

研究報告

研磨處理對竹材表面性質及塗膜附著性之影響¹

范思源² 盧崑宗²

【摘要】 本研究係探討表面研磨處理對竹材表面性質之影響，及對塗膜附著性之改善效益，進而歸納最佳的前處理方法，提供竹材加工業者參考，以提升竹材的塗裝品質，增加產品的經濟價值而提高收益。竹材採用 5 年生孟宗竹及麻竹，研磨處理分成單一階段及兩階段處理，前者分別使用 # 120、# 180、# 320 及 # 400 砂布研磨，後者先經粗研磨後再細研磨，共分成 # 120 → # 320、# 120 → # 400、# 180 → # 320 及 # 180 → # 400 等處理，塗料使用市售硝化纖維素拉卡（NC 拉卡）及水性聚胺酯（PU）塗料，表面性質測定項目包括粗糙度、濕潤性、顏色及 SEM 觀察等，塗膜附著性分別採用方格試驗、180° 剝離強度試驗及拉伸剪斷強度試驗等 3 種方法。試驗結果發現，以粗砂布研磨者竹材表面較粗糙，又兩階段研磨處理者其材面較未處理材平滑，但較單一階段研磨者粗糙。以水為滴液時，兩階段研磨處理者之濕潤性有較單一階段者為佳。不論經過單一階段或兩階段研磨處理均不會破壞竹材原本的綠色。整體而言，以兩階段研磨者具有較佳的塗膜附著性，又所有塗裝試片在附著性試驗時之破壞，均為塗膜與竹材表面的界面破壞。

【關鍵字】 竹材、研磨處理、表面性質、塗膜、附著性

Research paper

Effect of Sanding Treatment on the Surface Properties and Adhesion of Coated Bamboo¹

Ssu-Yuan Fan² Kun-Tsung Lu²

【Abstract】 The poor adhesion of films on bamboo was criticized by the bamboo industry. To develop a pretreatment method that improves the adhesion of film and that the bamboo industry becomes motivated to explore potential applications, and subsequently increase the economic value of bamboo products, a study of sanding treatments was examined. Five years-old moso bamboo [*Phyllostachys pubescens* (Carr.) A. and C. Riv.], and ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus* Munro), nitrocellulose lacquer and waterborne polyurethane coating were used in the study. Sanding treatments including single stage process i.e. #120, #180, #320, and #400 sanding cloth and two-stage process such as #120→#320, #120→#400, #180→#320, and #180→#400 were applied respectively. Surface properties of bamboo such as roughness,

1. 本文曾於中華林學會 92 年度論文發表會宣讀

2. 國立中興大學 森林系 研究生、助理教授（通訊作者）

Graduate student, Assistant Professor (Corresponding Author), Department of Forestry, NCHU.

wettability, color and SEM inspection were evaluated, and cross-cut method, 180° peel strength, and shear strength tests for measuring adhesion of coatings were used. The results of sanding treatment indicated that the using the coarser sanding cloth could get larger surface roughness, and surface of bamboo by two-stage process was smoother than that of untreated bamboo and coarser than that of by single stage process. The wettability of water on the bamboo by two-stage sanding process was better than that of using single stage process. All the sanding treatment could keep the green color of bamboo in this study. Two-stage process i.e. first rough sanding followed by fine sanding got the better adhesion of films on the bamboo. Interfacial failure between film and bamboo for all adhesion test specimens were also found in this study.

[Key words] Bamboo, Sanding treatment, Surface properties, Film, Adhesion.

一、前言

由於竹子的生長迅速，通常在 2 至 4 個月最大高度就可以達 15 至 30 m 間，而 3 至 8 年間便可以到成熟期，只要以正常方式作業經營，即可長年維持穩定的產量。由於其輪伐期短，數年間即可砍伐利用，且為可再生的天然森林資源物，舉凡食、衣、住、行、育、樂者皆可以竹為其加工材料（呂錦明，2001）。收穫的竹材除能解決燃料問題外，由於竹子本身具有良好的機械與物理性質，也可廣泛應用於建築、裝潢、家具、製漿造紙及竹炭等原料上，亦可作為雕刻、裝飾及其他工藝品之加工素材，也因此可以減少森林的砍伐量。而此一天然有機材料所製成的產品，若經塗裝處理，更能增加對材面的保護功能，延長使用年限，進而提升品質，甚至更可賦予其他機能性而增加附加價值。故塗膜附著性的良否，便成為竹製品能否達到這些目的的主要指標之一。然而，由於竹青表皮覆蓋蠟質層，常使塗膜附著性不佳而為業界所詬病，竹材的應用上也因而受到許多的限制。因此，如何進行竹材表面預處理以增加塗膜附著性，係擴展竹材用途及提升其品質亟需解決的問題。

塗料的表面張力必須小於被塗物者，才能在被塗物表面形成一連續的薄膜。有機塗料在被塗物上所產生的附著力可由下式的 Dupre 方程式來量化說明：

$$W_a = Y_1 + Y_2 - Y_{12} \dots \dots \dots (1)$$

其中， W_a 為附著功， Y_1 及 Y_2 分別為塗料及被塗物的表面張力， Y_{12} 為塗料與被塗物兩界面間的界面張力。但是由式（1）並無法得到理想的附著強度，這是因為分子間的不良接觸造成理想值的偏差，由於此一偏差值的產生而形成了數個不同的塗膜附著理論，但是任一個理論都無法完全解釋此一偏差發生的原因。大部分的塗膜附著理論多著重於討論塗料與被塗物結合形成的機制，但事實上最終的附著強度受被塗物本身的表面性質所影響，而被塗物表面經物理或化學處理都會造成附著強度發生變化（Stoffer and Gadodia, 1989a）。關於塗膜附著於被塗物的現象有多種理論被提出，包括①投錨理論（Mechanical interlocking and topography theory）、②弱境界層理論（Weak-boundary layer theory, WBL theory）、③吸著理論（Adsorptive theory）、④靜電理論（Electrical double layer theory）、⑤擴散理論（Diffusion theory）、⑥化學鍵結理論（Chemical theory）、⑦流變學理論（Rheology theory）、⑧溶解度參數理論（Solubility parameter theory, SP theory）及⑨破壞理論（Fracture theory）等（佐藤，1995；堀內，1998；Heath，1990；Stoffer and Gododia，1989a）。以上理論，在產生塗膜附著力的機制中，可能單一理論即可解釋，也可能多種理

論同時並存 (Stoffer and Gadodia, 1989a)。

增加竹材表面附著性的可行方法之一，為去除竹材表面蠟質的弱境界層，並且使得塗料分子的極性團基可以與竹材表面產生氫鍵，或吸著於活性化位置上產生鍵結，或縮短塗料與竹材間的距離，增加凡得瓦力等等。而機械式的研磨處理同時亦可以增加竹材表面粗糙度，經由增加實質表面積而加強塗膜的投錨效果，進而增加塗膜的附著性。

Uehara 及 Sakurai (2002) 曾研究鎢碳鋼及黃銅表面粗糙度對於膠合強度的影響，鎢碳鋼以銑床處理，黃銅則以砂紙處理，發現適當的增加表面粗糙度可以提升膠合強度。Hahn 及 Motzko (1995) 在對不鏽鋼以金剛砂噴砂處理，再以矽酸鹽塗佈的研究中提出，噴砂處理可以增加不鏽鋼表面粗糙度，提升矽酸鹽皮膜的附著強度，而此種處理方法亦可適用於不同的材質，例如金屬、塑膠及玻璃等等。黃金城 (1991) 曾研究紅檜、杉木、花旗松、紅橡木及橡膠木等五種木材，經研磨處理後對塗膜光澤度及附著力的影響，發現研磨處理後的不同粗糙度會影響塗膜的附著強度。然而，對於竹材研磨處理之研究，僅川村及小谷 (1992) 曾對日本剛竹 (*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.) 以 #120 及 #500 砂布行研磨處理，結果發現機械式的研磨可以增加竹材的臨界表面張力 (Critical surface tension)，同時可以增加竹材表面羰基 (C = O) 的濃度，但研磨處理後之竹材表面性質，如顏色、粗糙度等，以及塗膜附著性並未進一步分析。

Stoffer 及 Gaoddia (1889 b) 利用乙烯基塗料、聚酯塗料及壓克力塗料分別塗佈於鋁、鋼、丙烯腈/丁二烯/苯乙烯共聚合樹酯 (ABS)、聚苯乙烯 (PS) 及聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 等被塗物，並以以方格試驗、180° 剝離強度及拉伸剪斷強度試驗評估塗膜附著性，發現 180° 剝離強度及拉伸剪斷強度對塗膜附著性客觀性的數據化評估遠較方格試驗者為佳。Uehara 及 Sakurai (2002) 以 T 型剝離強度及拉伸剪斷強度評估經研磨處理後鎢

碳鋼及黃銅的附著性，結果均發現此種塗膜附著性評估法較傳統方格試驗法優良，可以減少人為誤差並提供明確的數值以比較附著強度的優劣，同時也可以得到更多的附著功資訊。故本研究除以不同粗細度砂布，利用單一階段及兩階段研磨處理，探討其對竹材表面性質之影響，並以 NC 拉卡及水性聚胺酯 (PU) 塗料塗裝竹材後，再同時以方格試驗、180° 剝離強度試驗及拉伸剪斷強度試驗，分析各種研磨處理之塗膜附著性。

二、材料與方法

(一) 材料

1. 竹材：(1) 孟宗竹 [*Phyllostachys pubescens* (Carr.) A. and C. Riv, Moso bamboo]、(2) 麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro, Ma bamboo)，5 年生，伐自於南投縣鹿谷鄉，將竹材以水清洗，置於 60 °C 烘箱中乾燥 24 h 後取出，去節並裁製成 25 × 60 × 3 mm 之試材備用。
2. 砂布：號數分別為 #120、#180、#320 及 #400 (Plum star 牌，砥粒為一級氧化鋁)，砂布號數大者代表其粒徑小，亦即砥粒較細。
3. 膠合劑：二液型環氧樹脂 (南寶樹脂公司產品，型號 906)。
4. 布：50% 聚酯 + 50% 棉，基重：187 g/m²。
5. 塗料：(1) 硝化纖維素拉卡 (NC lacquer, 國榮公司產品)，包括二度底漆 (固形分：27.8%) 及透明面漆 (固形分：28.5%)，均利用 4 號福特杯以混和溶劑調成粘度 20 sec。(2) 水性聚胺酯塗料 (PU, 瑞典 Becker Acroma 公司產品) (固形分：24.3%)，利用 4 號福特杯以水混合調成粘度 15 sec。

(二) 方法

1. 表面研磨處理

- (1) 單一階段處理：將竹材分別以 #120、#180、#320 及 #400 砂布，以適當力量順著竹材曲面研磨，直至全面研磨均勻為止。
- (2) 兩階段處理

- a. 將竹材先以 #120 砂布粗研磨後，再分別以 #320 (代號為 #120→#320) 或 #400 (代號為 #120→#400) 砂布細研磨。
- b. 將竹材先以 #180 砂布粗研磨後，再分別以 #320 (代號為 #180→#320) 或 #400 (代號為 #180→#400) 砂布細研磨。

2. 表面性質分析

(1) 粗糙度：粗糙度之表示法，可分別以測定

a. 中心線平均粗糙度 (Center line average roughness, Ra)：係在基準測定長度內之中心線至凸點與凹點之平均間隔，b. 十點平均粗糙度 (Ten point height roughness, Rz)：係在基準測定長度內，取最高至第五高的山頂標高平均值與最深到第五深的谷底標高平均值之差，c. 最大粗糙度 (Maximum roughness, Rmax)：係抽取基準測定長度部分，以平行平均線的 2 直線上下夾之，最高峰值及最低谷值的差值 (王志方, 1993)，通常粗糙度以 Ra 最具代表性。本試驗以針觸式表面粗糙度儀 (Kosaka SE1700) 量測，觸針直徑 $2\mu\text{m}$ ，測量長度 4 mm，測量速度 0.5 mm/sec，截取高度 (Cut off) 0.8 mm。

(2) 接觸角：處理前後之竹材，使用水及水性 PU 塗料為滴液，以表面接觸角測定儀 (Kyowa) 測定，每試片測定 5 點再平均之。

(3) 顏色：處理前後之竹材，以可視分光光度計 (Minolta, spectrophotometer CM-3600d)，採用國際照明協會 CIE $L^*a^*b^*$ 系統，光源為 D65，觀測角度為 10° ，孔徑為 8 mm，測量竹材表面 L^* 、 a^* 及 b^* 值，並計算其研磨處理後之顏色差值 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ，計算式如下：

$$\Delta L^* = L_s^* - L_o^*$$

$$\Delta a^* = a_s^* - a_o^*$$

$$\Delta b^* = b_s^* - b_o^*$$

其中 o, s 分別代表竹材研磨前及處理後之 L^* 、 a^* 及 b^* 值。

(4) 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察：處理前後之竹材，裁切成每片 $3 \times 3 \times 2\text{mm}$ 後，置入真空烘箱，在 25°C 下，乾燥 24 h 去除水分，表面鍍金膜後，置於 SEM (Topcon, SEM ABT-150S) 下掃描觀察其表面構造。

3. 竹材塗裝

將空氣式噴槍調整至適度空氣流量、出漆量及噴幅，再將調配完成之塗料，以固定之噴塗速度，噴塗於經各種研磨處理之竹材，力求每次塗膜厚度均勻。

(1) NC 拉卡：二度底漆噴塗 2 道，俟其完全乾燥後，再以 #180 砂布輕研磨塗膜表面，再噴塗透明面漆 1 道。

(2) 水性 PU：先噴塗 1 道水性 PU，俟其完全乾燥後，再以 #180 砂布輕研磨塗膜表面，再噴塗 1 道水性 PU。

將塗裝完成之試片置於預測定附著強度環境 (溼度：65% RH，溫度： 27°C) 下，放置一週。

4. 塗膜附著性測定

(1) 180° 剝離強度 (180° peel strength)：如圖 1，將塗裝面之竹材，使用環氧樹脂塗佈後，以布膠合，面積 $25 \times 20\text{mm}$ ，置於預測定附著強度環境下 (溼度：65% RH，溫度： 27°C) 乾燥 3 天後，使用拉力試驗機 (Shimadzu, EZTest series) 在拉伸速度 20cm/min 下，測量塗膜之剝離強度，單位為 $\text{kgf}/25\text{mm}$ ，並觀察塗膜破壞界面。

(2) 拉伸剪斷強度 (Shear strength)：如圖 2，將塗裝面之竹材，使用環氧樹脂塗佈後，以布膠合，面積 $25 \times 20\text{mm}$ ，置於預測定附著強度環境下 (溼度：65% RH，溫度： 27°C) 乾燥 3 天後，使用拉力試驗機在拉伸速度 20cm/min 下，測量塗膜之拉伸剪斷強度，單位為 kgf/cm^2 ，並觀察塗膜破壞界面。

(3) 方格試驗 (Cross cut test)：依 CNS 10756 K6800 之方格試驗法測定之。以美工刀之

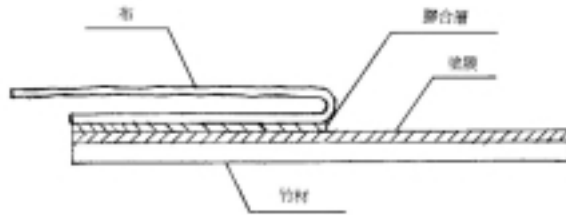


圖 1. 180° 剝離強度試驗模型圖

Fig. 1. Diagram of 180° peel test.

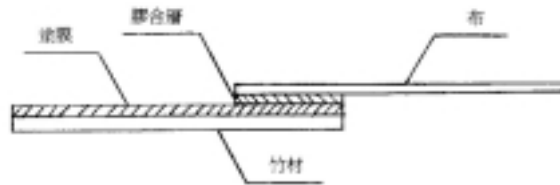


圖 2. 拉伸剪斷強度試驗模型圖

Fig. 2. Diagram of shear test.

刀尖對塗膜成 35~45°，如圖 3，將 1 cm² 塗膜切成 100 格，再以透明膠帶粘上，隨即用力撕下，觀察塗膜剝落面積，優劣等級依次為 10、8、6、4、2、0。其中，10 代表切痕之交點與正方形每一目均無剝落現象，8 代表缺損部之面積為全正方形之 5% 以內，6 代表缺損部之面積為全正方形之 5~15%，4 代表缺損部之面積為全正方形之 15~35%，2 代表缺損部之面積為全正方形之 35~65%，0 代表缺損部之面積為全正方形之 65% 以上。

三、結果與討論

(一) 表面性質

1. 粗糙度

經由各種不同粗細度砂布以單一階段及兩階段研磨處理後之孟宗竹及麻竹表面粗糙度

如表 1 所示。由試驗結果得知，孟宗竹以單一階段研磨處理時，砂布愈粗者，其 Ra、Rz 及 Rmax 值均愈高，例如，以 #120、#180、#320 及 #400 砂布處理者，其 Ra 值分別為 3.722、2.156、1.250 及 1.067 μm，顯示使用粗砂布研磨者，竹材表面愈粗糙。但以 #320、#400 等較細砂布研磨者，其 Ra、Rz 及 Rmax 值均較未研磨者低，顯示以細砂布研磨者，會使材面更加平滑。再由 SEM 進一步觀察，圖 4 (a) 為未處理孟宗竹之蠟層的分布，經 #120 粗砂布研磨後，其表面蠟層有明顯的破碎剝離現象，如圖 4 (b)；若以較細砂布研磨者，竹材表面原有的孔隙易被填平而變為更平滑的現象，如圖 4 (c)，此應為經細砂布研磨竹材較未處理者粗糙度低的原因。又單一階段研磨處理之麻竹表面粗糙度與孟宗竹者有相同的趨勢。但如圖 5 (a) 之未處理麻竹表面顯示，其表面蠟層

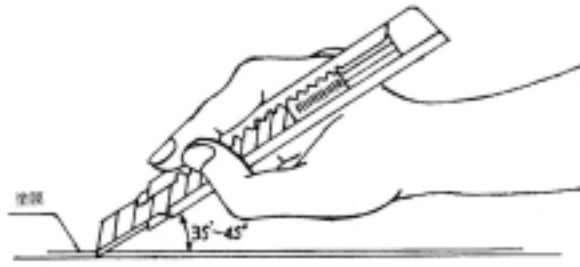


圖 3. 美工刀之操作方法

Fig. 3. The process of knife.

表 1. 各種研磨處理前後竹材之表面粗糙度

Table 1. Surface roughness of bamboo before and after various sanding treatment.

Unit : μm

Treatment	Moso bamboo			Ma bamboo		
	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
Control	1.770	2.110	7.422	1.354	1.493	5.721
#120	3.722	4.522	15.28	2.504	2.689	9.285
#180	2.156	2.392	9.418	1.863	2.073	7.694
#320	1.250	1.341	5.901	0.804	0.871	3.737
#400	1.067	1.190	4.341	0.901	0.943	4.121
#120→#320	1.710	2.125	6.706	1.121	1.334	5.067
#180→#320	1.280	1.397	5.246	1.077	1.244	4.819
#120→#400	1.881	2.640	8.041	1.433	1.573	6.153
#180→#400	1.100	1.270	4.442	1.128	1.217	4.888

的分布較孟宗竹者為不均的現象，由表 1 之結果得知，經相同粗細度砂布研磨處理的麻竹，其 Ra、Rz 及 Rmax 值均較孟宗竹者為低，顯示在本試驗力求相同研磨程度下，麻竹較易得到平滑的表面。

經粗研磨後再細研磨之兩階段處理孟宗竹，其表面較單一階段研磨中直接以粗細度相

同之細砂布處理者粗糙，例如，以 #120→#320 處理者之 Ra 值為 $1.710\ \mu\text{m}$ 大於 #320 處理者之 $1.250\ \mu\text{m}$ ；以 #120→#400 處理者之 Ra 值為 $1.881\ \mu\text{m}$ 大於 #400 處理者之 $1.067\ \mu\text{m}$ 。又比較相同細研磨者之粗糙度，若粗研磨之砂布愈粗者，其表面亦愈為粗糙，例如，以 #120→#320 處理者之 Ra 值為 $1.710\ \mu\text{m}$ 大於

以 #180→#320 處理者之 $1.280 \mu\text{m}$, Rz 及 Rmax 值亦有相同的結果。此外, 經兩階段處理者之 Ra、Rz 及 Rmax 值, 除 #120→ #400 處理者稍高於未處理材之外, 其餘均較未處理者為低, 再由 SEM 之圖 4 (d) 可以看出, 孟宗竹經兩階段研磨處理之粗研磨可以將蠟質層破碎, 而之後的細研磨可將蠟層進一步的去除, 使得影響塗膜附著性的蠟質層, 應可以去除較多, 同時材面亦較單一階段直接以粗細度相同之細砂布處理者粗糙。兩階段研磨處理之麻竹, 其結果與孟宗竹者相似, 但由表 1 得知, 在相同處理條件下, 孟宗竹之粗糙度略高於麻竹, 以 #120 砂布粗研磨者, 孟宗竹 Ra 值均

較高, 例如, 孟宗竹以 #120→#320 及 #120→ #400 處理者之 Ra 值分別為 1.710 及 $1.881 \mu\text{m}$, 均大於麻竹以 #120→#320 及 #120→ #400 處理者之 1.121 及 $1.433 \mu\text{m}$, 其他 Rz 及 Rmax 亦有相同的趨勢。

2. 接觸角

塗料將被塗物表面濕潤, 使得塗料分子與被塗物分子間得以作用而產生附著力, 因此濕潤性是決定塗膜附著的重要因子, 但是濕潤是滿足附著的必要條件之一而非充分條件。一般而言, 若塗料無法將被塗物充分濕潤的範圍內, 濕潤性愈佳則塗膜附著性亦愈優良, 但在已能充分濕潤的條件下, 濕潤程度的增減並不

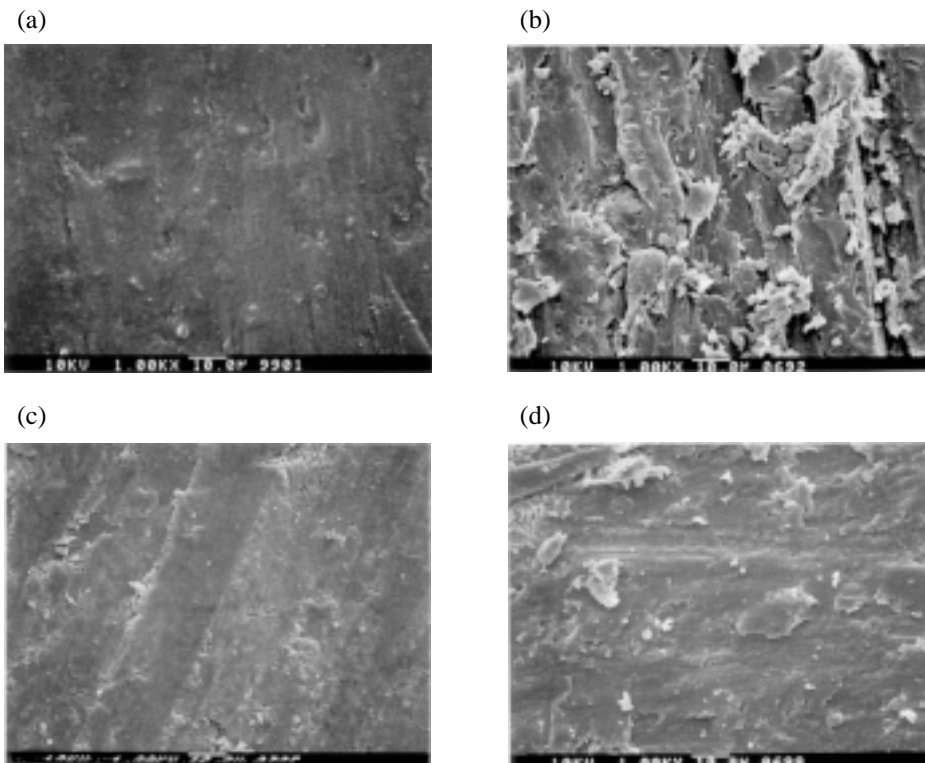


圖 4. 孟宗竹表面 SEM 圖 (a) 未處理、(b) 以 #120 砂布研磨、(c) 以 #400 砂布研磨、(d) 以 #120 → #400 砂布研磨

Fig. 4. SEM images of the Moso bamboo surface. (a) untreated, (b) treated with #120 sanding cloth, (c) treated with #400 sanding cloth, (d) treated with #120→#400 sanding cloth.

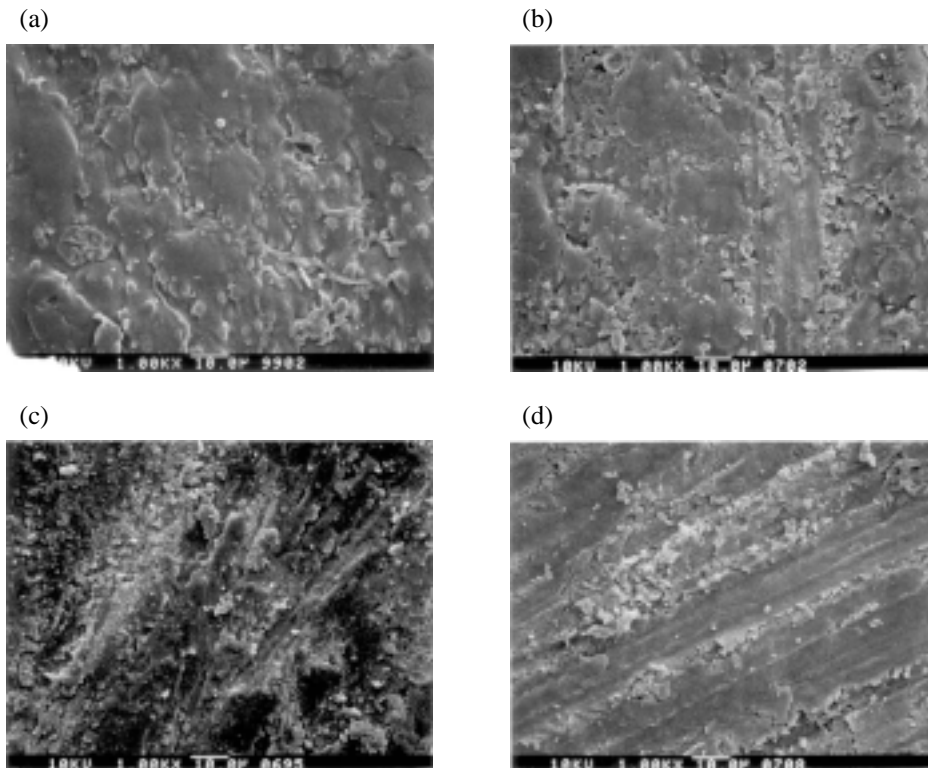


圖 5. 麻竹表面 SEM 圖 (a) 未處理、(b) 以 #120 砂布研磨、(c) 以 #400 砂布研磨、(d) 以 #120→#400 砂布研磨

Fig. 5. SEM images of the Ma bamboo surface. (a) untreated, (b) treated with #120 sanding cloth, (c) treated with #400 sanding cloth, (d) treated with #120→#400 sanding cloth.

會影響附著的好壞，在此時附著性則受塗膜黏彈性 (Viscoelasticity) 的影響最大 (盧崑宗, 2002)。塗料能否將被塗物濕潤最簡單的表示法即為接觸角，接觸角愈小則代表濕潤性愈佳，反之，則濕潤性愈差。

經各種研磨處理後之孟宗竹及麻竹，分別以水及水性 PU 為滴液所測得接觸角，如表 2 所示。以水為滴液時，各種研磨處理竹材之接觸角均較未處理者為低，顯示經過研磨處理可以增加水對材面的濕潤性。單一階段研磨之孟宗竹，除以 #180 砂布處理者接觸角為 79° 外，其餘研磨處理者均為 75° ，均小於未處理者之 88° 。而單一階段研磨之麻

竹，經各種不同粗細度砂布研磨之接觸角差異雖不大，但有隨砂布愈細而接觸角愈大的趨勢，且均較未處理材之 98° 者為低。又兩階段研磨處理者之接觸角均有較單一階段者為低的趨勢，其中又以細研磨及單一階段研磨均用 #320 砂布者，降低更為明顯。又孟宗竹之粗研磨使用 #180 砂布處理者，其接觸角較 #120 砂布處理者為低，例如，以 #180→#320 處理者之接觸角為 63° 而以 #120→#320 處理者則為 71° ，又以 #180→#400 處理者為 70° ，亦低於以 #120→#400 處理者之 75° ；但麻竹兩階段處理者則相反，以 #120→#320 處理者之接觸角為 43° 低於以 #180→#320

處理者之 47°，而細研磨使用 #400 砂布，其粗研磨不論使用 #120 或 #180 砂布處理者其接觸角均為 51°。又由表 1 得知，在相同處理條件下，不論單一階段或兩階段處理，孟宗竹之粗糙度均高於麻竹者，但其接觸角反而均較高，此可能麻竹較平滑而較多微細孔隙的表面，使得低分子量的水更容易擴散及滲透所致。

以水性 PU 為滴液時，未處理孟宗竹及麻竹之接觸角均低於以水為滴液者，如表 2 所示，以表面張力測定儀所測得水性 PU 的表面張力為 31 dyne/cm，低於水之 73 dyne/cm，故水性 PU 對未處理竹材之濕潤性優於以水為滴液者，自可理解。但由表 2 得知，經研磨處理的孟宗竹，其以水性 PU 為滴液的接觸角，反而較未處理者高。黃金城（2001）曾言，水乳化型樹脂的分子量大，對具有孔洞性基材之滲透性差。由於本研究所採用之水性

PU，屬於此類型樹脂，其分子量大，對經研磨處理後，微細孔隙變多之竹材表面滲透性較差，而導致上述之結果。單一階段研磨處理之孟宗竹及麻竹，其接觸角均以 #320 砂布處理者最低，分別為 69° 及 57°，然而不同粗細砂布之間，差異並不大，但麻竹經單一階段研磨者，其接觸角與未處理材亦無明顯差別。雖然經研磨處理後的孟宗竹，粗糙度皆高於處理後之麻竹，但孟宗竹之接觸角反而高於麻竹，此可能與前述水性 PU 因對孔隙滲透性差，而導致濕潤性較差之結果，或係由孟宗竹與麻竹表面蠟質層的化學組成與構造之不同所引起，值得進一步探討。又兩階段研磨處理孟宗竹之接觸角，皆高於或等於單一階段研磨相同粗細砂布處理者，例如，以 #180→#320 處理者之接觸角為 77° 大於 #320 處理者之 69°，而以 #180→#400 處理者之 77°，亦大於以 #400 處理者之 72°。

表 2. 各種研磨處理前後之竹材接觸角

Table 2. Contact angle of bamboo before and after various sanding treatment.

Unit : degree

Treatment	Moso bamboo		Ma bamboo	
	Water	PU	Water	PU
Control	88	60	98	60
#120	75	73	49	61
#180	79	73	51	59
#320	75	69	51	57
#400	75	72	53	59
#120→#320	71	69	43	59
#180→#320	63	77	47	65
#120→#400	75	72	51	60
#180→#400	70	77	51	57

而麻竹經兩階段研磨處理，除以 #180→ #320 者之接觸角為 65° 高於 #320 砂布處理者之 57° 外，其餘與單一階段研磨處理者，並無明顯差別。又兩階段研磨處理，孟宗竹之接觸角皆高於麻竹者，此可能與單一階段研磨處理者相同的原因所導致。

3. 顏色

經各種不同粗細砂布，以單一階段及兩階段研磨處理後之孟宗竹及麻竹表面顏色變化，如表 3 所示。單一階段研磨處理之孟宗竹，除以 #400 砂布處理者之明度差值 (ΔL^*) 為 6.63 增加最多，其餘砂布處理者其 ΔL^* 值增減幅度不大，顯示以 #400 砂布處理者，其明度較未處理材有明顯地上升，此係經 #400 砂布研磨後，會將表面蠟質填充竹材表面縫隙間，使材面較為明亮。而經單一階段研磨處理之麻竹，與未處理者相較，其明度值皆有上升，其中，又以 #120 砂布處理者之 ΔL^* 為 6.71 增加最多。由以上結果得知，在單一階段研磨處理中，孟宗竹以細砂布研磨者，而麻竹以粗砂布研磨者，竹材表面明度的提升較為明顯。

經兩階段研磨處理之孟宗竹，除以 #120→ #320 處理者 ΔL^* 為 -2.29，其明度稍低於未處理材，其餘 ΔL^* 值均高於未處理者，尤以 #120→ #400 處理者 ΔL^* 為 8.16，明度增加最多。經由 SEM 觀察可知，此可能由於先經 #120 砂布研磨者，其表面蠟層的碎裂較嚴重，再經 #400 砂布研磨後會得到較平滑的表面，使得明度增加的原因。兩階段研磨處理之麻竹，其明度值皆高於未處理材，但較單一階段研磨處理者低。整體而言，孟宗竹以兩階段研磨處理，尤其 #120→ #400 者，而麻竹以單一階段研磨處理，尤以 #120 砂布處理者，均可以提高竹材表面的明度。

單一階段研磨處理孟宗竹之 Δa^* 及 Δb^* 值，除以 #400 砂布處理者分別為 0.72 及 3.29，材色會偏紅及偏黃外，其餘之 Δa^* 及 Δb^* 值皆為負值，顯示材色均偏綠及偏藍，尤以 #180 砂布處理者，其 Δa^* 及 Δb^* 值分別

為 -2.05 及 -4.75，最為偏綠及偏藍。又經單一階段研磨處理之麻竹，不論使用何種粗細之砂布，其 Δa^* 及 Δb^* 值皆為負值，且仍以 #180 砂布處理者 Δa^* 負值最大，顯示材色最偏綠，此因為粗砂布對於表面蠟層去除的效果較明顯，去除蠟層後更能顯現竹青表皮的綠色更為明顯。由以上結果得知，單一階段研磨處理之竹材，除孟宗竹以 #400 砂布處理者材色稍微偏紅外，其餘砂布研磨處理者，不論孟宗竹或麻竹材色會更為偏綠，尤以 #180 砂布處理者最為明顯。

兩階段研磨處理的孟宗竹，除以 #120→ #400 處理者之 Δb^* 值為 2.77 而稍偏黃外，其餘之 Δa^* 值及 Δb^* 值，均為負值，顯示材色仍更為偏綠，其中又以 #180→ #400 研磨處理者之 Δa^* 值為 -2.43，顯示偏綠效果最為明顯。經兩階段研磨處理之麻竹，其結果與孟宗竹相似，且仍以 #180→ #400 研磨處理者，偏綠效果最為明顯。由以上結果得知，孟宗竹及麻竹不論經過單一階段研磨處理或兩階段研磨處理，都不會破壞竹材原本的綠色，又整體而言，不論孟宗竹或麻竹，經兩階段研磨處理之材色更顯偏綠，尤以 #180 砂布粗研磨後，再經 #400 砂布細研磨者為最。

(二) 塗膜附著性

1. NC 拉卡塗裝

經由各種粗細度砂布，以單一階段及兩階段研磨處理後之孟宗竹及麻竹，以 NC 拉卡塗裝後之塗膜附著性如表 4 所示。經單一階段研磨之孟宗竹，不論 180° 剝離強度、拉伸剪斷強度及方格試驗，均以砂布最粗之 #120 及最細之 #400 砂布處理者高於未處理材，其中又以 #120 砂布處理者，附著性最佳，其三種附著強度分別為 1.450 kgf/25mm、4.674 kgf/cm² 及 2 等級，均高於未處理材之 1.022 kgf/25mm、3.030 kgf/cm² 及 0 等級，此可能以 #120 砂布研磨者有較高的粗糙度，而增加竹材表面實際面積，塗料塗佈後會經由內部孔隙滲透，而引起毛細管現象，塗料硬化後會產生強固的毛細管附著，以及塗料乾

表 3.各種研磨處理前後之竹材表面顏色

Table 3. Surface color of bamboo before and after various sanding treatment.

Treatment	Moso bamboo			Ma bamboo		
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
#120	- 1.38	- 1.47	- 3.26	6.71	- 1.11	- 4.58
#180	1.53	- 2.05	- 4.75	2.13	- 1.26	- 3.97
#320	- 1.02	- 0.46	- 1.95	2.02	- 0.59	- 4.54
#400	6.63	0.72	3.29	3.05	- 0.62	- 1.43
#120→#320	- 2.29	- 1.17	- 0.83	3.19	- 0.35	- 4.79
#180→#320	4.71	- 1.03	- 2.36	1.53	- 0.88	- 5.64
#120→#400	8.16	- 1.01	2.77	2.61	- 0.96	- 3.09
#180→#400	4.77	- 2.43	- 3.01	1.81	- 1.76	- 4.82

燥收縮所產生彈性緊縮附著，亦即主要是藉由機械式的投錨原理而使塗膜附著性增加。而以 #400 砂布研磨者，其附著性次之，則可能較細研磨使竹材表面更為平滑，使塗料與竹材間凡得瓦力或氫鍵鍵結增加所致。又經單一階段研磨之麻竹，不論何種粗細砂布處理者，其塗膜之 180° 剝離強度及拉伸剪斷強度均高於未處理材，且仍以 #120 砂布處理者塗膜附著性最佳。

經兩階段研磨處理之孟宗竹塗膜附著性，無論 180° 剝離強度、拉伸剪斷強度或方格試驗，均優於單一階段研磨中以相同細砂布處理者，例如，以 #120→#320 及 #180→#320 兩階段研磨處理者之拉伸剪斷強度分別為 4.876 及 4.892 kgf/cm²，均高於以 #320 砂布單一研磨處理者之 4.127 kgf/cm²，又整體而言，以 #120→#320 研磨者，有較佳之塗膜附著性。此可能由於兩階段研磨處理，可以增加粗糙度且可去除竹材表面大部分蠟質的弱境界層所致。又兩階段研磨處理麻竹之塗膜附著性與孟宗竹者有相同的趨勢，但由三種附著強度測定結果綜合判斷，麻竹之塗膜附著性以 #180→#400 研

磨處理者最佳。綜合以上結果可知，不論孟宗竹或麻竹，均以兩階段研磨處理之塗膜附著性優於單一階段研磨處理者，其中孟宗竹以 #120→#320 處理者，麻竹以 #180→#400 處理者為最佳。又觀察附著強度試驗後之試片破壞型式，發現所有的破壞均為塗膜與竹材表面的界面破壞，其照片如圖 6 所示。

2. 水性 PU 塗料塗裝

經由各種粗細砂布，以單一階段及兩階段研磨處理之孟宗竹及麻竹，以水性 PU 塗料塗裝後之塗膜附著性，如表 5 所示。經單一階段研磨之孟宗竹，其 180° 剝離強度、拉伸剪斷強度及方格試驗，仍以 #120 砂布處理者為最佳，分別為 2.525 kgf/25mm、6.443 kgf/cm² 及 4 等級，均高於未處理材的 1.556 kgf/25mm、3.015 kgf/cm² 及 0 等級，其原因應與 NC 拉卡塗裝者相同。而以 #320 及 #400 較細砂布處理者，其附著強度較差，此點可能是水性 PU 不易滲入較細孔隙而減少投錨效果所致。又單一階段研磨處理之麻竹，整體而言，以 #400 砂布處理者為最佳，可能是水性 PU 塗膜，較易與麻竹表面形成凡得瓦力或氫鍵鍵結所致。

表 4. 各種研磨處理後竹材之 NC 拉卡塗膜附著性

Table 4. Adhesion of NC lacquer films on bamboo before and after various sanding treatment.

Treatment	Moso bamboo			Ma bamboo		
	Peel strength (kgf/25mm)	Shear strength (kgf/cm ²)	Cross cut test	Peel strength (kgf/25mm)	Shear strength (kgf/cm ²)	Cross cut test
Control	1.022 (0.359)	3.030 (0.160)	0	0.933 (0.319)	3.003 (0.255)	0
#120	1.450 (0.162)	4.674 (0.255)	2	1.450 (0.164)	4.825 (0.235)	0
#180	0.942 (0.148)	4.530 (0.284)	2	1.325 (0.268)	4.791 (0.309)	0
#320	0.746 (0.152)	4.127 (0.286)	0	1.375 (0.258)	4.315 (0.499)	2
#400	1.325 (0.156)	4.607 (0.423)	2	0.975 (0.137)	3.607 (0.339)	2
#120_#320	2.235 (0.683)	4.876 (0.234)	2	1.500 (0.449)	5.236 (0.166)	2
#180_#320	1.528 (0.166)	4.892 (0.498)	4	1.400 (0.410)	4.421 (0.334)	0
#120_#400	1.375 (0.436)	4.832 (0.017)	4	1.150 (0.403)	5.222 (0.234)	0
#180_#400	1.342 (0.179)	4.746 (0.569)	2	2.350 (0.574)	5.152 (0.183)	2

Note: () represents standard error

經兩階段研磨處理後之孟宗竹，其塗膜附著性優於單一階段之相同細砂布者，例如，#120→#320 及 #180→#320 處理者之 180° 剝離強度分別為 1.450、1.325 kgf/25mm，高於單一階段 #320 砂布處理者之 1.225 kgf/25mm，拉伸剪斷試驗及方格試驗者亦然，但整體而言，孟宗竹經兩階段研磨處理之塗膜附著性較單一階段 #120 砂布處理者為差，顯示孟宗竹以水性 PU 塗裝時僅需經 #120 單一階段研磨處理即可。又兩階段研磨處理之麻竹，其塗膜附著性亦優於單一階段之相同細研磨砂布處理者，其中又以 #120 粗研磨，再經 #400 細研磨者最佳。顯示麻竹之水性 PU 塗裝以 #120→#400 處理者，能獲得最佳之塗膜附著性。而其附著強度試驗後之試片破壞型式，與 NC 拉卡塗裝者相同，均為塗膜及竹材表面的界面破壞，其照片如圖 6 所示。

四、結論

為改善竹材之塗膜附著性，提升竹材塗裝品質，本研究係以機械式之研磨處理，分成單一階段研磨及經粗研磨再細研磨之兩階段研磨，分析各種研磨後竹材之表面性質，並探討各種處理對塗膜附著性之影響，試驗結果獲得以下六點結論。

- (一) 單一階段研磨孟宗竹及麻竹之粗糙度，使用粗砂布研磨者，竹材表面愈粗糙，其中以 #120 及 #180 等較粗砂布研磨者，較未處理材粗糙，而以 #320 及 #400 較細砂布研磨者，則較未處理材平滑。兩階段研磨處理者較未處理材平滑，但較單一階段研磨中相同細砂布處理者粗糙，其中粗研磨之砂布愈粗者，其表面亦愈為粗糙。
- (二) 以水為滴液時，單一階段研磨處理孟宗竹及麻竹之接觸角，均較未處理者為低，但砂布粗細度之差別不大；兩階段研磨處理者之接觸角均有較單一階段者

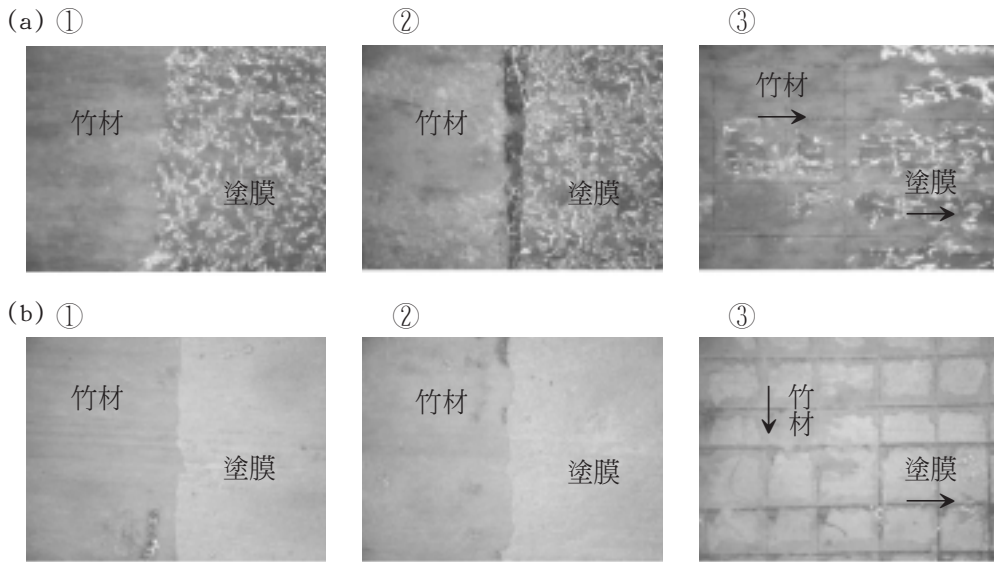


圖 6. 塗膜之破壞型式 (a) 孟宗竹 NC 拉卡塗膜及塗膜已剝離之竹材表面，(b) 麻竹水性 PU 塗膜及塗膜已剝離之竹材表面。圖中①代表 180° 剝離試驗②代表拉伸剪斷試驗③代表方格試驗

Fig. 6. The failure mode of films. (a) NC lacquer film on Moso bamboo,(b)waterborne PU on Ma bamboo, ①180° peel strength test ②shear strength test ③cross cut test.

表 5. 各種研磨處理後竹材之水性 PU 塗膜附著性

Table 5. Adhesion of waterborne PU films on bamboo before and after various sanding treatment.

Treatment	Moso bamboo			Ma bamboo		
	Peel strength (kgf/25mm)	Shear strength (kgf/cm ²)	Cross cut test	Peel strength (kgf/25mm)	Shear strength (kgf/cm ²)	Cross cut test
Control	1.556 (0.019)	3.015 (0.127)	0	1.300 (0.328)	2.301 (0.113)	0
#120	2.525 (0.832)	6.443 (0.979)	4	3.176 (0.624)	6.271 (0.818)	0
#180	1.625 (0.306)	4.419 (0.449)	4	2.337 (0.487)	7.076 (0.609)	0
#320	1.225 (0.392)	4.219 (0.575)	2	2.070 (0.286)	6.833 (1.833)	2
#400	1.500 (0.095)	3.591 (0.182)	2	2.947 (0.447)	6.717 (0.515)	2
#120→#320	1.450 (0.244)	5.798 (0.843)	8	2.793 (0.334)	8.093 (0.279)	6
#180→#320	1.325 (0.185)	4.756 (0.557)	8	2.660 (0.236)	7.946 (0.320)	2
#120→#400	1.825 (0.319)	3.297 (0.527)	8	3.393 (0.348)	8.294 (0.804)	4
#180→#400	1.250 (0.152)	3.945 (1.072)	2	2.139 (0.528)	7.307 (0.548)	4

為低的趨勢，其中又以細研磨及單一階段研磨均用 #320 砂布者，降低更為明顯。

- (三) 以水性 PU 為滴液時，單一階段研磨處理孟宗竹之接觸角均較未處理材為高，兩階段研磨處理者皆高於或等於單一階段研磨相同粗細砂布處理者，但差異並不大。麻竹經單一階段或兩階段研磨者，其接觸角與未處理材亦無明顯差別。
- (四) 不論經過單一階段或兩階段研磨處理孟宗竹及麻竹，均不會破壞竹材原本的綠色，整體而言，經兩階段研磨處理之材色更顯偏綠，尤以 #180 砂布粗研磨後，再經 #400 砂布細研磨者為最。
- (五) 以 NC 拉卡塗裝孟宗竹及麻竹，均以兩階段研磨之塗膜附著性優於單一階段處理者，其中，孟宗竹以 #120→#320 處理者，麻竹以 #180→#400 處理者為最佳。
- (六) 以水性 PU 塗裝時，孟宗竹以單一階段之 #120 砂布研磨處理即可得最佳塗膜附著性。麻竹則以兩階段優於單一階段研磨者，其中又以 #120 粗研磨，再經 #400 細研磨者最佳。又本研究所有的塗裝試片破壞，均為塗膜與竹材表面的界面破壞。

五、致謝

本研究承行政院農業委員會科技計畫「林產物加工利用研究」(91農科-2.3.3-林-R1)經費補助，謹此致謝。

六、參考文獻

- 王志方 (1993) 材料表面測定技術。第七章 表面粗糙度測定法。復漢出版社。182-185頁。
- 呂錦明 (2001) 優質竹材之培育與竹產業之發展。開發高附加價值之精緻竹材及其應用建設觀摩研討會。5-14頁。
- 黃金城 (1991) 木材粗糙度對塗膜光澤度與附著力之影響。中華林學季刊 24 (4) : 37-62。
- 黃金城 (2001) 木材用氣乾型水性塗料配方指標。林產工業叢書 17 木材塗料 161-167頁。
- 盧崑宗 (2002) 塗膜的附著性。塗料與塗裝技術 93 : 34-45。
- 川村二郎、小谷公人 (1992) 竹表皮の改質。木材學會誌 38 (4) : 417-423。
- 佐藤弘三 (1995) 塗膜の付著。塗裝工學 30 (5) : 210-223。
- 堀內慶治 (1998) 21 世紀時代の塗膜の付著性の解明を期待する。塗裝工學 33 (1) : 25-28。
- Hahn O. and B. Motzko(1995)A modified sand blast treatment for bonding surfaces. Le Soudage dans le monde 35(6) : 407-410.
- Heath, R. J.(1990)A review of the surface coating of polymeric substrates: The need to adopt surface and interfacial science principle to improve product quality. Progress in Rubber and Plastics Technology 6(4):369-401.
- Stoffer, J. O. and S. K. Gadodia(1989a) Development of tests for measuring adhesion of coatings part I. American Paint & Coatings Journal 22 : 36-41.
- Stoffer, J. O. and S. K. Gadodia(1989b) Development of tests for measuring adhesion of coatings part II. American Paint & Coatings Journal 29 : 36-51.
- Uehara K. and M. Sakurai(2002)Bonding strength of adhesives and surface roughness of joined parts. Journal of Materials Processing Technology 127:178-181.