

密度对刨花板热压过程中温度场的影响*

雷亚芳¹, 樊红琴²

(1 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 陕西省建筑木材厂, 陕西 西安 710032)

[摘要] 采用先进的温度在线测量手段, 在施加胶粘剂的情况下, 研究了密度对刨花板热压过程中表层、芯层中心点温度及芯层(中平面)温度分布的影响。结果表明, 随着密度的增大, 刨花板板坯表层、芯层中心点温度在快速升温段的升温速度减小, 但减小的程度不同; 板材密度越大, 芯层与表层中心点温度到达100 °C的时间差越大; 板材的密度越小, 芯层温度分布越均匀; 不论板材密度大小, 快速升温段在中心点达到汽化温度之前, 板坯芯层心部的温度比边部高, 但不是中心位置最高, 而是邻近中心点位置的温度高; 在中心点开始进入汽化段时, 边部未进入汽化段, 边部的温度还在继续上升并超过中心点, 板坯密度越大, 汽化段芯层温度差异越大。

[关键词] 刨花板; 密度; 热压; 温度场

[中图分类号] TS653.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0155-06

热压工艺是整个刨花板生产过程中的一个核心环节, 该过程不仅直接影响热固性树脂胶的固化速度和固化程度, 影响产品密度分布的均匀性、胶合强度和其他物理力学性能, 而且决定着设备生产能力的大小。

密度是影响刨花板热压过程中传热传质的因子之一。从传热学的观点来看, 任何物质的加热时间都与容重有关^[1]。刨花板在热压过程中, 热量的传递途径主要有对流和热传导2种。由于板子密度的不同, 板坯的热传导系数和对水蒸汽的渗透性也会发生很大改变, 从而使板坯在整个热压过程中的传热传质有所不同。

国内外一些学者曾经研究过刨花板热压过程中密度对热压温度的影响^[2-7], 但大多数是在未施加胶粘剂条件下进行的。关于沿板坯边部方向的热量与气体流动特征仅有少数学者进行过研究。Bolton等^[8-11]利用圆形板坯二维热压模型验证了理论上板坯水平方向温度、蒸汽压力和含水率的分布, 该模型的结果强调水蒸气从板坯边缘的逃逸, 建立了半径方向的含水率梯度、温度梯度和气体压力梯度。本试验采用先进的温度在线测量手段, 研究了在施加胶粘剂的情况下, 密度对刨花板热压过程中板坯厚度方向上表层、芯层中心点温度和中平面温度的影响,

试验结果更确切地反映了刨花板生产的实际情况, 能更加深入地了解密度对刨花板热压过程中传热传质的影响, 对刨花板的生产具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 原料

树种: 北京顺义产的107欧洲杨(*Populus tremula*), 树龄5年。

刨花尺寸: 27.61 mm × 13.67 mm × 0.32 mm (平均)。

胶粘剂: 脲醛树脂胶粘剂, 由北京太尔化工有限公司提供。主要参数: 粘度188 cp, 固化时间42 s, pH = 8.32, 比重1.241 g/cm³。

1.2 试验仪器与设备

Hombak ZOA 18L-01型长材刨片机; QD型液压热压机(上海人造板机器厂), 压板尺寸为500 mm × 500 mm; 热电偶为E分度, 长度500 mm, 直径为1.5 mm; JWC型分体式温度变送器, 量程0~200 °C, 分度号K, 精度±0.5 °C, 输出电压0~5 V。

1.3 方法

1.3.1 热电偶的布置 文中“表层”实质上是距离板坯上表面或热压板1/6处的平面, 表层热电偶布置于此平面的中心点处, 与热压板接触的板坯表面

* [收稿日期] 2005-12-19

[基金项目] 西北农林科技大学重点科研项目

[作者简介] 雷亚芳(1965-), 女, 陕西合阳人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事家具设计和木质材料利用研究。E-mail: leiyafang@sina.com

的状况与此平面是不同的。

芯层(中平面)热电偶布置在板坯厚度方向上1/2处平面,热电偶的布置方法见图1。板坯幅面尺寸400 mm × 400 mm,考虑到边界的影响,边界余量为50 mm;考虑到对称性,本试验选取了第一象限作为测量区域对象。热电偶的位置围成的面积将板坯分为3个部分:由对角线1-3构成的正方形区域,其面积为除边界余量的整个1/4象限面积的1/3;由1-5-7构成的正方形区域,其面积为除边界余量的整个1/4象限的2/3;最后一个区域是由对角线1-9构成的除边界余量的1/4象限。在放置热电偶的平面上铺放金属纱网以固定热电偶,纱网对刨花板板坯内部传热的影响忽略不计。

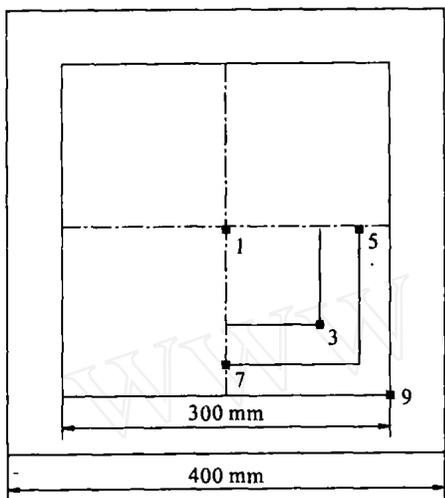


图1 芯层(中平面)热电偶的布置图

Fig. 1 Schematic of thermocouples at the middle plane

1.3.2 板坯制作 板坯采用手工铺装,刨花板为单层刨花板,用模框控制其幅面大小,模框幅面尺寸为400 mm × 400 mm,刨花板的厚度(16 mm)用厚度规控制。板坯上、下表面均放置1 mm厚的不锈钢垫板。为了方便铺装时控制热电偶和压力传感器的放置,保证热电偶和压力传感器位置的准确,在模框的一个侧面锯有8个5 mm宽的锯口。采用称取相应重量分层铺装的方法控制板坯表层、芯层位置的准确性。

1.3.3 板坯温度测定方法 试验采用E分度的铠装热电偶测量板坯内部温度。上述测量仪器通过与16路数据采集卡相连而实现对数据的自动采集。上垫板接触到厚度规时即开始计时并采集数据,热压机张开时结束数据的采集,采集数据的时间为20 min。

1.3.4 试验方案 脲醛胶的绝干胶量为绝干刨花用量的10%。固化剂用量为绝干胶量的1%,使用时配成200 g/L的水溶液。板坯含水率为12%,所用刨花的含水率为6.81%。成板目标密度为0.5, 0.55, 0.65, 0.75和0.85 g/cm³。每试验重复2次,结果取其平均值。

2 结果与分析

2.1 密度对刨花板热压过程中芯层中心点温度的影响

2.1.1 不同密度刨花板热压过程中芯层中心点温度的变化 图2为不同密度刨花板热压过程中芯层中心位置的温度曲线。从图2可以看出,刨花板热压过程中芯层的温度变化曲线可以分为4段,即热压开始时短暂的恒温段(大致保持在室温)、板坯中水分没有汽化之前的快速升温段、水分汽化时的恒温段和水分基本汽化后的慢速升温段。

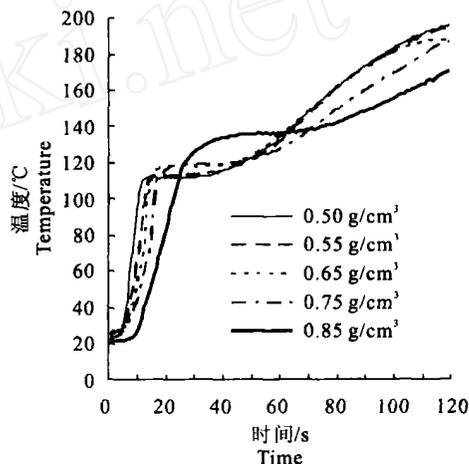


图2 不同密度板材板坯芯层中心点的温度曲线

Fig. 2 Curves of the central layer's middle point temperature under different densities of panels

在短暂恒温段,随着板材密度的增加,短暂恒温段的持续时间延长。因为在开始热压时,热量先是从热压板传递到板坯的表层,当板坯表层温度达到汽化温度时,产生向板坯芯层方向移动的水蒸汽,当水蒸汽到板坯芯层时,芯层温度才开始迅速上升进入快速升温阶段,在进入快速升温段之前,只有非常少的蒸汽进入到芯层,板坯芯层温度上升得很慢,接近压板时的室内温度。从图2可以看出,板材密度越大,短暂恒温段持续的时间越长,也就是说,密度越大,蒸汽在板坯内的移动越慢,表层产生的蒸汽越不容易进入到芯层。

在快速升温段, 板坯芯层的升温速度随着密度的增加而减小。这一方面由于密度越大板坯内所含的水分总量越大, 因而需要更多的热量蒸发水分, 故延缓了升温速度; 另一方面板坯密度大, 其渗透性也越低, 在热压初期不利于携带热量的水蒸汽从表层传向芯层, 故延缓了传热过程。在刨花板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。随着板材密度增大, 热传导的作用变大而对流传热的作用减小^[6], 木材是热的不良导体, 因而总的传热速度减小。

水分汽化时的板坯芯层温度明显随板坯密度的增大而升高, 汽化时间也随密度的增大而延长。因为在其他条件一定的情况下, 密度越大, 对蒸汽向板边流动越不利, 因而蒸汽压力上升, 水分汽化温度升高; 板子密度越大, 板坯含水总量越大, 所以汽化时间增长。

2.1.2 密度对刨花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, 通常将刨花板的板坯芯层升温到 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 的时间对刨花板生产中热压周期的长短起决定性的作用。图3为板材密度与板坯芯层达到 100 的时间关系, 热压时板坯芯层温度到达 100 所需时间(y)与板材密度(x)的关系为回归直线方程: $y = 310x - 61$, 标准残差为 30.737。

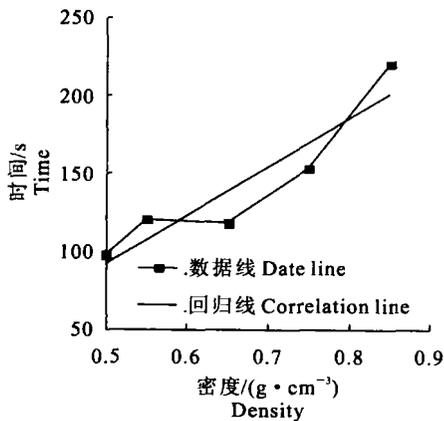


图3 板坯芯层中心点温度到达 100 的时间与板材密度的关系

Fig. 3 Relationship between time of reaching 100 in central layer middle point of particleboard mat and the density of panel

2.2 密度对刨花板热压过程中表层中心点温度的影响

2.2.1 不同密度刨花板热压过程中表层中心点温度的变化 图4为不同密度刨花板板坯表层中心点的温度曲线。从图4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, 除密度大(0.85 g/cm³)的板材外, 开始时的短暂恒温段几乎不存在, 也没有水分汽化时的恒温段, 只有快速升温段和慢速升温段, 而且随着板材密度的增大, 两个温度段间的过渡越平滑。这是因为表层(距热压板 1/6 处)薄, 刨花含量小, 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, 表层因刨花量少而所含水分少, 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。

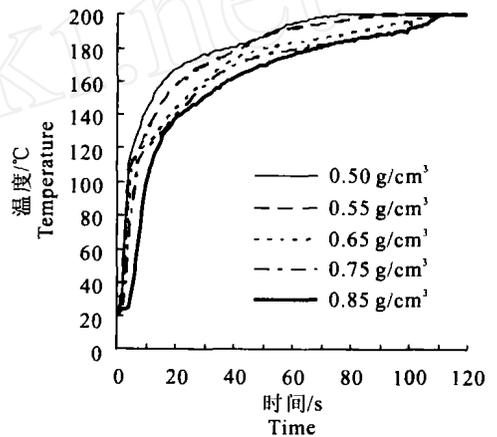


图4 不同密度板材板坯表层的温度曲线

Fig. 4 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刨花量较密度小的板坯多, 因此板坯的渗透性小而传热慢, 另外刨花多, 含水总量大, 蒸发水分所需要的热量也就多。

在快速升温段到慢速升温段的转折处, 板坯表层的升温速度随板材密度的增大而有所降低, 而在慢速升温段所有板坯的升温速度几乎相同。这是因为在升温速度转折处胶粘剂刚开始固化, 密度大的板坯由于渗透性小而传热慢。到了慢速升温段, 表层的胶粘剂已基本固化, 表层刨花之间紧密地结合在一起, 此时, 从热压板传到表层的的热量主要靠热传导

的方式进行传热,密度大的板坯,表层刨花接触紧密,密度大,相对加快了热传导。虽然密度大的板坯1/6处的表层厚度相对密度小的要大些,但其升温速度基本相同,只是密度大的板坯比密度小的板坯升到同一温度的时间有所滞后。

2.2.2 密度对刨花板热压过程中芯层与表层中心点温度达到100℃时间差的影响 从前面的分析得出,刨花板板坯在热压过程中,随着板材密度的增大,其表层温度和芯层温度在快速升温段的升温速度都在减慢,但密度对其升温速度的影响程度不同,其中对芯层温度的影响更大;在热压过程中,板坯密度不同,表层、芯层达到100℃的时间差不同。图5为不同密度的刨花板在热压过程中,芯层和表层温度达到100℃的时间差与板材密度之间的关系。从图5可以看出,随着板坯密度增大,芯层与表层温度达到100℃的时间差增长,也就是说,芯层温度达到100℃的滞后时间延长。其原因主要是板材密度越大,板坯中的空隙相对较少,因而板坯的渗透性越小,从而影响到刨花板热压过程中的对流传热。芯层与表层温度到达100℃时的时间差(y)与密度(x)的关系可用回归方程 $y = 130x + 89$ 表示,其标准残差为5.447。

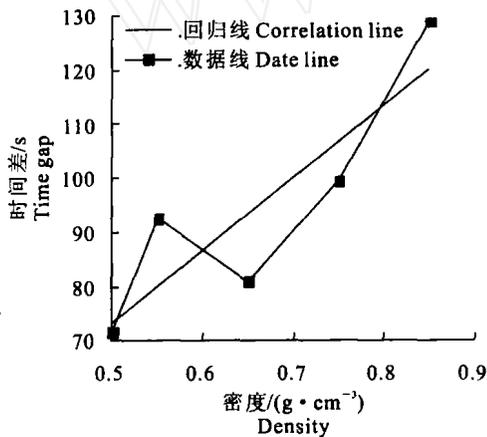


图5 表芯层温度达到100℃时的
板材密度与时间差的关系

Fig. 5 Relationship between time gap of surface and central layers reaching 100℃ and densities of panels

2.3 不同密度刨花板热压过程中芯层的温度分布

图6为不同密度刨花板热压过程中芯层各测量点的温度曲线。从图6可以看出:1)密度小的板坯,如密度为 0.50 g/cm^3 的板坯,在整个热压过程中,其芯层的温度分布比较均匀。因为密度小的板坯渗透性好,水蒸气容易通过板坯边部逃逸,水蒸气在板

坯内部的停留时间较短,所以其芯层的温度比较均匀。

2)在快速升温段,不论板坯密度大小,在中心位置达到汽化温度以前,板坯芯层各点的温度差异不大,心部的温度比边部温度高,但不是中心位置最高,而是临近中心点的温度高。这是因为在热压过程中,当表层的温度达到100℃时,表层产生蒸汽压力,在温度梯度和压力梯度的作用下,水蒸气向板坯的芯层移动,同时有一部分蒸汽向边部移动。也就是说,这些气体不是垂直向芯层移动而是偏向边部移动,试图通过边部逃逸,因此出现离中心部近的点3点的温度比中心点温度高的结果。

3)在中心点水分开始蒸发进入汽化段时,边部尚未进入汽化段,边部的温度还在上升并超过中心点的温度,板材密度越大,汽化段内部温度差异越大;经过快速升温段后,边部的温度超过心部的温度。因为中心点进入汽化段时,其水分开始蒸发,并通过边部逃逸,水蒸气在逃逸的过程中会受到阻碍使边部的蒸汽压力上升,导致此处水分的汽化温度也上升;板坯密度越大,心部产生水蒸气相对越多,水蒸气在逃逸过程中受到的阻碍越大,所以其边部的蒸汽压力越大,水分的汽化温度越高。

4)密度为 0.85 g/cm^3 的板坯,测温点3,5,7处在快速升温段持续的时间最长;刚到达汽化段时,中心点温度最低,其次是最边部(测温点9),测温点3,5,7的温度较高;在汽化段,测温点3,5,7处的温度逐渐下降。因为当饱和状态存在时,如果板坯中某一区域压力下降,其温度也将下降,试图保持平衡状态^[7]。可以推测,由于蒸汽受到的阻碍大,测温点3,5,7点在汽化段处于饱和状态。

5)测温点5和7的位置距离中心点的距离相等,理论上5,7两点的温度是相等的。但从图6看,这两条线没有重合,也就是说这两处的温度在热压过程中并不相等。因为试验中的板坯尺寸为 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$,板坯比较小,在热压时板坯的两边有厚度规,并且这两边与热压机的竖梁相邻,热压过程中,当心部的水蒸气向边部移动而通过边部逃逸时,移动到这两边的气体将受到厚度规的阻挡,不容易逃出,而处于压机前后的另两边则没有任何阻挡,所以虽离中心的距离相等,但二者温度不同,有厚度规的两边温度要高些。

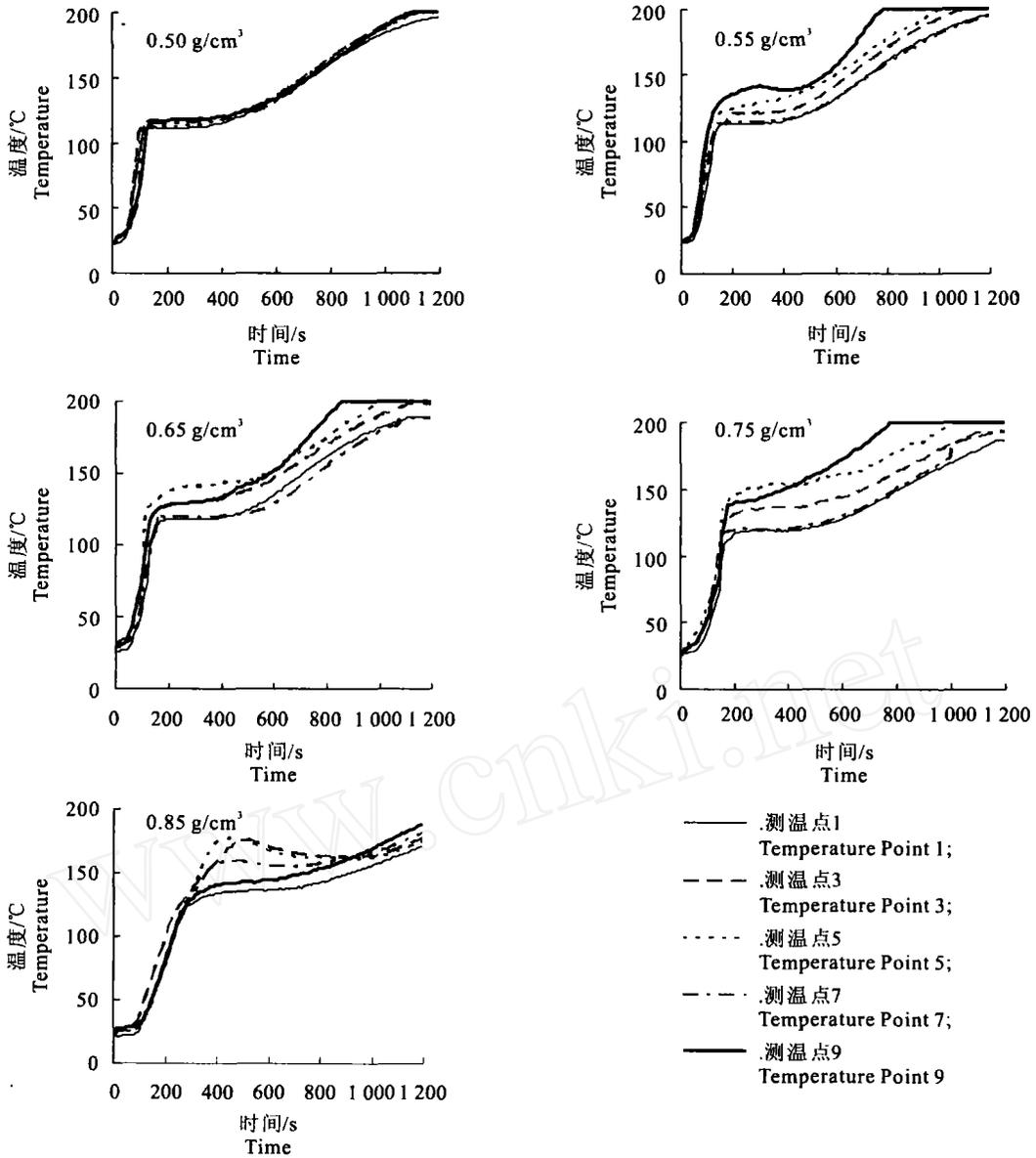


图6 不同密度刨花板热压过程中芯层测量点的温度曲线

Fig 6 Temperature curves located along particleboard's mid-plane of different densities particleboard during hot-pressing

3 结论

1) 在刨花板热压过程中, 其芯层温度变化曲线可以分为4段, 即短暂的恒温段、水分未汽化之前的快速升温段、水分汽化时的恒温段和水分基本汽化后的慢速升温段。板材密度越大, 短暂的恒温段持续时间越长; 快速升温段的升温速度随着板材密度的增加而减小, 板坯芯层达到100 °C的时间随着板材密度的增加而增加; 水分汽化的温度明显随板材密度的增大而升高, 汽化时间也随密度的增加而延长。

2) 在刨花板热压过程中, 其表层的温度曲线与芯层的温度曲线不同, 没有短暂的恒温段和水分汽

化时的恒温段, 只有快速升温段和慢速升温段, 而且2个温度段间的过渡随着板材密度的增加而越平滑。表层快速升温段的升温速度与芯层一样, 随着板材密度的增大, 升温速度相对减慢。

3) 板材密度越大, 芯层与表层到达100 °C的时间差越大, 这样不利于板材密度的均匀性和板材内部胶粘剂固化的同步性。

4) 密度小的板材, 在整个热压过程中, 其芯层的温度分布比较均匀。不论板材密度大小, 在快速升温段, 板坯芯层心部的温度比边部高, 但不是中心点最高, 而是邻近中心点的位置温度高; 当板坯芯层中心点进入汽化段时, 边部没有进入汽化段, 边部的温度

还在上升并超过中心点的温度, 板材密度越大, 汽化段内部温度差异越大; 经过快速升温段后, 边部的温度超过心部的温度。

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, 板坯厚度方向和水平方向的温度差异越大。因此在刨花板热压过程中, 在决定刨花板的热压时间时, 除考虑板坯厚度、热压温度、压力等因素外, 也要考虑板材密度对热压时间的影响。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] Strickler M D. Effect of press cycles and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard[J]. Forest Products Journal, 1959, 9(7): 203-215.
- [3] 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.
- [4] 杨庚, 张士成, 沈玉英, 等. 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(10): 247-250.
- [5] Pablo Jose Garcia. Three-Dimensional heat and mass transfer during oriented strandboard hot-pressing[D]. Vancouver(Canada): the University of British Columbia, 2002.
- [6] Kamke F A, Casey L J. Fundamentals of flakeboard manufacture: internal mat conditions[J]. Forest Products Journal, 1988, 38(6): 38-44.
- [7] 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.
- [8] Bolton A J, Humphrey P E, Kavvouras P K. The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part III: Predicted vapour pressure and temperature variation with time, compared with experimental data for laboratory boards[J]. Holzforshung, 1989, 43(4): 265-274.
- [9] Bolton A J, Humphrey P E, Kavvouras P K. The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part IV: predicted variation of matress moisture content with time[J]. Holzforshung, 1989, 43(5): 345-348.
- [10] Bolton A J, Humphrey P E, Kavvouras P K. The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part VI: The importance of stresses in the pressed matress and their relevance to the minimization of pressing time, and the variability of board properties[J]. Holzforshung, 1989, 43(6): 406-410.
- [11] Humphrey P D, Bolton A J. The hot pressing of dry-formed wood-based composites Part V: The effect of board size: comparability of laboratory and industrial pressing[J]. Holzforshung, 1989, 43(6): 401-406.

The effect of density on the temperature distribution of particleboard during hot-pressing

LEI Ya-fang¹, FAN Hong-qin²

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

2 Shaanxi Constition Timber Processing Mill, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: Using an advanced temperature measure method, the effect of density on the central location temperature of surface and central layers and distribution along the mid-plane of particleboard mat with urea formaldehyde is carried out. Results show the temperature-increasing rate of the central location temperature of surface and central layers of particleboard mat decrease coupling with the density increases, but the extents are different. The time gap between central and surface layers central location reaching 100 is enlarging with the higher density. The mid-plane temperature distribution is more homogenized with low panel density. During the fast increasing stage, compared with the side locations, the temperature of points located in the middle of particleboard is higher, but the highest temperature doesn't occur in the geometry center of mat; when temperature of center location reaches its evaporation temperature, the side locations temperatures don't reach its evaporation temperature, and its temperature increases, eventually outweighs the temperature of center location, the higher density of mat makes a big difference about the temperature distribution.

Key words: particleboard; density; hot-pressing; temperature distribution