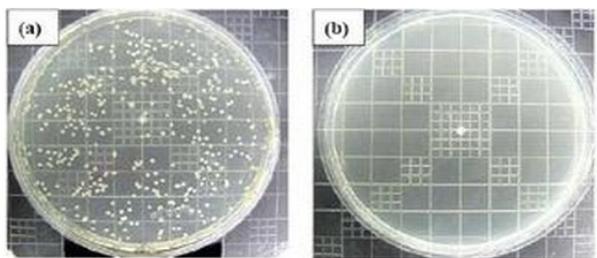


圖 8 鋅離子殺菌機制。  
Figure 8 Zinc ion sterilization mechanism.

為確認奈米抗菌劑之各項性能，將之進行以下相關試驗：

- (1) 通過 SGS 天竺鼠敏感試驗，PII = 0，證實無皮膚刺激性反應。
- (2) 通過 SGS 急性口服毒性試驗，LD50 > 2000 mg/kg，證實無毒性反應。
- (3) 利用 SEM 放大倍率 100,000 X 確認鍍鋅鋼板抗菌劑奈米材料成分，其任一維平均尺寸在 100 nm 以下，其檢測結果平均尺寸為 23.3 nm，如下圖 9。
- (4) 以膜厚量測儀量測 Cr<sup>3+</sup>環保鈍化藥劑，其膜厚約為 1 μm。
- (5) Cr<sup>3+</sup>環保鈍化藥劑與奈米抗菌劑充分混和後均勻塗佈於鍍鋅鋼板表面，再以 EDS 於藥劑表面檢測其成分，其檢測深度小於 1 μm，未深入至鍍鋅層而影響檢測結果。
- (6) 以 EDS 鑑定鍍鋅鋼板板面含有奈米鋅之成分，如下圖 10。

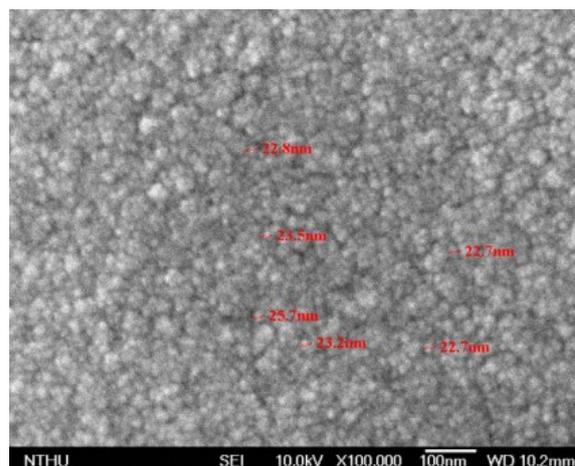


圖 9 高耐蝕環保鍍面鋼品之奈米尺寸(SEM)放大倍率 100,000X。  
Figure 9 Nanoscale (SEM) magnification 100,000X for Anti-Microbial Plus Coated Steel Sheets.

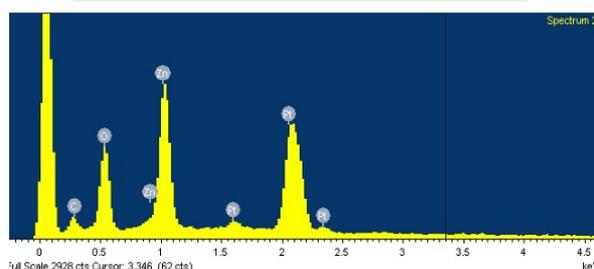
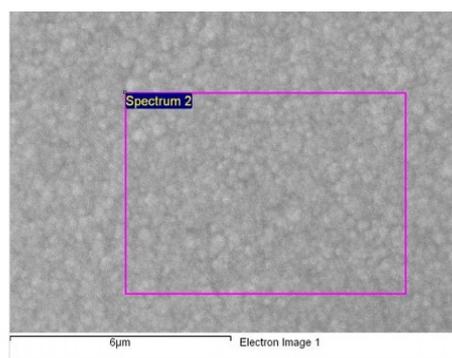


圖 10 EDS 檢測鍍鋅鋼板板面之奈米鋅。  
Figure 10 EDS detection of nano-zinc on the surface of galvanized steel sheet.

- (7) 委請中興大學奈米材料測試實驗室依據奈米抗菌製品驗證規 TN052 II 類，針對添加奈米抗菌劑範 TN052 II 類規定，需以海綿荷重 450 g，進行之鍍面鋼板以海綿荷重 450 克進行刷洗鋼板表面 2,000 次，刷洗後對特定之金黃色葡萄球菌及大腸桿菌之抗菌率須 90 % 以上。經測試高效奈米抗菌環保鍍面鋼板均

達 99.99%，如圖 11、12。顯示添加奈米抗菌劑之鍍面鋼板經刷洗 2000 次後，仍具有良好之抗菌效果，並同步取得奈米協會獲頒之奈米標章證書，認可產品編號 03097。

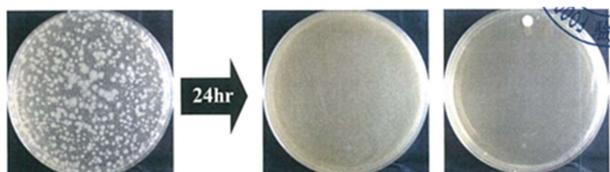


圖 11 大腸桿菌抗菌情形(稀釋倍率 1 倍)。  
Figure 11 Escherichia coli antibacterial situation (dilution ratio 1 times).

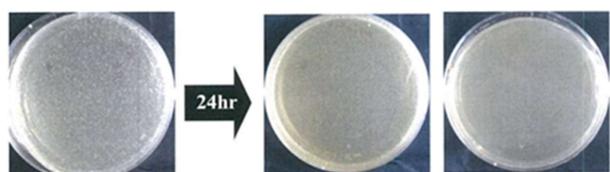


圖 12 金黃葡萄球菌抗菌情形(稀釋倍率 1 倍)。  
Figure 12 Antibacterial situation of Staphylococcus aureus (dilution ratio 1 times).

(8) 添加奈米抗菌劑於 G2 藥劑，更可增加其耐蝕性能，如下圖 13 所示，奈米抗菌劑為包含了 20 ~ 100 nm 活性奈米粒子所組成的塗料。這些奈米粒子可以滲透至鍍鋅鋼板表面的微裂紋或缺陷之中進行封孔，提供更好的耐蝕性。同時，奈米粒子的活性表面可以和金屬產生不易破壞的化學鍵結，提供良好的薄膜結合力，經檢測其耐蝕性更可高達 516 小時，如下表 7。

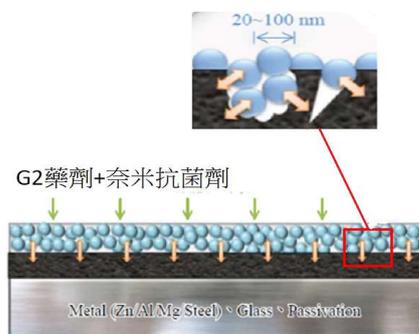


圖 13 奈米抗菌劑作用於金屬表面示意圖。  
Figure 13 Schematic diagram of nano antibacterial agent acting on metal surface.

表 5 一般鉻酸鈍化表面處理鍍鋅鋼板耐蝕性能。

Table 5 Chromic acid passivation surface treatment for corrosion resistance of galvanized steel sheets.

圖片			
測試時間	48 小時	96 小時	120 小時
白銹面積	5%	70%	100%

表 6 Cr<sup>3+</sup>G1 鈍化表面處理鍍鋅鋼板。

Table 6 Cr<sup>3+</sup>G1 passivation surface treatment for corrosion resistance of galvanized steel sheets.

圖片			
測試時間	96 小時	120 小時	288 小時
白銹面積	0%	3%	4%

表 7 Cr<sup>3+</sup>G2 鈍化表面處理+奈米抗菌劑鍍鋅鋼板。

Table 7 Cr<sup>3+</sup>G2 passivation surface treatment with nano antibacterial agent for corrosion resistance of galvanized steel sheets.

圖片			
測試時間	120 小時	288 小時	516 小時
白銹面積	1%	2%	4%

## 6. 結論與建議

本公司與塗料商開發之三價鉻環保鈍化藥劑 G1、G2，可同時達到無  $\text{Cr}^{6+}$  環保及超高耐蝕性能，經中性鹽霧測試可達 216 小時。

1. 於 G2 塗料中添加奈米抗菌劑之成分，該奈米抗菌粒子是一種自身兼具殺菌、抑菌功能的新型奈米複合型化合物，與一般消毒殺菌劑的不同在於它被少量地添加到鍍面鋼板上，可持續發揮殺菌和抑菌作用，以保護接觸鍍面鋼板的人不受表面的有害微生物的感染，和保護鍍面鋼材本身不被微生物損害，經測試，可有效對抗金黃色葡萄球菌及大腸桿菌，且添加奈米抗菌劑於 G2 藥劑，更可增加其耐蝕性能，其耐蝕性更可高達 516 小時。
2. 在歐美各國甚至中國大陸抗菌劑的應用性可謂風起雲湧，除了抗菌材料大規模用來處理建材、建物、日常用品之外，最近病毒所引起的疾病更突顯了它強效、環保、安全的消毒特色，同時也帶動全球民生及環境消毒概念的興起，目前高效抗菌環保鍍面鋼板已大量推廣及應用於空調風管、圖書館及醫院。

現在歐盟雖然開放可使用  $\text{Cr}^{3+}$ ，但是環保意識趨勢，未來仍可預見朝向全無鉻(Cr-Free)之產品，故燁輝仍需本著與永續經營及對社會的責任，持續開發更具環保及更高耐蝕性之產品。

## 參考文獻

- [1] 中華民國國家標準 CNS 8886：鹽水噴霧試驗(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，2002。
- [2] 奈米抗菌製品驗證規範 TN 052：版次 1.0，2013。
- [3] D. Mizuno “Automotive corrosion and corrosion evaluation methods for coated steel sheets”, GALVATECH2017, Tokyo, ISIJ.
- [4] M. Rohwerder and T. H. Tran “Novel zinc-nanocontainer composite coatings for intelligent corrosion protection”, GALVATECH2017, Tokyo, ISIJ.
- [5] “Mesoporous silica nanoparticles for active corrosion protection”, D. Borisova, H. Möhwald, and D. G. Shchukin, ACS nano, 5 (2011) pp. 1939-1946.
- [6] JIS Z2801: Antimicrobial products-Test for antimicrobial activity and efficacy, 2012.
- [7] 朱立，in：“鋼材熱鍍鋅”，化學工業出版社(中國，北京，2006)。
- [8] A. Matsuzaki, T. Matsuda, R. Kaneko, K. Tsuchimoto, “Development of next generation chromate-free coatings by noble inorganic polymer,” GALVATECH2017, Tokyo, ISIJ.
- [9] ISO 16700: Microbeam analysis – Scanning electron microscopy, 2004.
- [10] 中華民國國家標準 CNS 15200-5-11：塗料一般試驗法—第 5-11 部：塗膜機械性質：耐擦洗性及耐洗淨性，2010。
- [11] “無機抗菌劑和抗菌功能材料的現況和發展”，許瑩，河北理工學院學報，第 23 卷第 4 期，2001 年，第 77-81 頁。
- [12] A. Maxwell and S. E. Critchlow, in: Quinolone Antibacterials (Springer Verlag, Germany, 1998) 119-158.