

## 以熱處理桉樹單板製作合板之性質評估

沈竣研 林亞立\*

國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

### 摘要

本試驗採用樹齡為 4-6 年生，直徑為 12-15 cm 之人工林速生樹種桉樹(*Eucalyptus* spp.)所旋切的單板，於氮氣環境下以最高溫度 170°C 或 190°C 進行熱處理，並對未處理及經熱處理之單板的絕乾密度、控制環境下的平衡含水率、體積收縮率及抗黴菌等性質予以量測或試驗，以了解熱處理對桉樹單板性質的影響。再以主劑為聚醋酸乙烯乳液，異氰酸酯為架橋劑的膠合劑分別將未處理及經熱處理的單板進行膠合製成 3、6 及 9 層合板，並對其絕乾密度、控制環境下的平衡含水率(EMC)、體積收縮率、耐腐朽性能、膠合性能及抗彎強度等性質予以量測或試驗，以比較未處理及經熱處理單板所製作之合板在性質上的差異。

經 170°C 及 190°C 熱處理後的桉樹單板，其絕乾密度並未呈現顯著改變，與未經處理者皆為 0.46 g/cm<sup>3</sup>，相較於未處理者其 EMC 分別約減少 16.3% 及 45.3%，由體積收縮率所求得之抗收縮效能則分別為 1.3% 及 49.4%，而熱處理未能提升桉樹單板對黴菌的抵抗力。由經 170°C 及 190°C 熱處理桉樹單板製作的各層數之合板，相較於未處理單板製作的各層數之合板具有較大的絕乾密度，其 EMC 減少率分別為 14.5-21.5% 及 24.8-41.9%，由體積收縮率所求得之抗收縮效能(ASE)則分別為 0-8.5% 及 26.0-30.3%。相較於未處理單板製作之合板，經熱處理單板製作之合板其耐腐朽性可明顯的提升，但耐腐性能最好的為經 190°C 熱處理單板製作者，經 12 週腐朽試驗後，白腐菌 *Trametes versicolor* 仍對試料造成 11% 的平均質量損失率，顯示耐腐性能仍有改善空間。經熱處理單板製作的合板，可通過 type I 浸水剝離試驗，但膠合剪力隨單板熱處理溫度提高而明顯降低，以 190°C 熱處理單板製作者，其膠合剪力試片僅 50% 通過標準，膠合性能未能符合 CNS 1349 標準；其抗彎性質可通過 CNS 11671 中之 1 級合板標準，抗彎彈性模數(MOE)與未處理單板製作者差異不大，抗彎強度(MOR)則顯著降低，且塑性變形量明顯減少，尤以經 190°C 熱處理單板製作者更為明顯，顯示經熱處理後單板所製作的合板較脆、韌性較差。

**關鍵詞：**熱處理、桉樹小徑木、單板、合板。

## Property Evaluation of Plywood Composed of Heat-treated Eucalyptus Veneers

Jun-Yan Shen Ya-Lih Lin\*

Department of Forestry and Natural Resources, National Ilan University

### Abstract

The artificial fast-growing tree species of eucalyptus (*Eucalyptus* spp.), 4 to 6 years old, 12 to 15 cm in diameter were rotary cut to produce the veneer used in this study. A heat treating process of a maximum heating temperature of 170 °C or 190 °C was applied in a nitrogen filled treating cylinder to treat the veneer. Oven-dried density ( $D_{od}$ ), Equilibrium Moisture

Content (EMC) under controlled environments, volumetric shrinkage percentage ( $\beta_v$ ), and mold resistance of heat-treated and untreated veneers were measured to understand the effects of heat treatment to the properties of eucalyptus veneers. Heat-treated and untreated veneers were then glued into 3-, 6-, and 9-layer plywood with an adhesive composed of polyvinyl acetate emulsion and isocyanate (cross-linking agent). Tests were conducted to collect data on the  $D_{od}$ , EMC,  $\beta_v$ , decay resistance, adhesion properties, and static bending properties of the plywood to reveal the differences rendered by heat treatments.

Results indicate that the  $D_{od}$  of the heat-treated and untreated veneers are around  $0.46 \text{ g/cm}^3$  and of not much difference. The EMC of the veneer treated with a maximum heating temperature of  $170^\circ\text{C}$  (170Vr) and  $190^\circ\text{C}$  (190Vr) are respectively 16.3% and 45.3% lower than the EMC of the untreated veneer and the volumetric anti-shrinkage effect (ASE) obtained from  $\beta_v$  are 1.3% and 49.4%, respectively. Heat treatment did not improve the mold resistance of eucalyptus veneers. The  $D_{od}$  of the 3-, 6-, and 9-layer plywood made of 170Vr and 190Vr are higher than the  $D_{od}$  of the corresponding plywood made of untreated veneers (PUV) of similar layer number and the EMC are 14.5-21.5% and 24.8-41.9% respectively lower than the EMC of the PUV. The ASE of the plywood made of 170Vr and 190Vr are of 0-8.5% and 26.0-30.3%, respectively. In comparison with the PUV, the plywood made of heat treated veneers (PHV) shows a better decay resistance. After 12 weeks of decay test, the PHV made of 190Vr indicates the best decay resistance, however, it still suffers an average specimen weight loss percentage of 11% caused by the white rot fungi, *Trametes versicolor*, it appears that a further improvement is in need. All the PHV samples passed type I glue line detaching test, but the glue shear strength of the PHV decreased as the veneer treated temperature increased and only 50% of the PHV made of 190Vr passed the requirement of type I grading of CNS 1349, which as a whole does not meet the adhesion property of general plywood requirement. The static bending properties of PHV passed the 1<sup>st</sup> grade test of CNS 11671. The modulus of elasticity of PHV and PUV are of not much difference, however, the modulus of rupture of PHV is much lower than the PUV's and the amount of plasticity deformation of PHV, especially for those made of 190Vr, is highly reduced. The above denotes that heat treatment may increase the brittleness and decrease the toughness of wood products.

**Key words:** Heat treatment, *Eucalyptus* spp., Veneer, Plywood.

\*corresponding author, e-mail: linyi@niu.edu.tw

## 前 言

熱處理木材係將木材以  $140^\circ\text{C}$ - $260^\circ\text{C}$  的溫度，於空氣或其他媒介環境下加熱處理所得到的產品。木材經熱處理後，依其處理條件，產生化學組成成分與結構的變化，導致木材性質的改變，其主要性質變化包括：1.提升尺寸安定性，2.降低吸濕性，3.提高對微生物劣化因子的抵抗力，4.顏色變深，5.部分機械強度的降低，及 6.開裂程度加大與節的脫落等缺點的擴大與產生 (Callum, 2006)。目前商品化的熱處理材，主要著重在於前四項木材性質的改善，及熱處理木材性質在實際上的利用。

木材於一定的溫度下，與環境中的相對濕度達平衡時的含水率稱為平衡含水率 (Equilibrium Moisture Content, EMC)，亦即於固定的環境下，木材吸收空氣中水分的能力，為影響木材尺寸安定性的主要因素之一。Borrega and Kärenlampi (2010)指出，隨著熱處理溫度的提高及處理時間的增加，熱處理木材的 EMC 隨之下降，進而提升木材的尺寸安定性。Vjekoslav *et al.* (2008)將光臘樹及山毛櫸以  $190^\circ\text{C}$  及  $210^\circ\text{C}$  熱處理後發現，試材的平衡含水率呈現顯著的降低，而抗收縮效能 (Anti-shrinkage Effect, ASE) 則隨之提升。Vukas *et al.* (2010)指出，經  $160$ - $260^\circ\text{C}$  熱處理的木材，能使木材於纖維飽和點的膨潤性

及收縮性能降低，同時木材的疏水性及滲透性亦會提高，進而提升木材尺寸安定性。Kocaefe *et al.* (2007)也指出，木材加熱至  $200^\circ\text{C}$  以上，其主要成分之半纖維素分解、纖維素軟化及木質素化學性質改變，使木材中之親水基減少，相較於未處理材其尺寸變化的更為穩定。

熱處理會造成木材強度的降低，主要原因係熱處理過程會造成半纖維素、纖維素及木質素因受熱降解而產成分變化。Ding *et al.* (2010)針對樟子松進行熱處理，結果顯示經熱處理的木材其抗彎強度及衝擊韌性會低於未處理材。化學分析顯示，熱處理材的強度降低其主因在於半纖維素的持續降解。於熱處理過程中，木材抗彎彈性模數 (MOE) 呈現先上升後下降的趨勢，又在含氧狀態下的熱處理過程，其 MOE 下降的程度遠較以氮氣保護下之熱處理者明顯。

木材抗彎強度 (MOR) 與比重具有相當的關係，熱處理過程會致使木材比重降低而造成強度降低。MOE 及抗彎強度亦會隨質量損失的增加而降低，但在質量損失低於 16% 時，MOE 下降則不顯著，而 MOR 隨質量損失而下降的情形則較為顯著 (Mburu *et al.*, 2008)。

由於熱處理材的化學性質變化及低沸點抽出物的揮發，使木材的塗裝及膠合機制產生改變 (顧, 2008)。Sernek *et al.* (2008) 針對熱處理集成元，以三種膠合劑進行膠合

試驗的結果顯示，剪斷強度呈現明顯降低的現象，而熱處理材具有較低的 pH 值及低濕潤性是影響木材膠合的主要因子。

顧煉百等人(2010)的報告指出，以樟子松及柞木分別進行常壓及具蒸氣壓力保護熱處理後，試材的耐腐朽性均會提升，經蒸氣壓力保護處理的試材，其耐腐朽等級高於以常壓熱處理者。木材經熱處理後其耐腐朽性提升的主因在於，較易為木材腐朽菌分解的半纖維素，因熱處理的降解而減少，且纖維素非結晶區域的重新排列致使結晶度提高，進而阻礙非酶氧化劑與纖維素的接觸，延緩了非酶氧化劑對長鏈纖維素分子的降解，進而減少了因纖維素分解所產生可溶性糖類於木材細胞中的擴散。此外，熱處理可促使木質素橫向網狀連結的增加，亦阻礙了非酶氧化劑在木材細胞壁中的擴散，因而減緩了腐朽的進行。

本實驗利用桉樹單板為材料，透過熱處理進行改質，並將經熱處理之桉樹單板製作成合板，以了解熱處理對單板性質所產生改變，及以經熱處理單板製作之合板在各項性質的表現，做為開發熱處理合板製作合板技術與使用此類產品之參考。

## 材料與方法

本研究以 4-6 年生，直徑 12-15 cm 之人工林桉樹 (*Eucalyptus* spp.)，利用無卡軸旋切機旋切為厚度 2.0 mm 的單板，並裁切為 1270 mm × 380 mm × 2.0 mm 以符合熱處理設備可容納之尺寸，以下述條件進行熱處理：

1. 熱處理最高溫度：170°C 或 190°C。
2. 最高處理溫度維持時間：2 小時。
3. 熱處理保護介質：氮氣。
4. 最高壓力：2.5 kgf/cm<sup>2</sup>。
5. 總處理時間：22 小時。
6. 處理程序：升溫、高溫乾燥、升溫、熱處理(170°C 或 190°C)、降溫。

熱處理後之單板，做為單板試驗及製作合板的材料。

### 一、合板製作

#### (一)單板準備

以圓鋸機將單板剪裁為 380 mm × 380 mm × 2.0 mm，未經熱處理的單板利用烘箱於 30±1°C 烘乾 30 分鐘，調整含水率為 9-9.5%。熱處理單板的氣乾含水率均低於 10%，不進行含水率調整。

#### (二)膠合劑

採用木膠公司，型號 234S 之木工拼板膠。主劑為聚醋酸乙烯乳液，架橋劑為異氰酸酯，二者配比为 100：15 (質量比)，調膠後固形分為 56.5%。

#### (三)合板製作

取未處理、經 170°C 熱處理與經 190°C 熱處理桉樹單板分別製作 3 層、6 層及 9 層合板，佈膠量 380 g/m<sup>2</sup>。製作 3 層及 9 層合板時，相鄰單板以纖維走向交互垂直堆疊而成；6 層合板的中間二層(第 3 及 4 層)單板纖維走向

相互平行排列，其他層則仍為纖維走向交互垂直堆疊。熱壓溫度 100°C，熱壓時間 1 分鐘/mm，以壓桿控制成板厚度，壓桿厚度依製板層數之 3 層、6 層及 9 層分別為 6.0 mm、10.5 mm 及 15.5 mm。冷卻後的合板，以圓鋸機修整 4 邊，修整後合板面積為 35 cm × 35 cm。

### 二、單板與合板之絕乾密度

依 CNS 451「木材密度試驗法」，取未處理及經熱處理的 150 mm (L) × 75 mm (T) × 2.0 mm (R) 試驗單板各 10 片，置入 103±2°C 烘箱，乾燥至恆重後，測量試驗單板質量及各方向尺寸，以式 1 計算單板絕乾密度。合板則採取 75 mm × 75 mm 的方形試片，以相同方法求取絕乾密度，未處理、經 170°C 及 190°C 熱處理單板製成之各層數合板各採取 10 塊試片。

$$\text{絕乾密度(g/cm}^3\text{)} = \frac{W_0}{V_0} \text{----- (1)}$$

W<sub>0</sub>：單板(或合板)的絕乾質量(g)

V<sub>0</sub>：單板(或合板)的絕乾體積(cm<sup>3</sup>)，由絕乾後單板(或合板)三個方向的長度相乘而得

### 三、單板與合板之平衡含水率及體積收縮率

參考 CNS 14925「木材體積收縮率試驗法」，取未處理、經 170°C 及 190°C 熱處理的 150 mm (L) × 75 mm (T) × 2.0 mm (R) 試驗單板各 10 片，於試驗單板表面之縱向及弦向各劃上 2 條基準線。將試驗單板浸水至飽水，再置入 20°C 恆溫恆濕箱中，期間依序調整相對濕度為 90%、60% 及 50%，最後置入 103±2°C 烘箱，各階段皆實施至單板質量恆定為止，紀錄試驗單板質量、各基準線長度及厚度。參考 CNS 452「木材含水率試驗法」，計算試驗單板的平衡含水率，另由單板各方向尺寸計算出單板體積後，以下列各式計算試驗單板的體積收縮率(式 2)、體積平均收縮率(式 3)及抗收縮效能(式 4)。以了解熱處理對單板吸脫濕性及尺寸安定性的影響。合板則利用前節絕乾密度用試片，於絕乾前依相同方法，求取各項數值。

$$\text{體積收縮率(\%)} = \frac{(V_g - V_0)}{V_g} \times 100 \text{----- (2)}$$

V<sub>g</sub>：飽水時單板(或合板)的體積(cm<sup>3</sup>)

V<sub>0</sub>：絕乾時單板(或合板)的體積(cm<sup>3</sup>)

$$\text{體積平均收縮率(\%/ \%)} = \frac{(V_u - V_0)}{u \times V_u} \times 100 \text{----- (3)}$$

V<sub>u</sub>：20°C、相對濕度 90% 條件下單板(或合板)的體積(cm<sup>3</sup>)

V<sub>0</sub>：絕乾後單板(或合板)的體積(cm<sup>3</sup>)

u：20°C、相對濕度 90% 條件下單板(或合板)的平衡含水率(%)

$$\text{抗收縮效能(ASE, \%)} = \frac{(\beta_c - \beta_h)}{\beta_c} \times 100 \text{ ----- (4)}$$

$\beta_c$ ：未處理單板(或其合板)的體積收縮率(%)

$\beta_h$ ：熱處理單板(或其合板)的體積收縮率(%)

#### 四、單板抗黴菌試驗

黴菌通常生長在合板表面，並未深入合板內部，利用單板進行發霉試驗，以了解熱處理桉樹單板所製成的合板抵抗黴菌生長的能力。

##### (一)材料

###### 1.試材

尺寸為 150 mm (L) × 75 mm (T) × 2.0 mm (R)的未處理及經熱處理的桉樹單板。

###### 2.黴菌菌株

使用由發霉角材分離所得的 *Aspergillus* (麴黴菌)、*Penicillium* (青黴菌)及 *Trichoderma* (木黴菌)屬黴菌各 1 株。

###### 3.試驗容器

內部尺寸為 210 mm (長) × 120 mm (寬) × 105 mm (深)的有蓋塑膠盒。

##### (二)試驗方法

於塑膠盒底部置入面積與塑膠盒底部相同，厚度 10 mm 的濾網用海綿，加入約 100 mL 無菌水，使海綿濕潤。將單板試材以適當長度竹筷隔開，用橡皮筋於竹筷露出處縛綁，使 9 片單板試材為 1 疊，以長向側面放置於海綿上。每疊以未處理、經 170°C 及經 190°C 熱處理桉樹單板試材各 3 片組成。取黴菌菌落製成孢子濃度約 10<sup>7</sup> 個/mL 的懸浮液，噴灑於單板表面，懸浮液噴灑量約為 40 mL (以使未處理單板含水率約為 50%)。共計使用 5 個塑膠盒，各塑膠盒噴灑的懸浮液分別為 *Aspergillus*、*Penicillium*、*Trichoderma*、*Aspergillus*、*Penicillium* 及 *Trichoderma* 混合及自來水。設置完成的塑膠盒封蓋後，放置於 26°C 恆溫箱中進行發霉試驗，每週以菌絲覆蓋範圍佔單板表面積的百分比，紀錄單板發霉面積，試驗時間 2 週。

#### 五、合板之耐腐朽性能

合板耐腐朽性能試驗依 Hosseini Hashemi *et al.*(2010)對硼酸處理楊樹木材抗腐朽性能試驗所採用之方法略予修改，敘述如下：

##### (一)材料

###### 1.試材

將未處理、經 170°C 熱處理、經 190°C 熱處理桉樹單板製作的 9 層合板，切製為長寬各為 20 mm 的試塊。

###### 2.腐朽菌株

a. 褐腐菌：*Gloeophyllum trabeum* (MAD 617)

b. 白腐菌：*Trametes versicolor* (ATCC 12679)

###### 3.培養基

2% 麥芽抽出物培養基(MEA, 2% malt extract、2%

agar)。

###### 4.墊木

以未處理桉樹單板切製斷面為 2 mm × 2 mm，長度約 35 mm 的小木片，作為隔離腐朽試驗試塊與腐朽菌菌落的墊木。

##### (二)試驗方法

以底部直徑 90 mm、高 100 mm 的圓錐型組織培養瓶，置入 30 g 2% 麥芽抽出物培養基，於培養基中心接入腐朽菌菌塊，並於周圍以 120° 間隔放置墊木各 2 支。俟菌落長滿培養基表面後，將試材以面底板向兩側的方式，放置於墊木上。每個培養瓶放置 3 個試塊，同一菌株與試材組合重複 9 個試塊。為避免各培養瓶菌落生長差異所造成的影響，各個培養瓶的 3 個試塊，皆為未處理、經 170°C 熱處理及經 190°C 熱處理桉樹單板合板試塊各 1 塊。設置完成的培養瓶，放置於 26°C 恆溫箱中進行腐朽試驗，試驗時間為 6 週及 12 週。以試塊腐朽前與腐朽後於 60°C 烘箱烘至恆重時之質量，計算質量損失率(式 5)為試驗結果之評估基準。

$$\text{質量損失率(\%)} = \frac{(W_0 - W_i)}{W_0} \times 100 \text{ ----- (5)}$$

$W_0$ ：試塊腐朽前之質量(g)

$W_i$ ：試塊腐朽後之質量(g)

#### 六、合板之膠合性能

取未處理、經 170°C 及經 190°C 熱處理單板製成的 3 層合板，依照 CNS 1349「普通合板」，採用反覆浸水煮一類之程序，進行膠合性能試驗，浸水剝離試驗各種合板各取 5 片，每片裁切 4 個試片，計重複 20 個試片；膠合剪力試驗採面底板厚 1.6 mm 以上之施作方式，各種合板各取 3 片，每片各裁切為 4 個試片，計重複 12 個試片，本試驗材料桉樹屬其他類闊葉樹單板，90% 以上的試片之膠合剪力超過 0.7 Mpa 以上者為合格。

#### 七、合板之抗彎強度

取未處理、經 170°C 及經 190°C 熱處理單板製成的 6 層合板，裁切為長(平行面板木理) 290 mm、寬(垂直面板木理) 5 mm、厚 10-12 mm (視合板種類而異)的試片，每種合板類別重複 6 支試片。依照 CNS 11671「結構用合板」6.3.4 抗彎性質之小試材試驗，進行試驗，並計算抗彎彈性模數(MOE)、抗彎強度(MOR)，並由載重撓曲圖量測彈性、塑性範圍之變形量。

## 結果與討論

### 一、絕乾密度

未處理、經 170°C 及 190°C 熱處理後之桉樹單板及其製成之合板的絕乾密度與合板之成板厚度如表 1。

桉樹單板經 170°C 或 190°C 熱處理後，絕乾密度與未處理者並無明顯差異，平均約為 0.46 g/cm<sup>3</sup>。因塗佈

膠合劑增加的質量及製板時的壓縮，合板的絕乾密度皆高於單板者。同一層數的合板，其絕乾密度以熱處理單板製成的合板，略高於未經熱處理單板所製成者。由表 1 中合板成板厚度數據可知，使用相同厚度壓桿所製成的同層數合板的成板厚度，未經熱處理單板製成者較以熱處理單板製成者為厚，亦即熱壓結束後，熱處理單板製成的合板之回彈程度較未經熱處理單板製成者小，致使合板體積較小，絕乾密度較大。

## 二、平衡含水率

未處理、經 170°C 及 190°C 熱處理單板及其製成之合板，在 20°C，不同相對濕度下的 EMC 如表 2。

各調濕條件下單板的 EMC 皆以未處理者高於經熱處理者，經熱處理的單板中，又以經 190°C 處理者的 EMC 較低。檢視 EMC 減少率發現，同一熱處理溫度的單板，在不同的相對濕度環境下，EMC 減少率差異不大，顯示一定的熱處理條件對吸濕性具有影響性。經 170°C 熱處理者其 EMC 減少率為 16.12-16.41%，經 190°C 處理者則為 44.63- 46.03%。Fengel and Wegener (1984) 指出，闊葉樹材受熱到 180°C 時其聚醣類 A (polyoses A) 及五碳醣 (pentosans) 呈現明顯降解的現象。桉樹單板在 170°C 到 190°C 熱處理之間，呈現吸濕性明顯變化的原因，推測可能和其半纖維素主要的降解溫度範圍有關。

相對於未經熱處理單板製成的合板，經 170°C 及 190°C 熱處理單板製成的合板，於相同調濕條件下其合板之 EMC 均呈現減少的趨勢，其 EMC 減少率分別約為 14.5-21.5% 及 24.8-41.9%。由此可知，隨熱處理溫度的提高，能使木材於同一相對濕度下 EMC 值降低，此結果可提升合板的尺寸安定性。

表 1 未處理及經熱處理桉樹單板及其製成之合板的絕乾密度與合板之成板厚度

Table 1 The oven-dried density of heat-treated and untreated eucalyptus veneers and the plywood made of them, and the thickness of the plywood

單板/合板	性質	單板種類		
		未處理	170°C 熱處理	190°C 熱處理
單板	絕乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.46 (0.03)*	0.45 (0.07)	0.46 (0.04)
	成板厚度 (mm)	6.04 (0.11)	5.86 (0.18)	5.84 (0.21)
3 層合板	絕乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.50 (0.03)	0.56 (0.07)	0.53 (0.04)
	成板厚度 (mm)	6.04 (0.11)	5.86 (0.18)	5.84 (0.21)
6 層合板	絕乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.59 (0.03)	0.69 (0.04)	0.65 (0.04)
	成板厚度 (mm)	11.27 (0.18)	10.69 (0.21)	10.16 (0.19)
9 層合板	絕乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.56 (0.04)	0.64 (0.06)	0.65 (0.09)
	成板厚度 (mm)	17.96 (0.15)	16.95 (0.17)	15.72 (0.18)

\*括號內數值為標準差。

表 2 未處理及經熱處理桉樹單板及其製成之合板在 20°C、不同相對濕度下的平衡含水率

Table 2 The equilibrium moisture content of heat-treated and untreated eucalyptus veneers and the plywood made of them after exposure to 20°C under different relative humidity

單板/合板	項目	單板種類	90% RH	60% RH	50% RH	
單板	EMC (%)	未處理	22.40* (0.52)**	12.21 <sup>a</sup> (0.37)	11.21 <sup>a</sup> (0.40)	
		170°C 熱處理	18.79 <sup>b</sup> (0.48)	10.21 <sup>b</sup> (0.25)	9.37 <sup>b</sup> (0.25)	
		190°C 熱處理	12.09 <sup>c</sup> (0.60)	6.76 <sup>c</sup> (0.23)	6.14 <sup>c</sup> (0.21)	
	EMC 減少率 (%)	170°C 熱處理	16.12	16.38	16.41	
		190°C 熱處理	46.03	44.63	45.23	
		未處理	21.12 <sup>a</sup> (0.48)	11.74 <sup>a</sup> (0.23)	10.81 <sup>a</sup> (0.20)	
3 層合板	EMC (%)	170°C 熱處理	16.59 <sup>b</sup> (0.20)	9.54 <sup>b</sup> (0.11)	8.78 <sup>b</sup> (0.12)	
		190°C 熱處理	12.27 <sup>c</sup> (0.71)	7.69 <sup>c</sup> (0.15)	7.06 <sup>c</sup> (0.16)	
		EMC 減少率 (%)	170°C 熱處理	21.44	18.74	18.78
	190°C 熱處理	41.90	34.50	34.69		
	6 層合板	EMC (%)	未處理	20.22 <sup>a</sup> (1.76)	11.67 <sup>a</sup> (0.07)	10.66 <sup>a</sup> (0.09)
			170°C 熱處理	17.08 <sup>b</sup> (0.06)	9.81 <sup>b</sup> (0.05)	9.12 <sup>b</sup> (0.02)
190°C 熱處理			13.20 <sup>c</sup> (4.31)	8.05 <sup>c</sup> (4.40)	7.51 <sup>c</sup> (4.40)	
EMC 減少率 (%)		170°C 熱處理	15.53	15.94	14.45	
		190°C 熱處理	34.72	31.02	29.55	
		未處理	21.27 <sup>a</sup> (0.43)	11.78 <sup>a</sup> (0.05)	10.83 <sup>a</sup> (0.28)	
9 層合板	EMC (%)	170°C 熱處理	17.77 <sup>b</sup> (0.53)	9.78 <sup>b</sup> (0.13)	9.03 <sup>b</sup> (0.10)	
		190°C 熱處理	16.00 <sup>c</sup> (0.31)	8.13 <sup>c</sup> (0.09)	7.47 <sup>c</sup> (0.06)	
		EMC 減少率 (%)	170°C 熱處理	16.46	16.98	16.62
	190°C 熱處理	24.78	30.98	31.02		

\*同一欄同一項之英文字母為 Duncan 新多變域分析在顯著水準 5% 檢定結果。  
\*\*括號內數值為標準差。

## 三、抗收縮效能

抗收縮效能為計算單板熱處理前後體積收縮率的改變程度，以做為尺寸安定性改善的指標，本試驗熱處理單板的體積抗收縮效能及相關的數值如表 3。

由表 3 可知，單板的體積收縮率隨著熱處理溫度的提高而降低，經 170°C 熱處理之單板體積收縮率與未處理者無顯著差異(7.45% 及 7.55%)，經 190°C 熱處理單板其收縮率為 3.82%，抗收縮效能為 49.40%。

體積平均收縮率的計算，可用以了解體積收縮率降低的可能原因。由各類單板體積平均收縮率差異不大(0.25-0.28 %/%)，但體積收縮率有明顯差異的情形推測，熱處理材尺寸安定性主要來自其吸濕性的降低。

比較同層數以未經熱處理及經熱處理單板製成之合板的試驗結果，發現經 190°C 熱處理單板製作之各層數合板的體積收縮率均顯著降低；經 170°C 熱處理單板與未處理單板製作的合板，在收縮率上無顯著差異。熱處理合板的 EMC 較未處理者低，計算平均收縮率後，熱處理單板合板的體積平均收縮率(0.25-0.36 %/%)略高於未處理者(0.24-0.31 %/%)。本試驗合板以單板交互垂直積層為主要排列方式，各垂直層間相互抑制外，其收縮現象亦受到膠合層的影響，使得合板部分的數據，不若

單板者具有明確的趨勢。

熱處理單板製成之合板的體積平均收縮率雖然大於未處理者，但由表 2 平衡含水率在不同相對濕度環境條件下變化的情形可發現，熱處理合板的平衡含水率變化低於未處理者，使得熱處理合板，尤其是以經 190°C 熱處理單板所製成者，不論單板層數及排列方式，皆具有較好的尺寸安定性，不同層數之經 190°C 熱處理單板所製作的合板其體積抗收縮效能相差不大，約在 26.0-30.3% 之間。

由以上試驗結果證實，熱處理溫度的提高具有抑制尺寸收縮的效果。另由體積收縮率及平均收縮率數值的變化可了解，熱處理促使木材尺寸收縮率減少的主要原因係在於 EMC 降低所致。

表 3 未處理及經熱處理桉樹單板及以其製成之合板的體積收縮率、平均收縮率及經熱處理者之體積抗收縮效能

Table 3 The total and average volumetric shrinkage percentage of heat-treated and untreated eucalyptus veneers and the plywood made of them, and the anti-shrinkage effect of the heat-treated veneers and the plywood made of the veneers

單板/合板	單板種類	體積收縮率(%)	體積平均收縮率(%)	抗收縮效能(%)
單板	未處理	7.55 <sup>a</sup> (0.36) **	0.26	—
	170°C 熱處理	7.45 <sup>a</sup> (0.40)	0.28	1.32
	190°C 熱處理	3.82 <sup>b</sup> (0.21)	0.25	49.40
3 層合板	未處理	6.19 <sup>a</sup> (0.10)	0.24	—
	170°C 熱處理	6.04 <sup>a</sup> (0.36)	0.27	2.42
	190°C 熱處理	4.58 <sup>b</sup> (0.27)	0.25	26.01
6 層合板	未處理	7.66 <sup>a</sup> (0.55)	0.31	—
	170°C 熱處理	7.70 <sup>a</sup> (0.35)	0.35	-0.52
	190°C 熱處理	5.34 <sup>b</sup> (0.23)	0.36	30.29
9 層合板	未處理	6.81 <sup>a</sup> (0.28)	0.26	—
	170°C 熱處理	6.23 <sup>a</sup> (0.43)	0.31	8.52
	190°C 熱處理	4.78 <sup>b</sup> (0.18)	0.27	29.81

\*同一欄同一項之英文字母為 Duncan 新多變域分析在顯著水準 5% 檢定結果。

\*\*括號中數值為標準差。

#### 四、單板之發霉抵抗

經 2 週的發霉試驗，各類黴菌於單板表面覆蓋情形如表 4。

由表 4 的結果可知，經 2 週試驗後，除接種原為空氣之未處理及經 190°C 熱處理單板尚未完全為黴菌菌絲覆蓋外，其他種類試片表面皆已被黴菌菌絲完全覆蓋，顯示熱處理並未能有效提高桉樹單板的抗發霉效能。

#### 五、合板之耐腐朽性能

本試驗採用白腐菌(*Trametes versicolor*, Tv)及褐腐菌(*Gloeophyllum trabeum*, Gt)各一株。經 6 週及 12 週腐朽試驗後，試塊平均質量損失率(%)如表 5。相較於未處理單板所製作的合板，熱處理單板所製作的合板明顯有較佳的腐朽抗性，且隨著處理溫度的提高而增加抗性。

表 4 未處理及經熱處理桉樹單板之黴菌覆蓋面積百分率(%)

Table 4 Mold coverage percentage (%) on heat-treated and untreated eucalyptus veneer surfaces

時間	單板種類	接種類別				
		青黴	麴黴	木黴	混合	空氣
1 週	未處理	5	100	75	90	0
	170°C 熱處理	100	100	85	100	0
	190°C 熱處理	100	100	30	100	0
2 週	未處理	100	100	100	100	95
	170°C 熱處理	100	100	100	100	100
	190°C 熱處理	100	100	100	100	30

表 5 九層合板試塊經腐朽試驗後之平均質量損失率(%)

Table 5 Average weight loss percentage (%) of 9-ply plywood specimens after decay test

時間	腐朽菌株	平均質量損失率(%)		
		未處理	170°C 熱處理	190°C 熱處理
6 週	Gt	9.57	0.85	0.03
	Tv	18.51	11.08	2.81
12 週	Gt	33.48	11.98	0.01
	Tv	47.28	33.33	11.00

腐朽前期(以 6 週的結果為代表)，腐朽菌 *G. trabeum* 及 *T. versicolor* 對 190°C 熱處理試塊僅造成 0.03% 及 2.81% 的質量損失率，而 170°C 熱處理試塊因 *G. trabeum* 菌株腐朽所導致的質量損失率亦僅有 0.85%。結果顯示熱處理材對腐朽菌具有抵抗性。但隨著腐朽試驗時間的增長至 12 週，僅以 190°C 熱處理試塊對 *G. trabeum* 的腐朽呈現明顯的抵抗性(質量損失率 0.01%)。一般而言，白腐菌較適於在闊葉樹材上生長，褐腐菌則較適應針葉樹材，桉樹為闊葉樹材，*T. versicolor* 對桉樹合板產生較 *G. trabeum* 為嚴重的質量損失，與預期之試材腐朽情況相符。整體而言，熱處理桉樹單板製成的合板相對於未處理者，對腐朽菌具有較佳的抵抗性，但經 12 週的腐朽試驗後，*T. versicolor* 仍對耐腐朽性較佳的 190°C 熱處理試塊造成 11% 的質量損失率，熱處理對木材耐腐朽性能的提升效果仍需進一步改善。

#### 六、合板之膠合性能

未處理、經 170°C 及 190°C 熱處理單板所製成之 3 層合板之膠合性能試驗結果整理如下：

##### (一)浸水剝離

由未處理、經 170 °C 及經 190 °C 熱處理單板製成之 3 層合板採取的所有試片，以反覆浸水煮沸一類之程序進行浸水剝離試驗，試驗結果所有試片皆無脫膠情形，

所有受試合板類別皆通過 CNS 1349 type I 浸水剝離試驗。

## (二)膠合剪力

各種合板之 12 片試片的膠合剪力試驗結果如表 6。

未處理、經 170°C 熱處理及經 190°C 熱處理桉樹單板所製成 3 層合板的試片，其膠合剪力平均值皆達到規範要求的 0.7 Mpa，而各種合板之 12 片試片達到 0.7 Mpa 者的比率分別為 100%、83%及 50%，依 CNS 1349 中的規範，三者分別為通過、再次取樣檢測及未通過。依 CNS 1349 規範，闊葉樹合板之膠合剪力試驗結果無需紀錄木破率，然而由試驗過程中發現，經 170°C 及經 190°C 熱處理桉樹單板所製成 3 層合板的試片分別有 3 片及 10 片試片完全由木材部分破斷，似乎無法反應實際膠合情形，也顯示反覆浸水煮沸一類之程序對桉樹熱處理材的機械強度有降低的影響，影響程度又以經 190°C 熱處理者較為嚴重。

**表 6 三層合板 12 片試片膠合剪力試驗結果**  
Table 6 Results of the 12 glue shear strength specimens for the 3-ply plywood

	未處理	170°C 熱處理	190°C 熱處理
試片膠合剪力	1.05 (0.11)*	0.78 (0.08)	0.70 (0.05)
通過規範之試	12	10	6
試片通過規範	100	83	50

\*括弧內數值為標準差。

就試驗結果而言，熱處理單板會使膠合剪力下降，甚至導致經 190°C 熱處理單板所製成的合板之膠合性能未能達到 CNS 1349 標準，此點在合板製作及品質管理上須審慎考慮與注意。

## 七、合板之抗彎性質

六層合板之試材基本資料及抗彎試驗結果如表 7。

**表 7 六層合板試片面板木理方向與跨距方向平行時之抗彎性質**  
Table 7 Bending properties of the 6-ply plywood specimen with the grain of the face veneer parallel to the span

單板種類	氣乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	氣乾含水率(%)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	變形量(mm)	
					彈性	塑性
未處理	0.66 <sup>a</sup> * (0.02)**	15.11 <sup>a</sup> (0.25)	9.96 <sup>b</sup> (1.98)	54.13 <sup>a</sup> (8.69)	3.28 <sup>a</sup> (0.42)	11.83 <sup>a</sup> (4.00)
170°C 熱處理	0.72 <sup>a</sup> (0.03)	9.66 <sup>b</sup> (0.10)	12.12 <sup>a</sup> (0.93)	52.48 <sup>a</sup> (17.73)	3.27 <sup>a</sup> (0.78)	7.40 <sup>ab</sup> (2.37)
190°C 熱處理	0.70 <sup>a</sup> (0.03)	8.95 <sup>c</sup> (0.25)	10.06 <sup>b</sup> (0.42)	23.04 <sup>b</sup> (5.42)	2.87 <sup>a</sup> (0.74)	5.04 <sup>b</sup> (2.95)

\*同一欄同一項之英文字母為 Duncan 新多變域分析在顯著水準 5%檢定結果。

\*\*括號中數值為標準差。

由試驗結果得知，經 170°C 熱處理桉樹單板製成的合板其 MOE 最高(12.12 GPa)，經 190°C 熱處理者次之(10.06 GPa)，未處理者最低(9.96 GPa)，可能與熱處理的試材於試驗時相對於未處理者有較高的密度及較低的含水率有關，也可能與 Ding *et al.* (2010)指出之熱處理木材之 MOE 隨熱處理溫度的提高呈現先上升後下降的趨勢有關。經 170°C 及 190°C 熱處理桉樹單板對以其所製作之合板的 MOE 應無負面影響，然而於 MOR 即顯現熱處理對合板抗彎強度的影響，熱處理溫度愈高，MOR 降低愈明顯。經 190°C 熱處理單板製成的合板其試材之 MOR 平均值為 23.04 MPa 雖僅些微高於標準，整體而言，仍符合 CNS 11671 的 1 級抗彎標準(MOE:5.5 GPa, MOR: 22.0 MPa 以上)。

未處理、經 170°C 及經 190°C 熱處理單板製作的合板之面板木理方向與跨距方向平行的試片在比例限度內的變形量(2.87-3.28 mm)無顯著差異，但隨熱處理溫度的提高而呈現減少的趨勢；塑性變形量則隨熱處理溫度的增加而呈現顯著的降低，三者分別為 11.83 mm，7.40 mm 及 5.04 mm，顯示隨熱處理溫度的增加其木材的韌性變差，此結果以合板而言應屬機械性質劣化，在使用上應加以注意。

## 結 論

桉樹單板經 170°C 及 190°C 熱處理後因吸濕性的降低，表現出較未處理單板為低的平衡含水率與較好的尺寸安定性，以經熱處理的單板所製作的桉樹合板，相對於以未處理單板所製作者，亦有因單板性質改良而呈現的平衡含水率降低與尺寸安定性提升，熱處理溫度較高者效果較顯著，以經 190°C 熱處理單板製作的各層數合板，其 ASE 為 26.0- 30.3%。

使用熱處理單板製作之合板其耐腐朽性能優於未處理者，耐腐性提升效果以 190°C 熱處理者較明顯，但經 12 週腐朽試驗後，試驗用白腐菌仍對 190°C 處理者的試塊造成 11%的質量損失率，顯示以熱處理提升木材耐腐朽性仍有待改善之處，而熱處理並未能有效改善單板抵抗黴菌的性能。

以聚醋酸乙烯與異氰酸酯調製的膠合劑膠合經熱處理單板所製成之合板可通過 CNS 1349 一類浸水剝離試驗，但其膠合剪力隨熱處理溫度增加而降低，以經 190°C 熱處理單板製作之合板已無法通標準。

以熱處理單板製作之合板其 MOE 略高於未處理者，其 MOR 則隨熱處理溫度的提高而降低，但仍符合 CNS 11671 的 1 級抗彎試驗標準；熱處理者於抗彎試驗時所呈現的彈性變形量與未處理者並無顯著差異，但塑性變形量則隨熱處理溫度的提高而顯著的減少，顯示以經熱處理之桉樹單板製做的合板其脆性增加、塑性降低，在使用上需加以注意。

## 誌 謝

本試驗承蒙昆儀實業股份有限公司提供材料、設備及技術諮詢，謹致謝忱。

## 參考文獻

- 中華民國國家標準。2005。CNS 451 木材密度試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準。2005。CNS 452 木材含水率試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準。2006。CNS 1349 普通合板。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準。2006。CNS 11671 結構用合板法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準。2005。CNS 14925 木材體積收縮率試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 顧煉百。2008。炭化木的基本概念、分類和用途。中國木材保護 1(19):18–21。
- 顧煉百、丁濤、呂斌、朱昆。2010。壓力蒸氣處理木材生物耐久性的研究。中國木材保護 5(35):21–24。
- Borrega, M. and P. Kärenlampi. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. European Journal of Wood and Wood Products 68(2):233–235.
- Callum, A. S. H. 2006. Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes. pp. 99–100. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England.
- Ding, T., L. Gu, and T. Li. 2010. Influence of steam pressure on mechanical properties of heat-treated Mongolian pine lumber. European Journal of Wood and Wood Products 69:121–126.
- Fengel, D. and G. Wegener. 1984. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. pp. 326–330. Walter de Gruyter & Co. Berlin, Germany.
- Hosseini Hashemi, S. K., A. J. Latibari, H. Khademi-Eslam, and R. F. Alamuti. 2010. Effect of boric acid treatment on decay resistance and mechanical properties of popular wood. BioResources 5(2):690–698.
- Kocaefe, D., B. Chaudhry, S. Poncsak, M. Bouazara, and A. Pichette. 2007. Thermo gravimetric study of high temperature treatment of aspen: Effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties. Journal of Materials Science 42(4):854–866.
- Mburu, F., S. Dumarcay, J. F. Bocquet, M. Petrisans, and P. Gérardin. 2008. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. Polymer Degradation and Stability 93(2):401–405.
- Sernek, M., M. Boonstra, A. Pizzi, and A. Despres. 2008. Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives. Holz als Roh- und Werkstoff 66(3):173–180.
- Vjekoslav, Z., P. Ivan, T. Hrvoje, S. Omisla, and J. Vlatka. 2008. Dimensional stability of heat treated wood floorings. Drvna Industrija 59(2): 69–73.
- Vukas, N., I. Horman, and S. Hajdarevic. 2010. Heat treated wood. Symposium of the 14th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” pp. 122–124. September 11–18. Mediterranean Cruise.

100年 9月10日投稿  
100年12月12日接受