

文章编号: 1001-411X(2001)03-0083-03

刨花板湿应力的研究

李凯夫, 高振忠, 孙 瑾

(华南农业大学林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 刨花板在制造和使用过程, 由于水分的变化而产生湿应力. 从研究结果可知, 由湿效应引起的湿应力约为 0.21 MPa, 是平均界面结合强度降低值的 13.4%. 定性和定量评价湿应力, 是提高界面结合稳定性的关键.

关键词: 湿应力; 界面; 刨花板; 界面结合强度

中图分类号: S757.1

文献标识码: A

在热压过程中, 刨花板各层水分动态变化, 形成含水率梯度, 由此产生不均匀的湿胀, 产生不容忽视的微观应力, 降低了界面结合强度; 在不同环境条件下使用时, 因水分的变化, 刨花板产生附加的应力, 这些应力称为湿应力^[1]. 木材与胶粘剂都具有亲水性基团, 当湿度变化时, 木材和胶粘剂不断吸湿或解吸, 产生膨胀或干缩, 因湿胀系数不同而在刨花板中产生湿应力, 此现象称为湿效应. 湿应力引起刨花板界面破坏的机理有 3 种: ①因湿度变化引起的湿应力导致胶层、界面及刨花产生疲劳破坏; ②因湿汽对胶层及界面的作用而引起胶层水解; ③因水分对界面的作用而引起胶合力下降^[2,3,5-8]. 刨花板在干湿循环试验中, 产生回弹, 因含水率变化而导致刨花与胶层之间产生湿应力, 其大小取决于木材的蠕变性和胶种的抵抗应力的能力^[4]. 按弹性材料力学原理推导湿应力, 引入修正因素 E , 相对湿度从 55% 变到 87% 时, 刨花板含水率 w 增加 4.49%, 产生的湿胀应力为 1.27 MPa, 由推导的公式计算的湿应力为 1.55 MPa^[9]. 刨花在吸湿或吸水过程中会产生湿胀, 而胶层湿胀与刨花差别较大, 不同的材料表现出不同的湿胀特性, 使得刨花板因水分的变化而产生界面湿应力, 影响刨花板尺寸稳定性和强度. 因此, 系统研究刨花板湿应力对界面的影响意义重大. 本文通过刨花与胶粘剂湿应变测试技术的研究, 系统分析工艺因素与刨花板湿应力的关系, 推导刨花板湿应力计算公式, 探索湿应力对界面结合强度的影响规律.

1 材料与方法

1.1 材料

以山杨和落叶松刨花为原料, 刨花的尺寸为 18.0 mm × 8.0 mm × 0.4 mm, 放入调温调湿箱中将其含水率调整到所要求的值. 胶粘剂为工厂用脲醛树

脂胶粘剂(U-233UF)和自制脲醛树脂胶粘剂(DN-12UF), w (固体)为 61% 和 62%. 固化剂为氯化铵, 防水剂为石蜡乳液(w 为 50%).

1.2 方法

将刨花和胶块置于水浴中, 使其距水面 4 mm. 调温系统是由加热器、电子继电器、电接点温度计组成, 控制精度 $\pm 1^\circ\text{C}$. 在测量数据时将试件表面的水用滤纸吸去.

采用旋转组合设计法安排试验, 考查指标为刨花和胶条的应变(ϵ), 进行显著性检验和 t 检验, 求出应变最大和最小时对应的条件, 最后计算湿胀系数. 根据刨花的湿膨胀特性及其影响因素, 将刨花含水率(x_1 , $w=2\%\sim 20\%$), 浸泡水温(x_2 , $10\sim 90^\circ\text{C}$), 浸泡时间(x_3 , $24\sim 72\text{ h}$)作为考察的因素进行编码. 将固化剂量(x_{1m} , $w=0\sim 7.8\%$), 防水剂量(x_{2m} , $w=0.5\%\sim 2.0\%$), 浸水温度(x_{3m} , $10\sim 90^\circ\text{C}$)作为因素来考察胶块的湿胀情况. 根据公式 $x_{0j} = (x_{1j} + x_{2j})/2$ 及 $\Delta_j = (x_{2j} - x_{0j})/r$, 算出 0 水平值和变化区间 Δ_j , 星号臂 $r=1.682$. 为了描绘刨花和胶块在吸湿过程中的变化趋势, 将其他因素固定, 将时间作为单因素进行研究. 在 50°C 水中放入山杨刨花及 2 种胶种的胶块, 每隔 4 h 分别测量胶块厚、长、宽和质量.

2 结果与分析

2.1 胶粘剂湿应变

经旋转组合设计法得到 DN-12UF 胶块长、宽和厚度湿应变的回归方程分别为:

$$\begin{aligned} \epsilon_{m1} = & -7.94 \times 10^{-2} + 2.54 \times 10^{-3} x_{1m} + 1.28 \times 10^{-2} x_{2m} + 3.69 \times 10^{-2} x_{3m} - 4.74 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} - \\ & 9.34 \times 10^{-4} x_{2m} x_{3m} + 7.48 \times 10^{-3} x_{1m} x_{3m} + 8.18 \times 10^{-6} x_{1m}^2 + 2.07 \times 10^{-4} x_{2m}^2 - 0.02 x_{3m}^2, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\epsilon_{m2} = -2.08 \times 10^{-6} + 1.22 \times 10^{-3} x_{1m} + 6.38 \times 10^{-3} x_{2m} - 3.76 \times 10^{-2} x_{3m} - 1.62 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} + 1.73 \times 10^{-4} x_{2m} x_{3m} - 9.46 \times 10^{-4} x_{1m} x_{3m} - 1.02 \times 10^{-5} x_{1m}^2 + 7.86 \times 10^{-4} x_{2m}^2 - 1.26 \times 10^{-2} x_{3m}^2, \quad (2)$$

$$\epsilon_{m3} = 0.26 - 0.004 x_{1m} + 2.25 \times 10^{-4} x_{2m} - 0.12 x_{3m} - 2.47 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} + 2.35 \times 10^{-3} x_{2m} x_{3m} - 7.22 \times 10^{-3} x_{1m} x_{3m} + 1.21 \times 10^{-5} x_{1m}^2 + 2.39 \times 10^{-3} x_{2m}^2 - 5.55 \times 10^{-3} x_{3m}^2. \quad (3)$$

经旋转组合设计法得到 U-233UF 胶块长、宽和厚度湿应变的回归方程分别为:

$$\epsilon_{m11} = -0.24 + 1.10 \times 10^{-2} x_{1m} - 0.06 x_{2m} + 0.04 x_{3m} + 1.08 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} - 8.52 \times 10^{-4} x_{2m} x_{3m} + 6.47 \times 10^{-3} x_{1m} x_{3m} - 9.60 \times 10^{-5} x_{1m}^2 + 3.08 \times 10^{-3} x_{2m}^2 - 0.10 x_{3m}^2, \quad (4)$$

$$\epsilon_{m21} = -0.12 + 0.005 x_{1m} + 0.007 x_{2m} + 0.03 x_{3m} - 1.31 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} - 3.18 \times 10^{-4} x_{2m} x_{3m} + 4.94 \times 10^{-4} x_{1m} x_{3m} - 3.71 \times 10^{-5} x_{1m}^2 + 3.39 \times 10^{-4} x_{2m}^2 - 0.01 x_{3m}^2, \quad (5)$$

$$\epsilon_{m31} = 0.57 - 0.02 x_{1m} - 0.03 x_{2m} - 0.16 x_{3m} + 3.64 \times 10^{-4} x_{1m} x_{2m} + 1.82 \times 10^{-3} x_{2m} x_{3m} + 7.80 \times 10^{-3} x_{1m} x_{3m} + 1.03 \times 10^{-4} x_{1m}^2 + 4.11 \times 10^{-4} x_{2m}^2 + 0.01 x_{3m}^2. \quad (6)$$

2.2 刨花湿应变

经旋转组合设计法得到落叶松刨花长、宽和厚度湿应变的回归方程分别为:

$$\epsilon_{f1} = 0.1257 - 0.0014 x_1 - 0.0014 x_2 - 0.0059 x_3 - 3.7357 \times 10^{-6} x_1 x_2 + 1.1998 \times 10^{-4} x_2 x_3 - 1.6286 \times 10^{-5} x_1 x_3 + 3.4769 \times 10^{-6} x_1^2 + 1.2314 \times 10^{-5} x_2^2 + 4.8315 \times 10^{-5} x_3^2, \quad (7)$$

$$\epsilon_{f2} = 0.0581 + 0.0011 x_1 - 0.0033 x_2 + 0.0078 x_3 + 1.1721 \times 10^{-5} x_1 x_2 - 1.1460 \times 10^{-4} x_2 x_3 + 2.9256 \times 10^{-6} x_1 x_3 - 1.8772 \times 10^{-6} x_1^2 + 2.6844 \times 10^{-5} x_2^2 - 1.2408 \times 10^{-4} x_3^2, \quad (8)$$

$$\epsilon_{f3} = 0.1097 - 7.6899 \times 10^{-4} x_1 + 1.7896 \times 10^{-2} x_2 - 0.1127 x_3 + 6.1786 \times 10^{-6} x_1 x_2 - 2.1900 \times 10^{-4} x_2 x_3 - 2.5179 \times 10^{-4} x_1 x_3 - 3.5704 \times 10^{-6} x_1^2 - 2.2221 \times 10^{-4} x_2^2 + 8.0584 \times 10^{-3} x_3^2. \quad (9)$$

经旋转组合设计法得到山杨刨花长、宽和厚度湿应变的回归方程分别为:

$$\epsilon_{f11} = -0.2374 + 0.0110 x_1 - 0.0562 x_2 + 0.3365 x_3 + 1.0776 \times 10^{-4} x_1 x_2 - 8.5185 \times 10^{-4} x_2 x_3 + 0.0065 x_1 x_3 - 9.5994 \times 10^{-5} x_1^2 + 0.0031 x_2^2 - 0.1000 x_3^2, \quad (10)$$

$$0.0264 x_3 - 1.3078 \times 10^{-4} x_1 x_2 - 3.1796 \times 10^{-4} x_2 x_3 + 4.9449 \times 10^{-4} x_1 x_3 - 4.9180 \times 10^{-5} x_1^2 - 4.3183 \times 10^{-5} x_2^2 - 0.0116 x_3^2. \quad (11)$$

$$\epsilon_{f31} = -0.0456 + 0.0025 x_1 + 0.0068 x_2 - 0.0241 x_3 - 7.8571 \times 10^{-6} x_1 x_2 + 2.5400 \times 10^{-4} x_2 x_3 - 0.0005 x_1 x_3 - 3.7089 \times 10^{-5} x_1^2 + 3.3938 \times 10^{-4} x_2^2 + 8.4938 \times 10^{-3} x_3^2. \quad (12)$$

2.3 湿应力分析

因刨花和胶粘剂湿胀系数的差异,置于湿环境中的刨花板内部将产生湿应力,对于刨花板的强度影响显著.表征刨花板湿胀特性的参数是湿胀系数,它是一个无量纲的值,吸湿程度因材料而异,材料的吸湿能力和它所处环境有很大关系^[10-11].

从湿应力 $\sigma_f = E_f E_m V_m (\beta_m C_m - \beta_f C_f) / (E_f V_f + E_m V_m)$ 式中可见,当树种、胶种和施胶量固定时,则可认为 E_f 、 E_m 、 V_m 、 V_f 为常数,则:

$$\sigma_f = K (\beta_m C_m - \beta_f C_f) \text{ 或 } \sigma_f = K (\epsilon_m - \epsilon_f), \quad (13)$$

其中: K 是常数, $K = E_f E_m V_m / (E_f V_f + E_m V_m)$, σ_m 是刨花的湿应力, σ_m 为胶粘剂湿应力, E_f 是刨花的弹性模量, E_m 是胶块的弹性模量, β_f 是刨花湿胀系数, β_m 是胶块的湿胀系数, V_f 和 V_m 分别是刨花和胶层所占的体积, ΔW 为含水率梯度,纵向为 L,横向为 T.当刨花板受潮时,刨花与胶层的界面处约束力将对各组分材料产生影响,因为 $\beta_m < \beta_f$,则胶层沿纵向受拉,刨花沿纵向受压, σ_{mL} 、 σ_{fL} 增大,而 σ_{mT} 、 σ_{fT} 减小,对于刨花来说,湿应变为: $\epsilon_{fL} = \sigma_{fL} / E_{fL} - V_f \sigma_{fT} / E_{fL} + \beta_{fL} \Delta W$ (纵向), $\epsilon_{fT} = \sigma_{fT} / E_{fT} - V_f \sigma_{fL} / E_{fT} + \beta_{fT} \Delta W$ (横向).

纵向湿膨胀系数为:

$$\beta_{fL} = (E_{fL} V_f \beta_f C_f / C_m + E_m V_m \beta_m) \rho_c / (E_{fL} V_f + E_m V_m) (V_f \rho_f + V_m \rho_m). \quad (14)$$

横向湿膨胀系数为:

$$\beta_{fT} = [\beta_f V_f (1 + V_{fT}) C_f / C_m + \beta_m (1 + V_m) V_m] \rho_c / (\rho_m V_m + \rho_f V_f C_f / C_m). \quad (15)$$

由上可知,当已知刨花板组分的弹性模量 E 、体积率 V 和湿应变 ϵ ,就可直接由(13)式计算因吸湿而产生的湿应力;由(14)式和(15)式可分别计算刨花板纵向和横向湿胀系数 β .落叶松刨花与 U-233UF 组合时, $K = 21.39$ MPa;山杨刨花与 U-233UF 组合时, $K = 21.44$ MPa;落叶松刨花与 DN-12UF 组合时, $K = 26.89$ MPa;山杨刨花与 DN-12UF 组合时, $K = 26.98$ MPa.

落叶松刨花与 U-233UF 组合体在 10~90℃范围内,随水温升高, ϵ_{f1} 递减, ϵ_{m11} 增大,当水温 10℃

时, $\epsilon_{m11}=0.95\%$, $\epsilon_{f1}=0.07\%$; 当水温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $\epsilon_{m11}=2.03\%$, $\epsilon_{f1}=0.05\%$, 由 (13) 式可得, $\sigma_{\perp}$ 从 0.19 MPa 增至 0.42 MPa . 在 $24\sim72\text{ h}$ 范围内, 随浸水时间的延长, ϵ_{m11} 基本不变, ϵ_{f1} 增大. 当时间为 24 h 时, $\epsilon_{m11}=0.52\%$, $\epsilon_{f1}=0.50\%$; 当时间为 48 h 时, $\epsilon_{m11}=0.52\%$, $\epsilon_{f1}=0.90\%$, 由 (13) 式可得, $\sigma_{\perp}$ 从 0.004 MPa 增至 0.081 MPa . 在 $w=2\%\sim20\%$ 范围内, 随着刨花含水率增加, ϵ_{f1} 增大. 当含水率 w 为 2% 时, 有 $\epsilon_{m11}=0.52\%$, $\epsilon_{f1}=0.50\%$; 当含水率 w 为 10% 时, 有 $\epsilon_{m11}=0.52\%$, $\epsilon_{f1}=1.00\%$, 由 (15) 式可得, $\sigma_{\perp}$ 将从 0.002 MPa 增至 0.103 MPa . 在 $w=0\sim7.8\%$ 范围内, ϵ_{m11} 随固化剂量增加而增大. 刨花在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡时, $\epsilon_{f1}=0.50\%$; 当固化剂 $w=1\%$ 时, $\epsilon_{m11}=0.91\%$; 当固化剂 $w=2\%$ 时, $\epsilon_{m11}=0.87\%$, 由 (13) 式可得, $\sigma_{\perp}$ 将从 0.09 MPa 降至 0.08 MPa . 在 w 为 $0.5\%\sim2.0\%$ 范围内, ϵ_{m11} 随防水剂量增加而增大, 在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡和防水剂 1% 时, $\epsilon_{m11}=0.69\%$; 当防水剂量为 2% 时, $\epsilon_{m11}=0.85\%$, 由 (13) 式可得, $\sigma_{\perp}$ 将从 0.04 MPa 增至 0.07 MPa .

U-233UF 和 DN-12UF 密度为 1.22 和 1.07 g/cm^3 . 对落叶松刨花和 U-233UF 来说, $\beta_f=0.027$, $\beta_m=1.091$, 测得 $E_f=1.69\text{ GPa}$; $E_m=0.246\text{ GPa}$. 当 $V_m=3.8\%$ 、 $V_f=96.2\%$ 时, 未浸水与浸水试件的平均界面结合强度差值为 1.53 MPa . 根据上述计算结果可知, 由湿效应引起的湿应力大致为平均界面结合强度降低值的 13.4% . 因此, 由湿胀系数不同而产生的湿应力是不可忽视的残余应力, 它始终是动态变化的. 按最大湿应变条件制作的山杨刨花与 U-233UF 复合体得到的界面结合强度为 1.85 MPa , 与未浸水的同样复合体相比, 界面结合强度下降 0.94 MPa , 下降幅度高达 33.7% ; 水温达到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、浸水 6 h 后的界面结合强度下降约 5% , 湿应力是不容忽视的因素. 与按最小湿应变条件制作的同类组分复合体相比, 界面结合强度下降 0.57 MPa ; 当施加固化剂量不变时, 水温从 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 界面结合强度提高 0.57 MPa , 这说明高温水浸主要影响胶层的内聚力和与刨花之间的胶合力. 在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡时, 复合体界面结合强度变化幅度较小, 可见低温水对界面结合强度影响不大. 高温水对 DN-12UF 的影响程度小于对 U-233UF 的影响, 其原因是 DN-12UF 加入三聚氰胺后, 增加其耐水性所致. 水温从 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, 界面结合强度仅下降 11.9% . 与未浸水同样试件相比, 界面结合强度降低 0.82 MPa (最大应变) 和 0.62 MPa (最小应变). 按最大湿应变和按最小

湿应变条件分别测试落叶松刨花与 U-233UF 复合试件的界面结合强度下降 0.37 MPa , 水温从 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, 界面结合强度下降幅度小于山杨与 U-233UF 复合体; 与未水浸试件相比, 界面结合强度下降 1.53 和 0.42 MPa , 湿应力的影响较大.

3 结论与讨论

3.1 山杨刨花与 U-233UF 复合体界面结合强度平均为 1.64 和 2.42 MPa ; 山杨刨花与 DN-12UF 复合体为 1.73 和 1.96 MPa . 落叶松刨花的界面结合强度平均为 1.63 、 2.01 MPa 和 0.79 、 2.45 MPa . 在最大湿应变与最小湿应变条件下所得到的界面结合强度差值分别为 0.78 、 0.23 、 0.38 和 1.66 MPa . 界面结合强度下降的幅度因树种和胶种不同而异.

3.2 由未浸水空白对比试验结果可知, 上述各复合体界面结合强度平均值分别降低 0.50 、 0.13 、 0.82 、 0.62 、 1.53 、 0.42 、 1.03 和 0.17 MPa , 最小湿胀时界面结合强度下降幅度较小. 落叶松刨花与 U-233UF 复合时得到的干状界面结合强度比山杨刨花大, 而湿状界面结合强度相差不大, 从而说明在制造刨花板时, 落叶松刨花的耐湿性比山杨刨花差.

3.3 落叶松刨花和 U-233UF 的增重率为 0.87% 和 0.43% , 湿应变为 0.021% 和 0.043% , 两者的湿胀系数分别为 0.027 和 1.091 , 由湿胀系数不同而产生的湿应力约为 0.21 MPa ; 实测浸水和未浸水时平均界面结合强度分别为 1.64 和 3.17 MPa , 相差 1.53 MPa , 其中湿应力约占 13.4% , 这是不容忽视的内应力.

参考文献:

- [1] 王震鸣. 复合材料力学和复合材料结构力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 126—148.
- [2] JORGENSEN. Dimensional stability of oak flake board[J]. Forest Prod J, 1966, 16(10): 265—268.
- [3] BARNES H M, ELTON D. Effect of aging on the mechanical properties of particleboard decking[J]. Wood and Fiber, 1978, 10(3): 164—174.
- [4] HANN R A. How durable is particleboard[J]. Forest Prod J, 1963, 13(13): 169—174.
- [5] GILLESPIE R H. Heat and moisture resistance of a urea resin in plywood joints[J]. Forest Prod J, 1968, 18(3): 35—41.
- [6] SEATTLE W. Proposed new test for accelerated aging of phenol resin-bonded particleboard[J]. Forest Prod J, 1966, 16(6): 19—23.
- [7] STEINER R P. Low-temperature durable of common wood adhesives[J]. Forest Prod J, 1975, 25(8): 26—30.

(下转第 89 页)

[10] 张绍章, 田 琼, 王克为, 等. 中药地龙胶囊对食道癌和肺癌的辐射增效作用[J] . 第四军医大学学报, 1992 13(2): 165—168.

[11] 曾小澜, 章碧玉, 麦美霞, 等. 蚯蚓提取物对多种瘤细胞的作用[J] . 山西医学院学报, 1995, 26(2): 81—83.

[12] 张乃惠. 冠心病患者蚓激酶治疗后血流变指标的变化[J] . 中国血液流变学杂志, 1999, 1(1): 163—166.

[13] 金利蓉, 徐桂芝. 脑硬死的血纤状态和蚓激酶的作用[J] . 中国新药与临床杂志, 1999, 18(1): 104—107.

[14] 刘 俊, 周立民, 任 燕. 比较蚓激酶胶囊与丹参片治疗冠心病绞痛的疗效[J] . 中国新药和临床杂志, 1999, 18(4): 104—108.

[15] 李令媛, 马宏宝, 吕迎春, 等. 镉诱导威廉环毛蚓金属硫蛋白的分离纯化及特性研究[J] . 生物化学杂志, 1994, 10(4): 444—450.

Progress in the Study of Effective Component of Medication and Nutrition from Earthworm

XU Feng-cai, GAO Xiang-yang, WANG Wei-jun, ZHAN Fu-jian
(College of Biotechnology, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: In this paper, the general biological characters of earthworm were first introduced in brief. Then the effective components of medication and nutrition from earthworm were reviewed in detail, especially for several kinds enzymes which have potential application in medication. These included earthworm fibrinolytic enzyme(EFE), Lumbrokinase and so on. The purification, characters and medical function of these enzymes were concerned. Finally a conclusion was reached that exploration of earthworm would play important roles for high-tech agricultural development and environmental protection.

Key words: earthworm; biological characters; lumbrokinase; earthworm fibrinolgtic enzyme

【责任编辑 柴 焰】

(上接第 85 页)

[8] CHOW S, STEINER R P. Resistance to cyclic exposure at extreme low temperature of urea resin bonds[J] . Forest Prod J, 1974 24(5): 35—38.

[9] 吴智慧. 木质材料干缩湿膨胀对表面装饰质量的影响[J] . 林产工业, 1994, 21(5): 13—16.

[10] 张延民, 矫国康译. 木质材料膨胀应力的测定[J] . 国外林业, 1994, 24(3): 32—33.

[11] 张 锦. 新型复合材料力学机理及其应用[M] . 北京: 北京航空航天大学出版社, 1991. 130—151.

Study of Particleboard Wet Stress

LI Kai-fu, GAO Zhen-zhong, SUN Jin
(College of Forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Particleboard gives rise to wet stress in the course of manufacture and use owing to the change of moisture content. The result shows that the wet stress caused by wet effect is about 0.21 MPa, accounting for 13.4% of the average interface combination intensity reduction value. Qualitative and quantitative appraisal of wet stress is critically important to enhance the combination stability at interface.

Key words: wet stress ; interface; particleboard; interface combination strength

【责任编辑 周志红】