

板坯密度对软木板热压过程中传热的影响

晏文亮,邱增处*

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:采用先进的温度在线测试方法,在不施加胶黏剂的情况下,研究热压板坯的密度对软木板热压过程中传热的影响。结果表明,软木板热压过程中芯层温度变化曲线可分为4段,即温度几乎不上升的短暂恒温段、水分汽化前的快速升温段、水分汽化时的恒温段、水分汽化后的慢速升温段;随着板材密度的增加恒温段持续时间延长;快速升温段表芯层中心点的温度随着密度的增加,升温速度变慢但程度不同;随着密度的增加板材芯层汽化温度升高,汽化段时间延长;芯层中心点达到100℃的时间也随密度的增加而增加。

关键词:软木板;热压;密度;传热

中图分类号:S781.31 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)05-0212-05

Effects of Density on the Heat Transfer of Corkboard during Hot-pressing

YAN Wen-liang, QIU Zeng-chu*

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Effects of density on the heat transfer of adhesive-free corkboard during hot-pressing were examined by the advanced method of online temperature measurement. Results showed the changes of temperature in the central layer were divided into 4 stages: the short constant temperature stage, in which the temperature was constant or increased very slowly; the fast temperature rising stage, in which the moisture in the mat was not vaporizing; the constant temperature stage, in which the moisture vaporized, and the slow temperature rising stage, in which the moisture vaporizing process was near to the end. Along with the increase of density, the constant temperature period extended. The temperature-increasing rate of the central location temperature of surface and central layers of corkboard mat decrease coupling with the density increases, but the extents are different. Along with the increase of density the core layer vaporization temperature became higher, vaporization period of time extended. And the time of the central location reaching 100℃ is enlarging with the higher density.

Key words: corkboard; hot-pressing; density; heat transfer

热压是人造板生产过程中的关键工序。在人造板生产过程中,热压不仅直接影响热固性树脂胶的固化速度和程度,影响产品密度、胶合强度等物理力学性能,而且决定着设备生产能力及生产能耗^[1]。密度是影响热压过程中传热的因素之一,从传热学的观点来看,任何物质的加热时间都与容重有关^[2],由于板材密度不同,板材的传热系数和对水的渗透

性也有所不同。人造板(特别是刨花板)热压过程中其内部温度变化的研究,国外学者大都是在一些假设条件成立的基础上,通过理论分析建立模型来描述热压过程中热湿迁移机理和实时变化、板坯垂直密度分布等,只有 Stickler, Kamke and Casey 等人通过试验研究了刨花板热压过程中板坯的温度和含水率变化规律^[3-6]。国内仅少数学者对刨花板热压

收稿日期:2011-11-28 修回日期:2011-12-19

基金项目:西北农林科技大学校长基金“无胶后湿法纤维板胶合机理的研究”(A213020801)。

作者简介:晏文亮,男,在读硕士,主要研究方向:木材科学与技术。E-mail:maomao7652@163.com

* 通讯作者:邱增处,男,副教授,主要研究方向:木材科学与技术。E-mail:qzengchu@163.com

过程中刨花板的目标密度、厚度、热压温度、热压前板坯含水率、喷水量等因素对热压传热的影响进行过研究^[7-9]。但对于软木板热压过程中传热传质机理的研究目前研究尚少。

软木,也称栓皮,有“软黄金”之称。它具有良好的弹性和减震功能,还具有优良的吸音、隔热、防腐、耐腐蚀、防潮、耐磨、防火等性能。目前,全世界对软木资源的开发利用给予了高度重视,软木主要用来制作瓶塞、装饰材料、工艺品、软木地板等^[10-11]。据海关和陕西省统计年鉴,2002—2006 年,陕西省软木及制品销售年增长率为 28%,出口累计销售额增长为 79%,我国从软木地板进口国一跃成为软木地板出口国。大多数软木产品的加工生产需要经过热压工序。本试验采用先进的温度在线测试手段,首次研究了在未施加胶粘剂的情况下,板坯密度对软木板热压过程中板坯厚度方向上表层、芯层中心点温度的影响,试验结果确切地反映出软木板生产的实际情况,能更加深入地了解密度对软木板热压过程中传热传质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

软木颗粒:由陕西万林软木有限公司提供栓皮栎(*Quercus variabilis*)软木颗粒,颗粒大小 4~8 目。

1.2 试验仪器与设备

热压机:咸阳威迪机电科技有限公司 DXL-1500KN 型,压板尺寸 500 mm×500 mm。

热电偶:K 型热电偶,可以在线直接测量各种生产中从 0℃ 到 1 300℃ 范围的液体蒸汽和气体介质以及固体的表面温度。

数据采集系统:北京阿尔泰科技公司 DAM-3039,用于采集各种热电偶传感器信号,通讯协议采用 mudbus 协议,可以将从热电阻里采集的数据直接转化成温度值,通讯输出稳定度为 0.5℃。

1.3 试验方法

1.3.1 热电偶的布置 热电偶分别布置在表层和芯层的中心 2 个位置,表层即距离板坯上表面 1/6

处,芯层指板坯厚度 1/2 处。在放置热电偶的平面上铺放金属纱网以固定热电偶,纱网对软木板板坯内部传热的影响忽略不计。

1.3.2 板坯制作 板坯采用手工铺装,软木板为单层,用自制模框控制其幅面大小,模框幅面尺寸为 350 mm×350 mm,软木板的厚度用厚度规(16 mm)控制。板坯上、下表面均放置 1 mm 厚的不锈钢垫板。为了方便热电偶的布置,在模框的一个侧面开有 5 mm 宽的锯口。铺装时根据称量相应质量的软木进行分层铺装,以此来确保表芯层位置的准确性。

1.3.3 板坯温度测定方法 试验采用 K 型热电偶对板坯内部温度进行测量。热电偶与 DAM-3039 模块(8 路数据采集系统)相连接,从而实现对试验数据的自动采集。当压机闭合上垫板接触到厚度规时开始采集数据,热压结束压板张开时结束采集,数据采集间隔 10 s,采集时间为 20 min(图 1)。

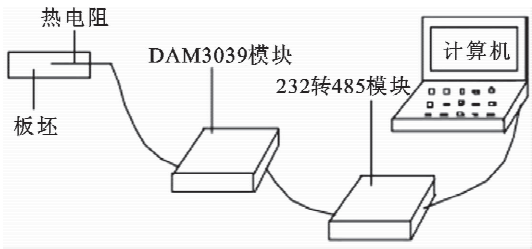


图 1 温度检测系统示意图

Fig. 1 Sketch map for temperature measure system

1.3.4 试验方案 试验中采用不加胶粘剂的软木,这是由于胶粘剂对部分人造板(如刨花板)热压传热的影响可以忽略不计^[12-15];而且采用不施加胶黏剂热压的软木碎料板材具有自粘性能,其板材抗拉性能和耐盐酸性能优越,可达到 ISO3810 中标准要求^[16-18];另外胶粘剂的种类以及施胶量的不同,对板坯传热造成的影响不同,情况比较复杂。试验设计方案如表 1,每个试验重复 2 次,结果取其平均值。

将板坯放入试验热压机(加热垫板的表面尺寸 500 mm×500 mm)中进行热压,采用 3 段降压曲线(图 2)。其中升压时间 t1 为 3 min,热压时间 t2、t4、t6 分别为 6、4、4 min,卸压 t3、t5、t7 为 1 min。

表 1 试验方案

Table 1 Experimental scheme

试验序号	板坯厚度	板坯初含水率	目标密度	热压温度	所需软木 质量/g	加水质量 /g
	/mm A	/ % B	/(g·cm ⁻³) C	/℃ D		
1	16	12	0.40	180	784	19.9
2	16	12	0.45	180	882	22.4
3	16	12	0.50	180	980	24.9
4	16	12	0.55	180	1078	27.4
5	16	12	0.60	180	1176	29.9

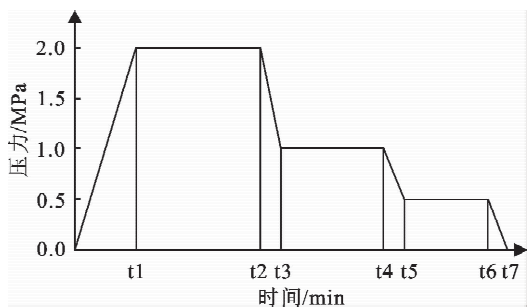


图2 热压工艺曲线
Fig. 2 Hot-pressing cycle curve

2 结果与分析

2.1 密度对软木板热压过程中芯层中心点温度的影响

从图3可以看出，软木板热压过程中芯层温度变化分4段，即：温度几乎不上升的短暂恒温段；水分汽化前的快速升温段；水分汽化时的恒温段；水分汽化后的慢速升温段。这些与密度对刨花板的传热规律影响基本一致，只是软木板材的传热速度较慢，各段持续的时间较长，这是因为软木板坯渗透性差，导热系数小。

2.1.1 温度几乎不上升的短暂恒温段 在此段随着板坯密度的增加，短暂恒温段的时间延长。这是因为热量从压板传给板坯表层，当温度达到汽化温度时产生向芯层移动的水蒸汽，当水蒸汽到达芯层时，芯层温度才开始迅速上升进入快速升温段，但在进入快速升温段以前只有很少量的水蒸汽进入板坯的芯层，从而芯层的温度几乎不上升。从图2可以看出，随着板坯密度的增加，短暂恒温段持续时间延长，也说明了随着密度的增加，表层水蒸汽向芯层移动越困难，速度越慢。

2.1.2 快速升温段 在此段随着密度的增加，板坯升温速度变慢。首先，这是因为随着密度的增加板坯含水量增加，因而蒸发这些水需要的热量就多，延缓了升温速度。其次，在软木热压过程中热量的传递有对流和热传导2种方式，且以对流传热为主。随着密度的增加，软木颗粒间的间隙变小水分移动受阻，渗透性降低，从而不利于携带热量的表层水蒸汽向芯层移动，延缓了传热过程。

2.1.3 水分汽化时的恒温段 在此段明显可以看出随着密度的增加水分汽化时的温度上升，而且汽化时间也随着密度的增加而延长。这是因为，密度增加水分向板坯边缘移动就越缓慢，产生很高的水蒸汽压力导致芯层的温度升高。另外，随着板坯密度的增加，板坯的总含水量增多，蒸发大量的水分需要更多的时间，延长了汽化的时间。

2.1.4 水分汽化后的慢速升温段 在此段可以看出随着密度的增加板坯的升温速度变慢。这是因为经过水分汽化段之后含水率降低了很多，板坯中剩余水分很少，此时的传热主要依靠热传导方式进行，而随着密度的增加，板坯的导热系数下降，且随着板坯密度的增加板坯的渗透性下降，从而使得板坯的升温速度变慢。

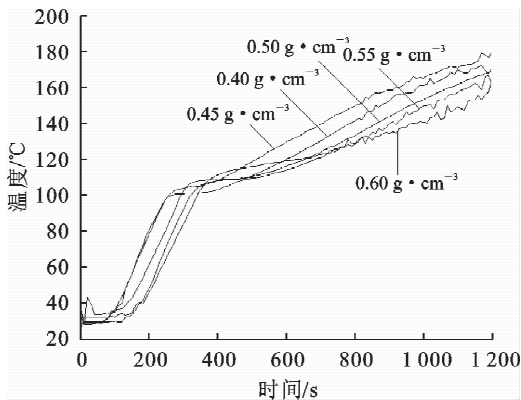


图3 不同密度软木板板坯芯层中心点的温度曲线
Fig. 3 Curves of the central layers middle point temperature under different densities of panels

2.2 密度对软木板热压过程中芯层中心点温度达到100℃所需时间的影响

在实际生产中，通常将板坯芯层升温到100℃的时间以及在100℃时胶粘剂的固化时间作为制定热压工艺的重要依据，因此板坯芯层达到100℃的时间对软木板生产中热压周期的长短起决定性的作用。图4为不同密度的软木板热压过程中密度和芯层中心点温度达到100℃的时间关系图，热压时芯层温度达到100℃的时间 $y(s)$ 与密度 $x(g \cdot cm^{-3})$ 的线性回归方程为 $y=396x+101.6$ 。

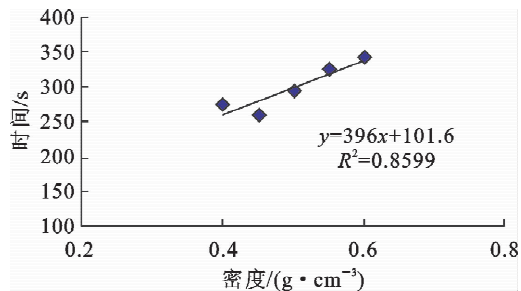


图4 板坯芯层中心点温度达到100℃的时间与密度的关系
Fig. 4 Relationship between time of reaching 100℃ in central layer middle point of corkboard mat and the density of panel

2.3 密度对软木板热压过程中表层中心点温度的影响

从图5可以看出，在板坯热压过程中，其表层的温度曲线与芯层不同，开始时的短暂恒温段不存在，也没有水分汽化时的恒温段(密度 $<0.50 g \cdot cm^{-3}$

时),只有快速升温段和慢速升温段。这是因为表层(距热压板 1/6 处)薄,软木颗粒含量小,热压板的热量很快到达表层,特别是当密度小的时候,在压机闭合前其表层的温度可能已经开始上升,因此没有出现开始时短暂的恒温段。当板坯表层到达汽化温度时,表层水分汽化的水蒸汽不断向温度较低的芯层移动。密度 $<0.50\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的板材,表层因软木量少,所含水分少,到达汽化温度时水分很快被蒸发完,因此不会出现水分汽化的恒温段。密度 $>0.50\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,由于密度较大,软木含量和表层的含水量增加,且软木的渗透性差^[19],到达汽化温度时水分不能很快被蒸发完,从而出现水分汽化的恒温段,这一点与密度对刨花板表层传入的影响有所不同。

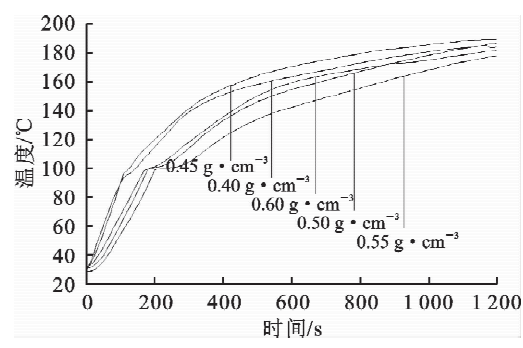


图 5 不同密度软木板板坯表层的温度曲线
Fig. 5 Curves of the facial layer's temperature under different densities of panels

板坯表层快速升温段的升温速度与芯层一样,随着密度的增大升温速度相对减慢。其原因是密度大的板坯表层软木量较密度小的板坯多,因此板坯的渗透性小而传热慢,另外软木多,含水总量大,蒸发水分所需要的热量也就多。到了慢速升温段,表层水分基本被汽化完,从热压板传到表层的热量主要靠热传导的方式进行传热^[20],密度大的板坯,表层刨花接触紧、密度大,相对加快了热传导。

3 结论与讨论

软木板热压过程中芯层温度变化分为 4 段,即:温度几乎不上升的短暂恒温段;水分汽化前的快速升温段;水分汽化时的恒温段;水分汽化后的慢速升温段。随着板材密度的增加,短暂恒温段持续时间增加。快速升温段的升温速度随着密度的增加而变慢,板材芯层温度达到 100°C 的时间随着密度的增加而延长。水分汽化时的恒温段,汽化温度随着密度的增加而上升,而且汽化时间也随着密度的增加而延长。慢速升温段,随着密度的增加板材升温速度变慢。

软木板热压过程中表层温度变化主要分为快速升温段和慢速升温段。快速升温段随着密度的增

加,板材的升温速度变慢;慢速升温段,随着密度的增加,板材的升温速度加快。

随着密度的增加,软木板芯层达到 100°C 的时间延长,芯层中心点温度达到 100°C 的时间几乎随密度的增加呈线性增加的关系,不利于板材的传热。

综上所述,板材密度越大,在热压过程中密度对其内部的传热影响越大;密度越大,板坯内部的传热速度减小。因此,为了提高软木板的生产效率和设备的生产能力,降低生产能耗,除了要考虑板坯厚度、热压温度、热压压力等因素外,还要考虑板坯密度对其的影响。

参考文献:

- [1] 华毓坤. 人造板工艺学[M]. 中国林业出版社, 2002.
- [2] 祝君, 赵立. 碎料板生产技术问答[M]. 北京: 林业部林产工业设计研究院, 1981.
- [3] BOLTON A J, HUMPHREY P E. The hot-pressing of dry-formed wood-based composite. part I a review of the literature, identifying the primary physical process and the nature of their interaction[J]. Holzforshung, 1988, 42(6): 403-406.
- [4] HARLESS T E, WAGNER F G. A model to predict the density profile of particle board[J]. Wood and Fiber Science, 1987, 19(1): 81-92.
- [5] BALSZS G, ZOMBORI, FREDERIEK A, et al. Simulation of the internal condition during the hot-pressing process [J]. Wood and Fiber Science, 2003, 35(1): 2-23.
- [6] STICKLER. Effect of press cycles and moisture content of douglas-fir flakeboard[J]. Forest Products Journal, 1959, 9(7): 203-215.
- [7] 雷亚芳. 刨花板热压过程中传热特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
LEI Y F. Study on the heat-transfer properties of flakeboard during hot-pressing [D]. Beijing Forestry University, 2005. (in Chinese)
- [8] 刘正添, 王洁英, 于辉. 影响刨花板热压传热过程因素的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(2): 64-72.
LIU Z T, WANG J Y, YU H. Study on factors influencing the heat-transfer process in hot-pressing of wood particleboard [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(2): 64-72. (in Chinese)
- [9] 吴娟. 大片刨花板热压过程中板坯内部环境变化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
WU J. A study on internal-mat conditions during hot-pressing process of flake board [D]. Beijing Forestry University, 2005. (in Chinese)
- [10] 郑志峰. 软木资源及其利用[J]. 云南林业, 2005, 26(3): 23.
- [11] 赵戈, 段新芳, 官恬, 等. 世界软木加工利用现状和我国软木工业发展对策[J]. 世界林业研究, 2004, 17(5): 25-28.
ZHAO G, DUAN X F, GUAN T, et al. Situation of cork utilization in the World and the development countermeasure of the China's cork industry [J]. World Forestry Research, 2004, 17(5): 25-28. (in Chinese)

[12] 陈天全. 大片刨花板热压过程中温度、气压和含水率变化规律研究[D]. 北京:北京林业大学, 2005.
CHEN T Q. Study on variation law of temperature, air pressure and moisture content of flake board during hot-pressing [D]. Beijing Forestry University, 2005. (in Chinese)

[13] 谢力生, 赵仁杰, 张齐生. 胶粘剂对纤维板热压传热的影响[J]. 木材工业, 2003(2): 15-16.
XIE L S, ZHAO R J, ZHANG Q S. The influence of adhesive on heat-conduction during fiberboard hot-pressing [J]. China Wood Industry, 2003 (2): 15-16. (in Chinese)

[14] 谢力生, 赵仁杰, 张齐生. 常规热压干法纤维板热压传热的研究(Ⅲ):干法纤维板热压传热的实用数学模型[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(1): 60-63.
XIE L S, ZHAO R J, ZHANG Q S. Study of heat-conduction of dry-process fiberboard by conventional hot-pressing methods(Ⅲ): Practical mathematic model of heat-conduction of dry-process fiberboard by hot-pressing methods[J]. Journal of Central South Forestry University, 2004, 24 (1): 60-63. (in Chinese)

[15] 谢力生, 赵仁杰, 张齐生. 常规热压干法纤维板热压传热的研究(Ⅱ):无胶纤维板热压传热的实用数学模型[J]. 中南林学院学报, 2003, 23(2): 65-70.
XIE L S, ZHAO R J, ZHANG Q S. Study of heat-conduction of dry-processed fiberboard by conventional hot-pressing methods: Ⅱ. Practical mathematical model of fiberboard heat-conduction by hot-pressing methods without adhesive [J]. Journal of Central South Forestry University, 2003, 23 (2): 65-70. (in Chinese)

[16] 任博文. 三种非木质材料制备无胶碎料板的加工工艺[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2010.
REN B W. The process of using three kinds of non-wood material producing self-bonding particle board[D]. Yangling: Northwest Forestry University, 2010. (in Chinese)

[17] 刘艳贞, 雷亚芳, 周伟, 等. 欧洲栓皮栎软木构造与物理性质研究进展[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 144-147.
LIU Y Z, LEI Y F, ZHOU W, *et al.* Research and development of the structure and physical properties of cork from *Quercus suber* L. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(6): 144-147. (in Chinese)

[18] 任博文, 邱增处, 雷亚芳, 等. 无胶稻草碎料板试验研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 163-166.
REN B W, QIU Z C, LEI Y F, *et al.* Preliminary study on self-bonding rice straw particle board[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(2): 163-166. (in Chinese)

[19] 张丽丛. 软木及其产品天然防腐性的研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2010.
ZHANG L C. The research about natural decay resistance of the cork and products [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)

[20] 雷亚芳, 樊红琴. 密度对刨花板热压过程中温度场的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(8): 155-160.
LEI Y F, FAN H Q. The effect of density on the temperature distribution of particleboard during hot-pressing [J]. Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For.: Nat. Sci. Ed., 2006, 34(8): 155-160. (in Chinese)

(上接第 31 页)

[16] 孙尚华, 刘建军, 康博文, 等. 综合治理下小流域景观格局变化的研究—以千阳县冉家沟为例[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 62-65.
SUN S H, LIU J J, KANG B W, *et al.* Analysis on landscape pattern and differentiation in small watershed—a case study of ranjiagou watershed in Qianyang County[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23 (3): 62-65. (in Chinese)

[17] WICKHAM J D, NORTON D J. Mapping and analyzing landscape patterns[J]. Landscape Ecology, 1994, 9(1): 7-23.

[18] 王娟, 马履一, 王新杰, 等. 北京城区公园绿地景观格局研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 195-199.
WANG J, MA L Y, WANG X J, *et al.* Landscape pattern of green land in Urban Parks in the city proper of Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 195-199. (in Chinese)