

研究与开发

不脱水脲醛树脂刨花板的后期热处理

卢晓宁, 何毅, 周晓燕

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要: 对脲醛树脂刨花板进行后期热处理, 不仅能够提高板材的内结合强度, 而且能改善板强度的均匀性, 尤其适合于不脱水、低摩尔比的脲醛树脂胶粘剂, 在热处理过程中不会因固化剂而引起胶粘剂降解。无固化剂的刨花板同样能大幅度提高其性能。后期热处理工艺为: 当热压后板材的中心温度降为 100 ℃ 时, 热处理温度 80 ℃, 时间 30 min 左右。

关键词: 后期热处理; 刨花板; 不脱水脲醛树脂

中图分类号: TS653.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2002)02-0019-03

Post Isothermal Treatment on the Non-dewatering Urea Formaldehyde Particleboard

LU Xiao-ning, HE Yi, ZHOU Xiao-yan

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Post isothermal treatment was effectively used to improve not only the internal bonding strength, but also its property homogeneity of the particleboard with low molar ratio and non-dewatering urea formaldehyde resin with or without curing agent added. During the thermal treatment the curing agent didn't cause any degradation of adhesives. The post isothermal treatment conditions were suggested as keeping panels in an oven at 80 ℃ for 30 minutes while the center temperature of panels after hot pressing was cooled to 100 ℃.

Key words: Post isothermal treatment; Particleboard; Non-dewatering UF resin

刨花板制造通常使用脲醛树脂为胶粘剂, 生产中大都采用高温高压工艺以缩短热压时间, 提高产量, 尤其是采用单层压机和连续压机生产时, 热压板温度高达 190 ℃ 至 220 ℃, 热压时间 13~14 s/mm。但脲醛树脂类胶粘剂在 152 ℃ 下易发生降解; 即使在 100 ℃ 下, 刨花含水率较高时, 如果时间较长也会降解。因此, 刨花板在热压以后, 常常需要冷却一段时间再进行裁边、砂光等后期加工。另一方面, 许多工厂采用低摩尔比脲醛树脂, 其固化时间较长, 在短时间内难以达到所期望的固化率(80%左右)^[1]。对于热压后如何利用余热及对板材进行后期处理, 最有效、最充分地改善板材的性能, 一直是争议的问题。不少学者认为, 刨花板的后期热处理仅能改善板的物理性能(如含水率均匀等), 而板的强度不仅不能提高甚至会降低^[1,2]。Lu 和 Pizzi^[3]通过热机械分析(TMA)证明: 脲

醛树脂在高温、短时间下并不能完全固化, 适当的热处理, 可使胶粘剂大分子重排, 提高板的弹性模量。Lu^[4]提出了热压后板内温度变化模型; 徐长妍^[5]对喷雾热压提出了“热压过程中刨花板内部温度场”模型, 提出了热压过程 4 个阶段的传热方式, 分别为: 初期接触传热, 水蒸气扩散, 非封闭系统的接触传热和修正的接触传热。本文在此基础上, 进一步研究普通热压过程中, 板内温度变化趋势, 以及热压后的热处理工艺对提高板的内结合强度及其均匀性的作用。

1 试验方案

1.1 试验材料和制板工艺

杨木刨花 含水率为: 芯层刨花 8%~9%; 表层刨花 10%~12%。

脲醛树脂 摩尔比 U:F=1:1.2, 固体含量 52%, 在 100 ℃ 时固化时间为 45~50 s。固化剂

NH₄Cl 用量分别为 0%,1%(按固体胶重量计)。

刨花板 名义厚度 16 mm,密度 0.65 g/cm³,板材幅面尺寸 7360 mm×2440 mm。

制板工艺 单层压机。热压板温度 190 ℃ 左右,车间温度为 17~20 ℃。热压周期:保压时间为 100 s,卸压时间分别为 30,30,29 s。

1.2 热压过程中板坯内部温度测试方法设计

如图 1 所示,测量每点及其不同厚度截面对应点(厚度分为三层,即上层、芯层和下表层)温度随时间的变化曲线。每点分别标号为 i1,i2,i3,...,i1,i2,i3,...,81,82,83,其中 i1 为第 i 位置的上表层温度变化,i2 为第 i 位置芯层的温度变化,i3 为第 i 位置的下表层温度变化。热电偶从板的宽度方向插入时,深度为 150 mm,从进口处插入时深度为 250 mm,各点按压制后实际距离计算。

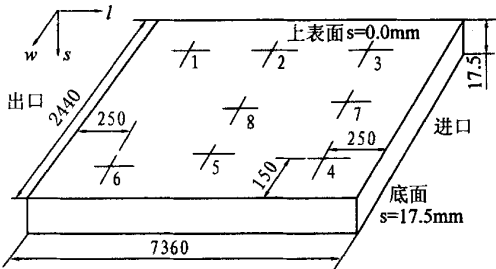


图 1 测点位置

Fig. 1 Position of measured points

1.3 板材后期的热处理

工艺流程 板坯热压→毛板冷却→热处理→裁边→砂光→检验→打包入库

工艺条件 将热压后的毛板冷却至中心层温度 100 ℃ 时放入温度为 80 ℃ 的热处理箱,30 min 后取出陈放 24 h。参照 GB/T 4897-92 检测其内结合强度。

2 试验结果与讨论

2.1 板材内部温度测试

由于在实际制板过程中,测量点常被不同尺寸的刨花改变位置,故根据实际位置将刨花板分为七层,不同厚度层的热压温度-时间曲线如图 2 所示。

从板坯升温速度看,压板中部刨花板板坯温度升高最快,进口处次之,出口处最慢。芯层温度一直处于上升,而其它层在 160 s 左右温度开始下降;中心层在一段时间稳定在 105 ℃ 左右,(见图 3),显然这是板坯内部含水率梯度造成。中心部位的蒸汽压力在此阶段比较稳定,在实际生产中可视为常数^[6]。随着时

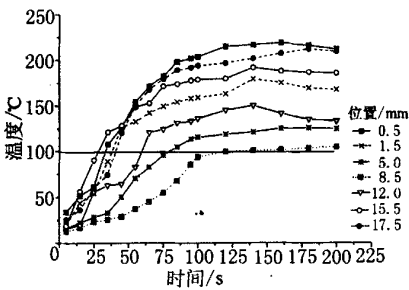


图 2 刨花板各层的平均温度

Fig. 2 Temperature in various layers

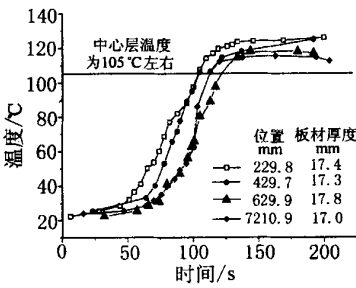


图 3 板坯芯层温度变化

Fig. 3 Temperature in panel core

间无限延长或者板坯含水率低于 5% 时,中心温度还会上升,不过在实际生产中不会这样做。

2.2 热压后板材内部温度变化

压机卸板时,板材表层开始降温,芯层则在短时间内,由于内部水分迅速向表层转移而出现温度上升(见图 4)。卸压后板材内部温度变化与环境温度(车间温度、风速等)、板的密度、含水率及施胶量、热压板温度以及卸板时板材中心温度等有关,可由公式(1)计算^[5]:

$$T = T_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{8(T_s - T_a)}{\pi n} \left[\frac{2(-1)^n}{(\pi n)^2} - \frac{2}{(\pi n)^2} - 1 \right] + \frac{8(T_s - T_a)(-1)^n}{\pi n} + \frac{2(T_s - T_0)[1 - (-1)^n]}{\pi n} \right\} \times \exp \left[-(n\pi/l)^2 \times kt \right] \sin \frac{n\pi x}{l} \dots\dots\dots (1)$$

其中:k—板材离开压机后的平均热扩散系数,k=

$$k_v \times k_{MC} \times k_G \times k_D;$$

$$k_v \text{—风速影响系数, } k_v = (-0.01v^2 + 0.68v + 2.5) \times 10^{-8}, v \text{ 工作环境风速}(0 \sim 15 \text{ m/s});$$

$$k_{MC} \text{—板坯含水率影响系数, } k_{MC} = 0.463 + 0.058 MC, MC \text{ 为板坯含水率}(8\% \sim 15\%);$$

$$k_G \text{—胶粘剂影响系数, } k_G = 1.02 - 0.06G + 0.005 G^2, G \text{ 为施胶量}(6\% \sim 15\%);$$

$$k_D \text{—密度影响系数, } k_D = 4.28 - 7.95D + 4.63$$

D^2 , D 为板密度(0.6~0.8 g/cm³)。
 T_0 —工作环境温度,℃;
 T_1 —热板温度,℃;
 T_Δ —卸板时板材中心层温度(通常为 103~107℃);
 l —板厚,m;
 x —从板面到需知的距离,m;
 t —冷却时间,s。

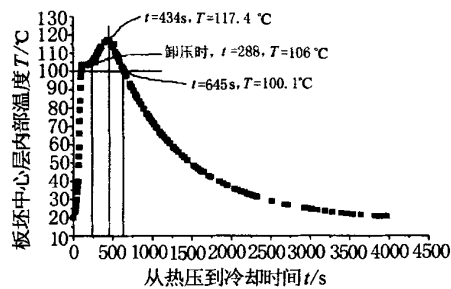


图 4 从热压到冷却阶段板坯中心温度变化
Fig. 4 Temperature in panel center
from hot pressing to cooling

值可达 0.92 MPa,比未热处理板增加 40%左右;同时强度的均匀性也较好,标准差仅为 0.00167。其原因是:热压卸板后,由于温度梯度和含水率梯度导致板内大量水分排除,再利用板内余热和外界恒温条件使板内胶粘剂进一步固化,板的强度得以有效增加,从而克服了长时间自然冷却的缺陷。因为在胶粘剂固化过程中,板内残余应力释放以及水分分布不均匀和外界水分侵入,致使板内尚未固化完全的部分丧失进一步固化的机会。从试验数据看,热处理增加强度的效果明显,但刨花板中心部位能否在冷却到规定的温度后,直接采用无外界热源场的方式,完全利用板内的热量,进行板材热堆放达到提高强度的目的,还有待进一步试验。

表 1 刨花板冷却时间

Tab. 1 Cooling schedule of particleboard									
环境温度	板厚	冷却时间/min			环境温度	板厚	冷却时间/min		
℃	mm	A	B	C	℃	mm	A	B	C
5	6	1	1.2	1.3	20	6	1.5	1.5	1.8
	10	2.5	3.3	3.6		10	3.5	4	4.5
	16	7.2	8	8.5		16	8	9	10
	19	10	11.5	12.5		19	11	13	14
15	6	1.2	1.3	1.5	30	6	1.3	1.5	2
	10	3	3.5	4		10	3	4	5
	16	7.5	8.3	9		16	7.2	8	8.5
	19	10.5	12	13		19	12.5	13.5	14.5

注:板密度 0.65 g/cm³,施胶量 12%;热压后板坯室内自然通风冷却。
A、B、C 分别表示热压温度为 170、190、210℃时板材的冷却时间。

为了方便使用,表 1 列出不同环境温度条件时的刨花板的经验冷却时间。

2.3 热处理工艺与板材内结合强度

从表 2、3 结果看,热处理为板内胶粘剂后期固化创造了良好的条件,板材的内结合强度提高显著。在固化剂用量为 1%、对板坯进行热处理的条件下,IB

表 2 后期处理与否与刨花板的内结合强度

Tab. 2 Internal bonding strength of panels with or without postcuring									
处理方式	固化剂用量/%	IB/ MPa						$\overline{IB}$ / MPa	标准差/MPa
未处理	0	0.46	0.34	0.332	0.392	0.44	0.38	0.39	0.0026
未处理	1	0.532	0.44	0.616	0.604	0.836	0.764	0.63	0.021
热处理	0	0.76	0.62	0.72	0.71	0.68	0.50	0.66	0.0087
热处理	1	0.99	0.89	0.91	0.88	0.95	0.92	0.92	0.00167

表 3 后期处理方式与固化剂用量的方差分析

Tab. 3 Variance analysis with hardener amount and postcuring method						
差异源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.05}$	判断
热处理	0.479968	1	0.479968	55.74781	4.35125	$F >> F_\alpha$ 非常显著
固化剂	0.3745	1	0.3745	43.49781	4.35125	$F >> F_\alpha$ 非常显著
交互	0.000433	1	0.000433	0.050351	4.35125	$F < F_\alpha$ 不显著
误差	0.172193	20	0.00861			

3 结论

1)刨花板热压过程中,板坯内沿板的厚度方向存在较大的温度梯度,在实际生产条件下,热压板温度改变(170~210℃),变化的仅仅是温度梯度的斜率,而板坯中心部位温度变化不大,一般在 105℃左右。

2)后期热处理能有效提高刨花板的内结合强度,改善强度均匀性,尤其是采用较低摩尔比、固体含量略低的脲醛树脂胶制造刨花板时。

3)固化剂用量在正常范围内,热处理不会降低板材的内结合强度。

(下转第 28 页)

是均匀的、正交各向异性的、在某一给定方向的材性一定,计算了正交各向异性板材在遥远处受拉应力和剪应力作用下,裂纹尖端附近的应力场和位移场,公式(3)为拉应力作用下的裂纹张开位移。

$$v = K_I \frac{r}{2\pi Re} \left[\frac{1}{\mu_1 - \mu_2} (\mu_1 q_2 \cos\theta + \mu_2 \sin\theta - \mu_2 q_1 \cos\theta + \mu_1 \sin\theta) \right] \dots\dots\dots (3)$$

其中: v 是张开位移, K_I 是I-型应力强度因子; Re 是求实数值, μ 是下式的复根

$$B_{11}\mu^4 + (2B_{12} + B_{66})\mu^2 + B_{22} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

对于木材 T_L 模式,

$$B_{11} = (1/E_L) - (\nu_{RL}^2/E_R)$$

$$B_{22} = (1/E_T) - (\nu_{RT}^2/E_R)$$

$$B_{12} = -[(\nu_{TL}/E_T) + (\nu_{RL} \cdot \nu_{RT}/E_R)]$$

$$B_{66} = 1/G_{LT}$$

其中: E, ν, G 分别表示杨氏模量,泊松比,剪切弹性模量。

无论是各向同性材料,还是正交各向异性材料,处于自动平衡力系下,其应力强度因子都与遥远处施加的应力和裂纹几何形状有关^[11]。对于具有边缘裂纹且受张应力作用的试样,其强度因子 K_I 为:

$$K_I = F \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (5)$$

其中: F 是几何相关因子^[14],与裂纹长度 a ,试样宽度 W 有关。

$$F = 1.12 - 0.234(a/W) + 10.55(a/W)^2 - 21.72(a/W)^3 + 30.39(a/W)^4 \dots\dots\dots (6)$$

公式(6)是针对各向同性材料,从有限元或边界元法推导出来的,普遍适用于木材。但由于木材早晚材、沿树干高度、横切面射线方向密度不同^[14],其断裂韧度变化很大,而且板材在某一点的杨氏模量也随密度和纹理角度变化。因此,在应用理论公式时,应在考虑木材组织结构特征的基础上,将实验结果与理论公式进行比较。

数字相关测量技术是用来测量材料表面位移场

(上接第21页)

4) 不加固化剂的刨花板通过热处理可大大提高板材的内结合强度。

5) 刨花板后期热处理宜在板坯中心温度 100℃ 时进行,热处理工艺以温度 80℃,时间 30 min 左右为宜。

参考文献:

- [1] Pizzi A. Aminoplastic Wood Adhesives, Chapter 2. in Wood Adhesives Chemistry and Technology[M]. Marcel Dekker, New York, 1983.

的一个有效的工具,该测量技术可获得木材受张应力作用下,裂纹尖端附近的全场位移,结合正交各向异性理论分析、解释木材纹理与密度对应力强度因子的影响。

木材断裂行为研究的构想可重点考虑以下几个方面:

- 1) 用数字相关测量技术结合正交各向异性理论确定木材 TL, RL 模式受拉应力作用下的应力强度因子;
- 2) 推导出 K_I 的几何相关因子;
- 3) 建立弹性模量与密度、纹理角度的独立关系;
- 4) 建立断裂韧度与木材密度、纹理角度的数学模型。

参考文献:

- [1] 李庆芬. 断裂力学及其工程应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1997.
- [2] David W Green, et al. Mechanical Properties of Wood. Wood Handbook-Wood as an Engineering Material[M]. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., Madison, WI, 1999, 463.
- [3] 高庆. 工程断裂力学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1986.
- [4] Griffith A A. The Phenomenon of Fracture and Flow in Solids [M]. London Phil. Trans. Roy. Soc., 1920, A221, 163 ~ 190.
- [5] Orowan E. Fracture and Strength of Solids[M]. Physical Soc. Lond., 1949, 12, 185 ~ 232.
- [6] 洪起超. 工程断裂力学基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987.
- [7] Irwin G R. Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Transversing a Plate[J]. Journal of Applied Mechanics, 1957, 24(4), 361 ~ 384.
- [8] 姚学锋. 动态断裂力学中若干重要问题的实验研究[D]. 北京大学博士学位论文, 1996.
- [9] Atack W, et al. The Energy of Tensile and Cleavage Fracture of Black Spruce[J]. Tappi, 1961, 44(8): 555 ~ 567.
- [10] Porter A W. On the Mechanics of Fracture in Wood[J]. Forest Products Journal, 1964, 14(8): 325 ~ 331.
- [11] Sih G C, Paris P C, Irwin G R. On Cracks in Rectilinearly Anisotropic Bodies[J]. International Journal of Fracture Mechanics 1, 1965, 189 ~ 203.
- [12] Westergaard H M. Bearing Pressure and Cracks[J]. Journal of Applied Mechanics, 1939, (6), 49.
- [13] Triboulet P, Jodin P, Pluinage G. Validity of Fracture Mechanics Concepts Applied to Wood by Finite Element Calculation[J]. Wood Science and Technology, 1984, 8, 51 ~ 58.
- [14] 李坚, 等. 木材科学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994.

- [2] Meyer B. Urea-formaldehyde Resins [M]. Addison-Wesley, Reading, Massachussets. 1979.
- [3] Lu X N, Pizzi A. Curing Conditions Effects on the Characters of Thermosetting Adhesives-bonded Wood Joints Part 1[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1998, 56(5): 339 ~ 346.
- [4] Lu X N, Pizzi A. Hot Postcuring Improvement of UF Particle-boards and its Temperature Fore-casting Model[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1998, 56(6): 393 ~ 401.
- [5] 徐长妍. 喷蒸-真空热压酚醛树脂杨木大片刨花板[D]. 南京林业大学研究生博士学位论文, 2000.
- [6] Humphrey P E, Bolton A J. The Hot Pressing of Dry-formed Wood Based Composites. Part 2: A Simulation Model for Heat and Moisture Transfer and Typical Results[J]. Holzforsch., 1989, 43(3): 199 ~ 206.