

棉秆重组材热压传热的研究

宋孝周

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**研究板坯含水率、目标密度、热压温度及板材厚度 4 个因素对棉秆重组材板坯中心层升温的影响,为制定棉秆重组材的热压工艺提供参考。**【方法】**采用先进的温度在线测量手段,测定棉秆重组材热压过程中板坯中心层的温度,分析板坯含水率、目标密度、热压温度及板材厚度与棉秆重组材板坯中心层升温速度的关系。**【结果】**棉秆重组材板坯热压时中心层温度的变化曲线可分为 3 个阶段,即水分开始气化前的快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。在快速升温段,板坯中心层的升温速度随着板坯含水率、热压温度的增加而加快,随着目标密度、板材厚度的增加而减小;在水分气化时的恒温段,随着板坯含水率、目标密度、板材厚度的增大,气化段的时间延长,热压温度越高,气化段时间越短;在慢速升温段,热压温度高,板坯升温速度快,板材厚度、目标密度大的板坯升温速度慢,板坯含水率对慢速升温段的升温速度几乎没有影响。**【结论】**在棉秆重组材板坯热压过程中,板坯含水率、热压温度、目标密度和板材厚度对板坯中心层升温速度均有不同程度的影响。

[关键词] 棉秆重组材;热压工艺;热压温度;板坯含水率

[中图分类号] TS612⁺.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)07-0213-05

Heat-conduction of reconsolidated cotton-stalks during the hot-pressing process

SONG Xiao-zhou

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

Abstract: **【Objective】** The study offered basic law of heat-conduction of reconsolidated cotton-stalks in order to make technological plan. **【Method】** The temperature of mat's central-layer was measured in the hot-pressing process. The relations between the rising velocity of temperature of mat's central-layer and moisture content of mats, density, hot-pressing temperature, thickness were analyzed. **【Result】** The results showed that in the fast-rising phase of temperature, the growth speed of temperature rose with the increase of moisture content of mats or hot-pressing temperature, and decreased with the increase of density or thickness of mats. The time of the constant temperature phase prolonged with the increase of moisture content, density or thickness of mats, and shortened with the temperature increase. During the slow-rising phase of temperature, the growth speed of temperature reduced with the increase of density or thickness of mats, and rose as the temperature increased. Moisture content of mats had little effect on the growth speed of temperature in the slow-rising phase. **【Conclusion】** The curves of temperature changing of mat's central-layer could be divided into three stages: the fast-rising phase of temperature, the constant temperature phase and the slow-rising phase of temperature. During the hot-pressing process of reconsolidated cotton-stalks, moisture content, hot-pressing temperature, density and thickness had effect on growth speed of temperature of mat's central-layer.

* [收稿日期] 2008-11-10

[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2005K-G9)

[作者简介] 宋孝周(1974—),男,陕西户县人,讲师,主要从事木质资源利用研究。

Key words: reconsolidated cotton-stalk; hot-pressing technology; hot-pressing temperature; moisture content of mat

棉秆是指去掉枝叶及棉桃的棉花茎秆,其木质化程度较高,纤维形态及其物理力学性能与木材最为接近,是比较理想的代木材料。棉秆重组材是在基本不破坏棉秆纵向强度的条件下,将棉秆碾压梳解成横向不断裂、纵向交错相连的帘片状的网状棉秆束,经干燥、施胶、组坯及热压等工序制成的重组材^[1]。棉秆重组材不同于棉秆刨花板和纤维板,其原料没有被破碎或加工成纤维,只是将原料解离到能重新组合为新产品所要求的适当程度即可,即不打乱纤维的排列方向,保留了材料的基本特性,因而较大程度的提高了板材强度性能,为合理高效利用棉秆资源,拓宽棉秆人造板品种提供了新途径。

热压工序是棉秆重组材成板的关键环节,在热压过程中,板坯内部的温度、压力、水分含量发生变化,胶粘剂逐渐固化,板坯变得密实。目前,对于人造板材热压工序的传热研究主要集中在刨花板和纤维板领域。国外学者通过试验或建立模型的方法,研究了刨花板热压过程中内部温度的变化与板的厚度和宽度、板坯含水率、热压温度等因素之间的关系^[2-7];在国内,刘应安^[8]、刘正添等^[9]、雷亚芳^[10]对刨花板热压过程的热传导问题进行了研究,谢力生等^[11]对干法纤维板热压过程中的传热进行了研究,杨庚等^[12]研究了亚麻屑碎料板密度对板芯层升温速度的影响。但是,对于棉秆重组材热压过程中传热规律的研究还少有报道^[7,13-15]。本研究采用先进的温度在线测量手段,测定棉秆重组材热压过程中板坯中心层的温度,研究板坯含水率、目标密度、热压温度及板材厚度 4 个因素对棉秆重组材板坯中心层升温的影响,以期优化棉秆重组材的热压工艺提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

棉秆:为西北农林科技大学试验田成熟收获后的陆地棉秆,手工去叶、壳和侧枝,试验时棉秆的含水率为 12.35%;脲醛树脂胶:固含量 50%,pH 值 7.5~8.0,粘度 24s(涂-4 杯,20℃),武功人造板厂生产;固化剂:氯化铵,天津市博迪化工有限公司。

1.2 仪器与设备

QD 型液压热压机:压板尺寸 500 mm×500 mm;喷雾式拌胶系统:自制,由空气压缩机、喷枪

(PQ-2 型)和料槽组成;DF82-2 型电热鼓风干燥箱:箱内容积 800 mm×800 mm×1 000 mm,温度范围 10~250℃,北京通县实验设备厂生产;棉秆梳解机:自制,通过带有沟槽的上下压辊将棉秆碾压梳解成棉秆束,两辊的间隙可调节;蒸煮罐:自制,用于原料软化处理;温度传感器:热电偶,长度 500 mm,补偿导线 3 m,直径 1.5 mm,E 分度,北京昆仑天辰仪表科技有限公司生产;PC-6310 模入接口卡:允许 32 路单端输入或 16 路双端输入,同时记录 8 个 E 型热电偶的温度数据;温控仪:可自动处理热电偶冷端温度,测量范围 0~300℃,北京昆仑天辰仪表科技有限公司生产;计算机:带 MS-DOS 及 Windows98 以上操作系统,具有 ISA 总线插槽。

1.3 方法

1.3.1 棉秆束的加工 将棉秆切割成 350 mm 长的小段,经软化处理后,用梳解机将棉秆进行 3~5 次碾压梳解形成棉秆束,然后放入烘箱内干燥,可根据不同的试验要求对其含水率进行相应处理。干燥好的棉秆束用塑料袋密封,1 周后用于传热试验。

1.3.2 板坯制作及试验方案 板坯采用手工制作,用喷雾式拌胶系统进行拌胶,用木模框控制其幅面大小,模框的内框尺寸为 350 mm×350 mm,一个侧面开有 3 条 5 mm 宽的锯口。板坯上、下表面放置 1.0 mm 厚的不锈钢垫板,垫板与板坯之间放置与板坯幅面同样大小的铁丝网,先称取 1/2 板坯质量的拌胶秸秆束,均匀定向铺装在下垫板上,将热电偶通过模框锯口固定在板坯中心层的中心位置,然后再铺装剩余的秸秆束并压密实,在上下铁丝网中心分别固定 1 根热电偶,以便观察板坯上下表面的温度。

试验中固定参数,即板坯幅面为 350 mm×350 mm,板坯为单层定向结构。每组试验重复 3 次。试验方案设计见表 1。

1.3.3 温度测量及数据处理 将 PC-6310 数据采集卡插在电脑主板插槽内,热电偶经数据传输板与数据采集卡相连,试验装置见图 1。预先对热电偶进行标定,利用 Basic 语言编写程序实现数据的自动采集,并完成从模拟量到数值量的转换。将板坯放置在与下压板相同高度的工作台上,当压板达到所需温度时,迅速将板坯推进压机并使压机快速闭合,当压机上板接触到垫板时开始计时并采集数据,

数据采集的时间间隔设定为 10 s,采集时间为 20 min。每次卸压时压板都下降到最低位置,试验结

束后将数据保存到计算机内,每组试验取平均值,然后用 Microsoft Excel 软件对数据进行分析、处理。

表 1 棉秆重组材板坯设计方案

Table 1 Design scheme of mat of reconsolidated cotton-stalks

序号 No.	板材厚度/mm Aimed thickness	目标密度/(g·cm ⁻³) Aimed density	板坯含水率/% Moisture content	施胶量/(g·kg ⁻¹) Resin content	热压温度/℃ Temperature
1	10	0.7	12	90	150
2	10	0.7	15	90	150
3	10	0.7	18	90	150
4	10	0.7	21	90	150
5	10	0.7	15	90	140
6	10	0.7	15	90	160
7	10	0.6	15	90	150
8	10	0.8	15	90	150
9	10	0.9	15	90	150
10	13	0.7	15	90	150
11	16	0.7	15	90	150

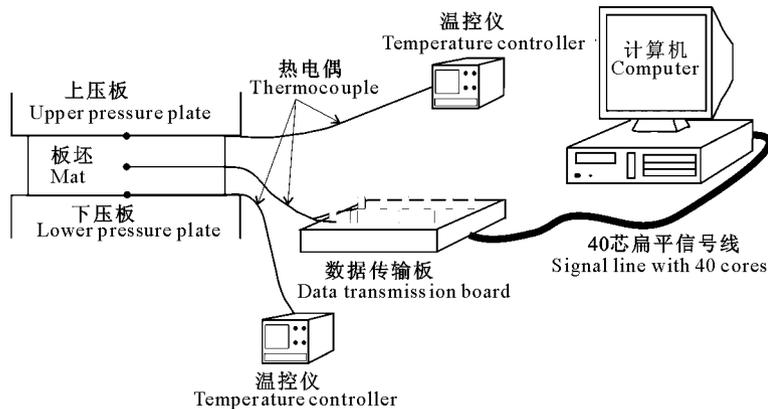


图 1 数据自动采集与处理系统

Fig. 1 Automatic data acquisition and processing system

2 结果与分析

2.1 板坯含水率对板坯中心层温度的影响

图 2 为板材厚度 10 mm,热压温度 150 ℃,施胶量 90 g/kg,目标密度 0.7 g/cm³ 条件下,板坯含水率在 12%,15%,18%和 21%时板坯中心层温度的变化曲线。由图 2 可见,不同板坯含水率条件下板坯中心层温度变化均可分为 3 个阶段,即快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。从图 2 可以看出,在快速升温段,随着板坯含水率的增加,板坯中心层的升温速度加快,原因在于,压机闭合后板坯表面棉秆束的部分水分大约在几秒中内突变为蒸气,表面空气的蒸气压力相应升高,产生从板坯表层到中心层的蒸气压力梯度,在蒸气压力梯度的作用下,蒸气流向较冷的中心区域;当板坯含水率越高时,产生的蒸气相对越多,水蒸气压力亦越高,蒸气流向板坯中心的速度快,使中心层温度快速上升。在水分气化时的恒温段,随着板坯含

水率的增大,气化段的时间延长,这是由于单位时间供给板坯的热量基本相同,板坯内部水分越多,水分气化的时间就越长,与此同时,板坯内部水分越多,水分气化所需的总能量增加,当单位时间内提供的热量有限时,蒸气压力会下降,导致相应的气化温度也降低,因此,含水率越大,气化温度相对较低。在慢速升温段,中心层的升温速度几乎相同,这是因为板坯内水分经气化之后,含水率已经很低,升温速度几乎不再受板坯含水率的影响,热量从表层传递到中心层主要靠棉秆束相互接触之间的热传导,所以升温速度几乎相同。

2.2 热压温度对板坯中心层温度的影响

图 3 为板材厚度 10 mm,板坯含水率 15%,施胶量 90 g/kg,目标密度 0.7 g/cm³ 条件下,热压温度为 140,150,160 ℃时板坯中心层的温度曲线。从图 3 可以看出,每条温度曲线可分为 3 个阶段,即快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。

在快速升温段,升温速度随着热压温度的升高而增大,原因在于热压温度越高,板坯表层和中心层形成的温度梯度越大,传热速度也越快。在水分气化时的恒温段,热量主要用来蒸发水分,中心层温度暂时不发生改变;热压温度高的板坯内部水分气化比较激烈,在其他条件相同的情况下形成的内部气压较高,相应的气化温度也就越高,此外,热压温度

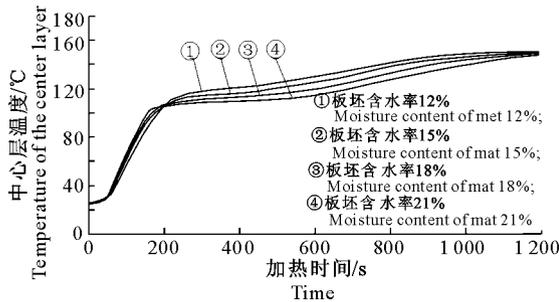


图 2 不同板坯含水率时板坯中心层的温度曲线

Fig. 2 The temperature curves of mat's central-layer under different moisture contents

2.3 目标密度对板坯中心层温度的影响

图 4 为板材厚度 10 mm,热压温度 150 °C,板坯含水率 15%,施胶量 90 g/kg 条件下,目标密度为 0.6~0.9 g/cm³ 时板坯中心层的温度曲线。从图 4 可以看出,每条温度曲线可分为 3 个阶段,即快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。

在快速升温段,板坯中心层的升温速度随目标密度的增加而减小。原因在于,一方面密度大的板坯含水总量越高,因而需要更多的热量来升温,致使升温速度减小;另一方面目标密度越大,渗透性降低,在热压初期不利于热量从表层传向心层,延缓了传热过程。此外,目标密度小的板坯热容量小,在单位时间供给热量一定的情况下,中心层升温较快。在水分气化时的恒温段,气化温度明显随着目标密

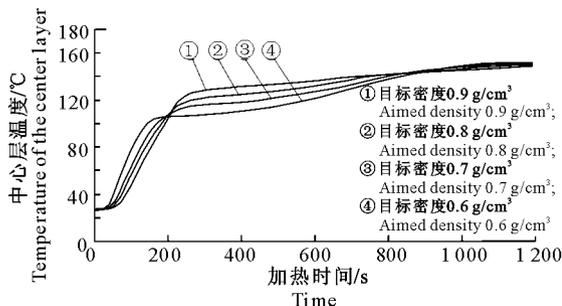


图 4 不同目标密度时板坯中心层的温度曲线

Fig. 4 The temperature curves of mat's central-layer under different densities

越高,单位时间内供给板坯的热量越多,水分气化快,气化段时间缩短。在慢速升温段,当中心层大部分水分已经气化后,热量主要通过传导的方式用于板坯温度的升高,由于热压温度高,单位时间供给热量多,升温速度相对较快,但由于温度梯度在减小,所以差异不是很大。

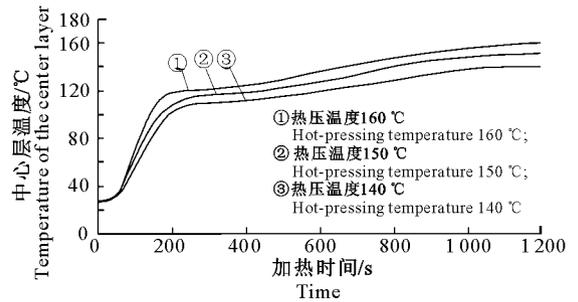


图 3 不同热压温度时板坯中心层的温度曲线

Fig. 3 The temperature curves of mat's central-layer under different hot-pressing temperatures

度的增大而升高,这是因为在其他条件一定的情况下,目标密度越大,即板坯压得越紧密,越不利于蒸气向板边流动,因而蒸气压上升,气化温度升高。同时,目标密度越大,水分气化时的阻力就越大,气化时间也随之延长。在慢速升温段,目标密度小的板坯升温速度快,这是因为在热压后期,热量主要用来使板坯升温,在单位时间供给热量一定的情况下,目标密度小的板坯棉秆束实质物质少,因而升温速度快。

2.4 板材厚度对板坯中心层温度的影响

图 5 为热压温度 150 °C,板坯含水率 15%,施胶量 90 g/kg,目标密度 0.7 g/cm³ 条件下,板材厚度为 10,13,16 mm 时板坯中心层的温度曲线。从图 5 可以看出,每条温度曲线也可分为 3 个阶段,即快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。

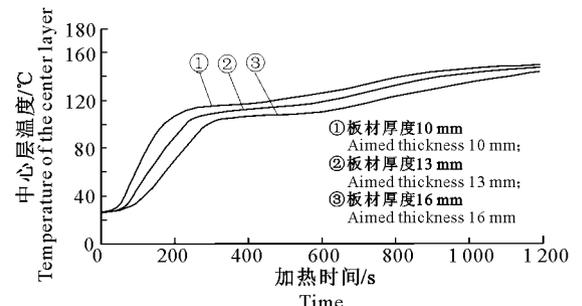


图 5 不同板材厚度时板坯中心层的温度曲线

Fig. 5 The temperature curves of mat's central-layer under different thicknesses

在快速升温段,板材厚度越大的板坯升温速度越慢,这是因为单位时间供给板坯的热量是一定的,板坯厚度大则热容量大,单位时间到达板坯中心层的热量就少。在水分气化时的恒温段,板材厚度大的板坯气化温度较低,气化时间长,这是因为在相同含水率条件下,板材厚度大的板坯含有的水分总量越多,水分气化所需的总能量也越多,气化时间长,当单位时间内能提供的热量有限时,蒸气压力下降,导致相应的气化温度降低;从板的断面密度分布来看,板坯越厚,其芯层的密度就越小,渗透性越好,说明水分气化受到的阻力就小,气化温度也较低。在慢速升温段,板材厚度大的板坯升温速度慢,这是因为在单位时间供给热量一定的条件下,板材厚度大的板坯,单位时间内到达板坯中心层的热量少,升温速度也较慢。

3 结 论

1) 棉秆重组材板坯热压时中心层温度上升曲线可以分为3个阶段,即水分开始气化前的快速升温段、水分气化时的恒温段和水分基本气化完的慢速升温段。

2) 棉秆重组材的板坯含水率、热压温度、板材密度和厚度对快速升温段的升温速度均有不同程度的影响。其中,板材厚度的影响最大,升温速度随板材厚度的增加而明显减小,其次分别是热压温度、目标密度和板坯含水率。

3) 含水率、热压温度、板材密度和厚度对棉秆重组材板坯内水分气化所需时间均有不同程度的影响。热压温度和含水率影响较大,其次是板材厚度和密度。

4) 棉秆重组材慢速升温段的升温速度受板材密度和厚度的影响较大,其次是热压温度,含水率对慢速升温段的升温速度几乎没有影响。

[参考文献]

[1] 宋孝周,陈 达,郭康权,等. 农作物秸秆重组材工艺分析与研究展望 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(5): 229-234.
Song X Z, Chen D, Guo K Q, et al. Technical analysis and prospect of crop straw scrimber [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(5): 229-234. (in Chinese)

[2] Gulec C, Ozen R. Some properteies of particleboard made from cotton stalk [J]. Holzals Roh and Werkstoff, 2004, 62: 40-43.

[3] Balaze G Z, Frederick A K, Layne T W. Simulation of the internal conditions during the hot-pressing process [J]. Wood and

Fiber Science, 2003, 35(1): 2-23.

[4] Hata T. Heat flow in particle mat and properties of particleboard under stea-injection pressing [J]. Wood Research, 1993, 80: 41-47.

[5] Haq Z, Easterly J L. Agricultural residue availability in the united states [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2006, 129: 15-21.

[6] Pablo J G. Three-dimensional heat and mass transfer during o-riented strandboard hot-pressing [D]. Vanconver (Canada): the University of British Colombia, 2002.

[7] Kamke F A, Casey L J. Fundamentals of flakeboard manufacture; internal-mat conditions [J]. Forest Products Journal, 1988, 38(6): 38-44.

[8] 刘应安,蔡智勇. 刨花板热压过程中热传导的几个问题 [J]. 林业科技开发, 1992(4): 43-45.
Liu Y A, Cai Z Y. Heat-conduction problems of particleboard duning hot-pressing process [J]. China Forestry Science and Technology, 1992(4): 43-45. (in Chinese)

[9] 刘正添,王洁瑛. 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. 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)

[10] 雷亚芳. 板坯含水率对刨花板热压过程中传热的影响 [J]. 木材工业, 2006, 20(6): 20-22.
Lei Y F. Influence of mat moisture content on heat-conduction during hot-pressing [J]. China Wood Industry, 2006, 20(6): 20-22. (in Chinese)

[11] 谢力生,陈志喜. 干法低密度纤维板常规热压传热研究 [J]. 林业科技, 2005, 30(1): 29-31.
Xie L S, Chen Z X. Study on heat -conduction of dry-process low density fiberboard by conventional hot-pressing methods [J]. Forestry Science & Technology, 2005, 30(1): 29-31. (in Chinese)

[12] 杨 庚,张士成. 亚麻屑碎料板密度对板芯层升温速度的影响 [J]. 吉林林学院学报, 1995, 11(4): 247-250.
Yang G, Zhang S C. The influence of flax particleboard density on temperature speed of the core [J]. Journal of Jilin Forestry University, 1995, 11(4): 247-250. (in Chinese)

[13] 宋孝周. 棉秆重组材生产工艺的研究 [J]. 木材工业, 2007, 21(6): 37-40.
Song X Z. Processing technology of reconsolidated cotton-stalks [J]. China Wood Industry, 2007, 21(6): 37-40. (in Chinese)

[14] 宋孝周,郭康权. 棉秆特性及其重组板材的研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2007, 35(11): 106-111.
Song X Z, Guo K Q. Research on characteristic of cotton-stalk and its scrimber [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2007, 35(11): 106-111. (in Chinese)

[15] Kamke F A, Casey L J. Gas pressure and temperature in the mat during flakeboard manufacture [J]. Forest Products Journal, 1988, 38(3): 41-43.