

刨花高温处理对水泥刨花板水化热和弯曲性能影响的研究

汤正捷<sup>1,2</sup>,关 成<sup>1</sup>,吴 商<sup>1</sup>,刘李花<sup>1</sup>,周定国<sup>2</sup>

(1.西南林业大学 材料科学与工程学院,云南 昆明 650224;2.南京林业大学 材料科学与工程学院,江苏 南京 210037)

**摘 要:**水泥刨花板性能优良、耐水防火,植物原料刨花对水泥的固化具有一定的阻凝作用。采用高温干燥技术,探讨了刨花不同的高温处理条件(处理温度:130、170、210℃,处理时间:0.5、1.5、2.5 h)对刨花和水泥混合物水化热以及水泥刨花板力学性能的影响。结果表明:1)刨花高温处理对刨花与水泥相容性的改变有明显的作⽤。刨花处理条件为 210℃、2.5 h 时,水化温度上升最高,达到 35.0℃比未处理刨花升高 7.4℃,但是达到最高温的时间为 1 320 min,并不是最短。刨花处理条件为 170℃、2.5 h 时,相容性系数  $C_T$  和  $C_A$  分别为 25.6%和 104.0%,是所有处理条件中最好的。2)刨花高温处理对水泥刨花板所有龄期(分别养护 7、14 d 和 28 d)的静曲强度总体呈现增强的趋势。在刨花处理条件为 170℃、2.5 h 时,水泥刨花板 28 d 的静曲强度(终强度)最大达到 8.2 MPa,比刨花未处理时增加了 4.7 MPa,提升了 134%。

**关键词:**水泥刨花板;水化热;高温处理

**中图分类号:**S781.63      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2019)05-0195-07

Effects of High Temperature Treatment of Wood Chips on the Hydration Heat and Modulus of Rupture of Cement Particleboard

TANG Zheng-jie<sup>1,2</sup>, GUAN Cheng<sup>1</sup>, WU Shang<sup>1</sup>, LIU Li-hua<sup>1</sup>, ZHOU Ding-guo<sup>2</sup>

(1. College of Materials Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** Cement particleboard is a kind of building material with excellent performance such as water and fire resistance, which will have broad aspects in application. In the production of cement particleboard, the wood material will negatively affect the hardening of the cement. In order to solve this problem, this paper discussed the effects of the different high temperature treatments (temperature: 130, 170, and 210℃, time: 0.5, 1.5 h, and 2.5 h) of wood material on the properties of cement particleboard. The results showed that 1) the high temperature treatment of wood chips had obvious effects on the compatibility between wood and cement. The effect the treatment varied according to different evaluation methods. When the processing conditions were 210℃ and 2.5 h, the highest hydration temperature rose to 35.3℃, 3.4℃ higher than untreated wood chips. But the time to achieve the maximum hydration temperature prolonged to 1 320 min. When the conditions were 170℃ and 2.5 h, the compatibility coefficient  $C_T$  and  $C_A$  were 25.6% and 104.0%, respectively, which were the best among all treatment conditions. 2) The high temperature treatment of wood chips showed an increasing tendency to the static bending intensity of cement particleboard at all curing ages (7, 14, and 28 days respectively). After 28 days of maintenance, cement particleboard was usually considered to reach the ultimate strength. The maximum modulus of rupture of cement particleboard reached 8.2 MPa and increased by 134%, when the processing condition of wood chips was 170℃ and 2.5 h.

**Key words:** cement particleboard; hydration heat; high temperature treatment

水泥刨花板是以水泥为粘结组分,刨花(可由木材、竹材、农作物秸秆以及其他植物纤维原料等制成)为增强组分,适当添加水和化学助剂,通过混合、成型、加压(或不加压)和养护等工序制成的板材<sup>[1]</sup>。与传统有机胶黏剂制造的人造板相比,水泥刨花板采用水泥作为胶凝材料,在生产和使用过程中均不会释放对人体有害的有机挥发物。水泥原料丰富、价格低廉,植物纤维来源广泛、可持续发展,水泥刨花板还具有阻燃、隔热、耐水、耐腐、不易虫蛀、加工性能优良等特点<sup>[2]</sup>。因此,水泥刨花板具有广阔的市场前景。植物纤维原料由纤维素、半纤维素和木质素 3 种主要成分和少量抽出物以及灰分等物质组成<sup>[3]</sup>。在水泥碱性体系中,植物纤维原料的抽出物产生单糖类物质,与水泥体系中的钙离子形成糖酸钙,包裹在水泥颗粒的外表面,阻止了水泥颗粒的“长大”,产生阻凝现象,对水泥的固化造成不利的影响<sup>[4]</sup>。

目前缓解植物纤维阻凝水泥固化的方法主要有

添加化学助剂( $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  等促凝剂)和植物原料预处理(冷热水浸泡、碱液处理等),其中碱液处理的效果比较明显,可以显著改善植物纤维和水泥的相容性<sup>[5-7]</sup>。但碱液和冷热水处理在工业化生产时会产生大量废水,不仅污染环境,还给企业增加巨大负担。高温处理是人造板生产中对木质原料常见的处理手段之一<sup>[8-9]</sup>,本研究通过对木刨花进行高温预处理,减少木刨花在水泥碱性体系中阻碍水泥固化物质的产出,以期提高木刨花和水泥的相容性。

1 材料与方法

1.1 材料

木刨花取自云南新泽兴人造板有限公司生产线中芯层料,为杂木刨花;水泥,P·O 42.5 普通硅酸盐水泥,诸城市杨春水泥有限公司,性能见表 1;氯化钙,分析纯(96.0%),天津市鼎盛鑫化工有限公司;减水剂,FDN-C 萘系减水剂,万山化工;水;自来

表 1 杨春 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥主要性能

Table 1 Performance of the cement

性能	比表面积 /( $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	初凝时间 /min	终凝时间 /min	三氧化硫 /%	氧化镁 /%	烧失量 /%	3 d 抗折 强度/MPa	3 d 抗压 强度/MPa
数值	381	115	184	2.2	3.5	1.4	6.2	33.8

1.2 仪器设备

数显鼓风干燥箱,GZX-9240MBE,上海博迅实业有限公司;自制成型模具,内框尺寸为 450 mm×50 mm×20 mm;温度记录仪,杭州米科传感技术有限公司;自制保温箱;T 型热电偶,上海铸江;万能力

学实验机,日本岛津,50 kN;日立台式扫描电子显微镜,TM-1000。

1.3 刨花高温处理

刨花采用鼓风干燥箱进行高温处理,参数变化为干燥温度和干燥时间(图 1)。



注:1. 130℃、0.5 h; 2. 130℃、1.5 h; 3. 130℃、2.5 h; 4. 170℃、0.5 h; 5. 170℃、1.5 h; 6. 170℃、2.5 h; 7. 210℃、0.5 h; 8. 210℃、1.5 h; 9. 210℃、2.5 h; 10. 原刨花。

图 1 刨花处理条件以及处理前后外观变化

Fig. 1 Parameters of the treatment of wood chips and morphology of wood chips after treatment

1.4 水泥刨花板制备

实验室制备人造板时,试件通常为边长为 250 mm 或者 300 mm 等尺寸的正方形,测试试件性能时再进行锯解。由于水泥胶凝材料固化与有机胶黏

剂相比是一个漫长的过程,通常需要 28 d 才能够测试其最终强度。在考察水泥刨花板 7 d、14 d 性能的时候,锯解过程中产生的力和热会对材料性能产生影响。因此本试验采用自制的模具,按照力学性

能测试的尺寸要求制备样品。

1.4.1 原料计算 水泥的用量参照如下公式：

$$M=\rho\times V/(1+n+a)$$
 (1)

式中,ρ 为设计密度,取 1.25 g·cm<sup>-3</sup>;n 为木灰比;a 为水泥固化结晶水含量,取 0.21;V 为板件的体积,自制成型模具内框尺寸为 450 mm×50 mm×20 mm。

1.4.2 制板流程 将水泥与刨花置于搅拌容器中进行搅拌,混合均匀后倒入预先配置好的混有氯化

钙与减水剂的溶液,继续搅拌直至均匀。将塑料薄膜铺于成型模具内,模具底部放置在垫板上。搅拌好的混合物铺装到模具内,在振动台上处理 60 s,将板坯表面刮平,使得板坯与模具齐平。最后用塑料薄膜将试件密封好,置于室内,环境温度控制在 20±1℃静置 24 h 后脱模,继续静止,分别再放置 6、13 d 和 27 d,然后测试力学性能,试件参数见表 2。

表 2 水泥刨花板试件参数

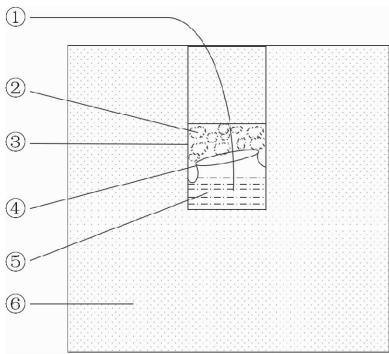
Table 2 Parameters of the cement particleboard

项目	材料添加配比(质量比) (添加剂比例以水泥质量为参照)				试件参数	
	水灰比	木灰比	氯化钙	减水剂	尺寸/mm	重复次数
数值	0.5	0.25	5%	1%	450×50×20	3

1.5 性能测试

1.5.1 板材性能测试 水泥刨花板静曲强度,按照 GB/T24312—2009《水泥刨花板》进行测试。试件断面表面喷金处理后使用台式扫描电镜观察微观形态。

1.5.2 水化热测试 混合物原料配比(质量比)为水泥:水:刨花:氯化钙:减水剂=200:90.5:15:10:2。先将称量好的氯化钙与减水剂溶置于水中,待分散均匀后备用;称取水泥与刨花,置于搅拌器中,混合均匀后加入已配置好的氯化钙溶液,再继续搅拌 2 min;然后将混合物快速转移至塑料袋中,一起放入自制保温箱,热电偶放置于混合物中心部位;最后密封好保温箱。热电偶另一端与自动记录仪相连,记录仪每分钟记录一次温度,连续记录混合物 24 h 温度变化,测试环境温度控制在均在 20℃±1℃。水化热测试装置见图 2。



注:①热电偶;②棉花;③纸杯;④塑料袋;⑤测试样品;⑥保温箱。

图 2 水化热测试简图

Fig.2 Hydration heat testing device

水化热测试得到的是对应不同时间点的温度曲线。水化热曲线中包涵有大量的信息,除了最常用的最高温度、到达最高温度的时间之外,还有以下常用评定指标。

抑制系数( $I_1$ ),由 R. C. Weatherwax<sup>[10]</sup>、M. R.

Cabral 等<sup>[11]</sup>提出:

$$I_1=100\left(\frac{t_2-t_2'}{t_2'}\right)$$
 (2)

式中, $t_2$  为植物原料与水泥混合物水化达到最高温度的时间; $t_2'$ 为纯水泥水化达到最高温度的时间。

水化特征系数( $I_2$ ),由 A. D. Hofstrand 等<sup>[12]</sup>提出:

$$I_2=100\left[\left(\frac{t_2-t_2'}{t_2'}\right)\left(\frac{T_2'-T_2}{T_2'}\right)\left(\frac{s'-s}{s'}\right)\right]$$
 (3)

式中, $T_2$ 、 $t_2$  和  $S$  分别为植物原料与水泥混合物水化达到的最高温度,达到最高温度的时间以及水化曲线的最大斜率; $T_2'$ 、 $t_2'$ 和  $S'$ 分别为纯水泥水化达到的最高温度、达到最高温度的时间以及水化曲线的最大斜率。

相容性系数( $C_T$ ),植物原料与水泥混合物水化的最高水化温度速度( $R_T$ )和纯水泥水化的最高水化温度速度( $R_T'$ )之比<sup>[13-14]</sup>:

$$C_T=100(R_T/R_T')$$
 (4)

$$R_T=\frac{T_2}{t_2}\left(\frac{m_w+m_l}{m_c}\right)$$
 (5)

式中, $T_2$  和  $t_2$  分别为植物原料与水泥混合物水化达到的最高温度以及达到最高温度的时间, $m_w$  为水的质量(包括木材含水率), $m_l$  为绝干木材的质量, $m_c$  为水泥的质量。 $R_T'$ 的计算与  $R_T$  相同,此时  $m_l=0$ 。

相容性系数( $C_A$ ),植物原料与水泥混合物的水化热曲线下的面积( $A_{ux}$ )与纯水泥水化热曲线面积( $A_{nc}$ )之比<sup>[13-14]</sup>:

$$C_A=100(A_{ux}/A_{nc})$$
 (6)

2 结果与分析

2.1 刨花高温处理对体系水化热的影响

木材高温热处理(也称为炭化处理)是通过高温

加热促使木材细胞壁物质(主要指半纤维素和木质素)发生热解和分子结构重组,是一种纯物理作用的改性方法,对降低木材吸湿性以及提高木材的尺寸稳定性有一定的帮助<sup>[9]</sup>。图 1 展示了刨花经过不同高温条件处理后的状态,可以看出,与未处理刨花相比,经过高温处理的刨花颜色变深,温度越高、处理时间越长,颜色变化越明显。在温度作用下,木质材料会发生一系列物理化学变化,通常分为 4 个阶段: $<150^{\circ}\text{C}$  阶段主要为结合水脱离; $150\sim 240^{\circ}\text{C}$  为纤维素结构氢键断裂; $<400^{\circ}\text{C}$  但  $>240^{\circ}\text{C}$  时为木材分子链中  $\text{C}-\text{O}$ 、 $\text{C}-\text{C}$  键断裂;高于  $400^{\circ}\text{C}$  时发生芳构化<sup>[15]</sup>。本试验主要目的是减轻木材抽出物对水泥固化的影响,并且不影响作为增强相的木材的自身

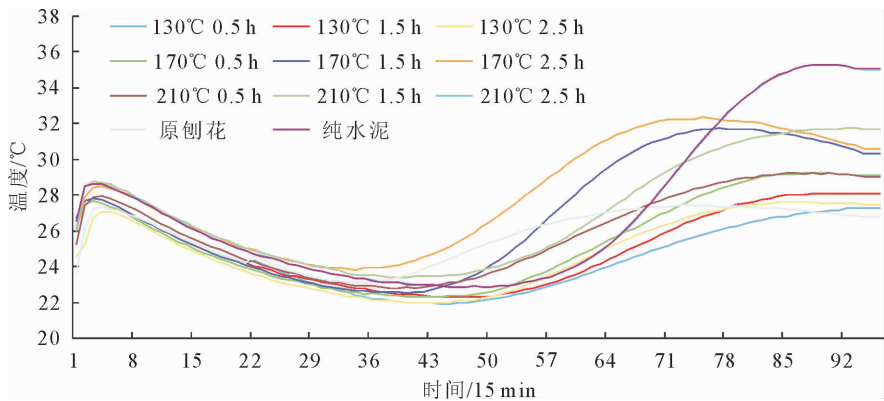


图 3 刨花处理条件对水泥刨花板水化热的影响

Fig. 3 Effect of wood chip treatment conditions on hydration heat of cement particleboard

不同水化热评定指标计算结果见表 3。对于最高水化热温度  $T_2$ ,添加未处理刨花的为  $27.6^{\circ}\text{C}$ ,添加 2 种  $130^{\circ}\text{C}$  条件下处理的刨花(分别处理 0.5 h 和 2.5 h)其效果与未处理刨花相当。由前文所述,当刨花处理温度为  $130^{\circ}\text{C}$  ( $<150^{\circ}\text{C}$ ),主要为结合水的脱离,刨花中半纤维素等对水泥有抑制作用的物质没有明显的去除,因此处理效果不明显。当处理温度上升到  $170^{\circ}\text{C}$  和  $210^{\circ}\text{C}$  时,随着时间的延长,体系的最高水化热温度有升高趋势,此时处理温度  $>150^{\circ}\text{C}$ ,纤维素结构氢键开始断裂,半纤维素的稳定性比纤维素差,所以分解更剧烈。这说明,当温度足够高时,刨花中含有的对水泥固化不利的成分减少。到达最高水化热温度时间  $t_2$  与最高水化热温度  $T_2$  的趋势相一致。抑制系数  $I_1$  和抑制系数  $I_2$  数值规律性不明显,并且同时出现正负数,难以清晰地反映刨花和水泥的相容性。

在同一处理温度条件下(除  $130^{\circ}\text{C}$ ),随着处理时间的延长,相容性系数( $C_T$ )和相容性系数( $C_A$ )的数值呈增大趋势。在处理温度为  $130^{\circ}\text{C}$  时, $C_T$  和  $C_A$  呈现降低的趋势,并且  $C_A$  的数值要低于添加原创花的水泥。出现这种现象的原因如前所述,可能是

强度,因此选定的温度参数在前 2 个阶段内。

图 3 为刨花经过不同条件处理后,水泥刨花刨花板内部温度变化情况。可以看出,与未处理刨花相比较,不同的高温处理方式,对水泥水化热曲线影响很大。刨花处理条件为  $210^{\circ}\text{C}$ 、2.5 h 时,水化温度上升最高,但是达到最高温度的时间延长了;刨花处理条件为  $130^{\circ}\text{C}$ 、1.5 h 时,不仅水化温度下降,而且达到最高温的时间也增加了。造成这种现象,可能是在  $130^{\circ}\text{C}$  时,刚好促进了半纤维素的降解,反而使得阻凝物质增加。当刨花高温处理温度为  $170^{\circ}\text{C}$  和  $210^{\circ}\text{C}$ ,随着处理时间的延长,混合物的水化性能变好。

表 3 不同水化热评定指标汇总

Table 3 The compatibility between wood and cement by different methods

编号	$T_2$ / $^{\circ}\text{C}$	$t_2$ / $\text{min}$	$I_1$ / $\%$	$I_2$ / $\%$	$C_T$ / $\%$	$C_A$ / $\%$
1	27.3	1 065	-16.8	0.798	22.2	92.7
2	28.1	1 320	3.1	0.066	18.4	92.4
3	27.6	1 260	-1.6	0.122	19.0	91.8
4	29.3	1 350	5.5	-0.248	18.8	94.0
5	31.8	1 155	-9.8	0.025	23.8	99.7
6	32.3	1 095	-14.5	-0.125	25.6	104.0
7	29.2	1 260	-1.6	0.141	20.1	96.0
8	31.7	1 320	3.1	-0.025	20.8	99.8
9	35.0	1 320	3.1	-0.008	23.2	100.1
10	27.6	1 395	9.0	-0.532	17.0	92.5

注:1.  $T_2$  为最高温度,室温取  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  为达到最高温度的时间。  
2. 编号与图 1 刨花高温处理条件的编号一致。

因为处理温度过低,使得刨花内部不利于水泥固化的成分并没有分解或者散发掉,反而转移到了刨花表面,对水泥固化起到了负作用。硅酸盐水泥水化通常可以分为早(预诱导期、诱导期)、中(加速期、减速期)、后(扩散期)3 个时期<sup>[16]</sup>,其中中期对水泥体系的最终强度起到了决定性的作用,所以期望中期阶段体系的温度较高,水化热曲线覆盖的面积大。



因此联合采用  $C_A$  和  $T_2$ 、 $\Delta T$ 、 $t_2$  或单独采用  $C_A$  比较合适。

2.2 刨花高温处理对水泥刨花板物理力学性能的影响

刨花高温处理条件对水泥刨花板性能有比较大的影响,图 4 中,刨花高温处理条件对水泥刨花板分别养护 7、14 d 和 28 d 后的静曲强度的影响不尽相同,但总体呈现增强的趋势。在刨花处理条件为 170℃、2.5 h 时,水泥刨花板 28 d 的静曲强度最大达到 8.2 MPa,比刨花未处理时增加了 4.7 MPa,提

升了 134%。

2.2.1 刨花处理时间对力学性能的影响 由图 4 可知,当处理温度在 130℃时,水泥刨花板的 7 d 的静曲强度随着刨花处理时间的延长而增大,但是水泥刨花板的 14 d 和 28 d 的静曲强度却呈现先减小再增大的趋势,并且处理时间最短的刨花制作的水泥刨花板力学强度最好。这个可能是由于处理温度太低,不会使刨花自身性质发生很大的改变,加上手工铺装板坯时的人为误差,使得 130℃的处理条件下,板材性能的变化没有明显规律。

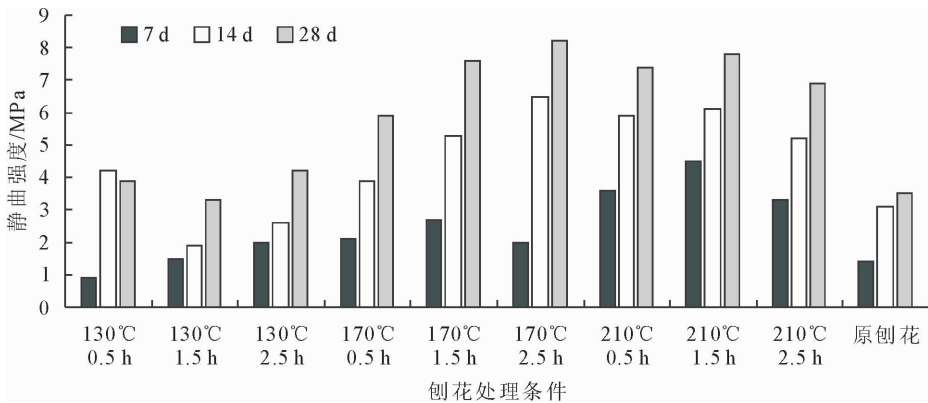


图 4 水泥刨花板静曲强度

Fig. 4 The modulus of rupture of cement particleboard

当处理温度为 170℃时,水泥刨花板的 7、14 d 和 28 d 的静曲强度基本随着刨花处理时间的延长而增大。其中,14 d 的静曲强度从 3.9 MPa 增加到 6.5 MPa,上升了 66. 6%,28 d 的静曲强度从 5.9 MPa 增加到 8.2 MPa,上升了 39. 0%。而且处理条件为 170℃、2.5 h 时,水泥刨花板的 28 d 静曲强度比未处理刨花提高了 134%。产生这种现象主要是由于,在 170℃的条件下,刨花在水泥碱性体系中容易产生阻凝作用的物质比如半纤维素等已经开始分解,分解产生的物质部分会被干燥气流带走,因此阻碍水泥固化的成分就减少,并且随着处理时间的延长,不利成分减少的更多;另外由于高温的作用,刨花表面会钝化,当刨花分散在水泥体系中时,钝化的表面会减少内部物质的渗出,也减小了对水泥体系的负面影响<sup>[17]</sup>。

当处理温度为 210℃时,水泥刨花板的 7、14 d 和 28 d 的静曲强度基本随着刨花处理时间的延长先增大再减小。7 d 的静曲强度从 3.6 MPa 增大到 4.5 MPa 再减小到 3.3 MPa,14 d 静曲强度从 5.9 MPa 增大到 6.1 MPa 再减小到 5.2 MPa,28 d 静曲强度从 7. 4 MPa 增大到 8. 1 MPa 再减小到 6.9 MPa,3 种养护周期的刨花处理 2.5 h 的静曲强度都低于刨花处理 0.5 h 的效果。可能因为处理温

度较高,长时间处理后,刨花中纤维素发生分解,刨花过度处理,降低了刨花自身的强度,减弱了刨花增强水泥的效果<sup>[9]</sup>。图 1 中,处理条件为 210℃、2.5 h 时,刨花的颜色最深,产生了比较明显的降解。

水泥刨花板固化 28 d 后,达到了终强度。图 5 为水泥刨花板固化 28 d 后的静曲强度。在刨花处理温度为 130℃时,处理时间的延长对板材终静曲强度影响不明显。当刨花处理温度上升到 170℃时,随着处理时间的延长,板材的终静曲强度逐渐增大,此时高温处理到达了降低刨花对水泥固化的负面影响。当刨花处理温度上升到 210℃时,随着处

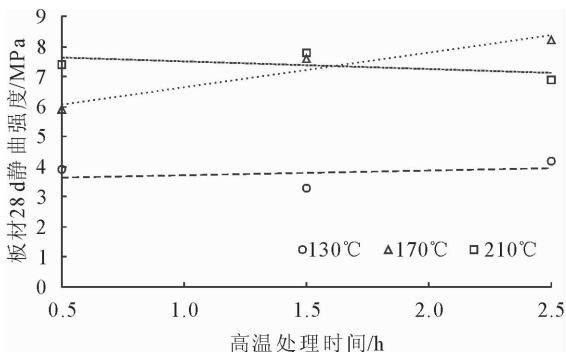


图 5 水泥刨花板终静曲强度趋势

Fig. 5 The trend of the final modulus of rupture of cement particleboard with treating time

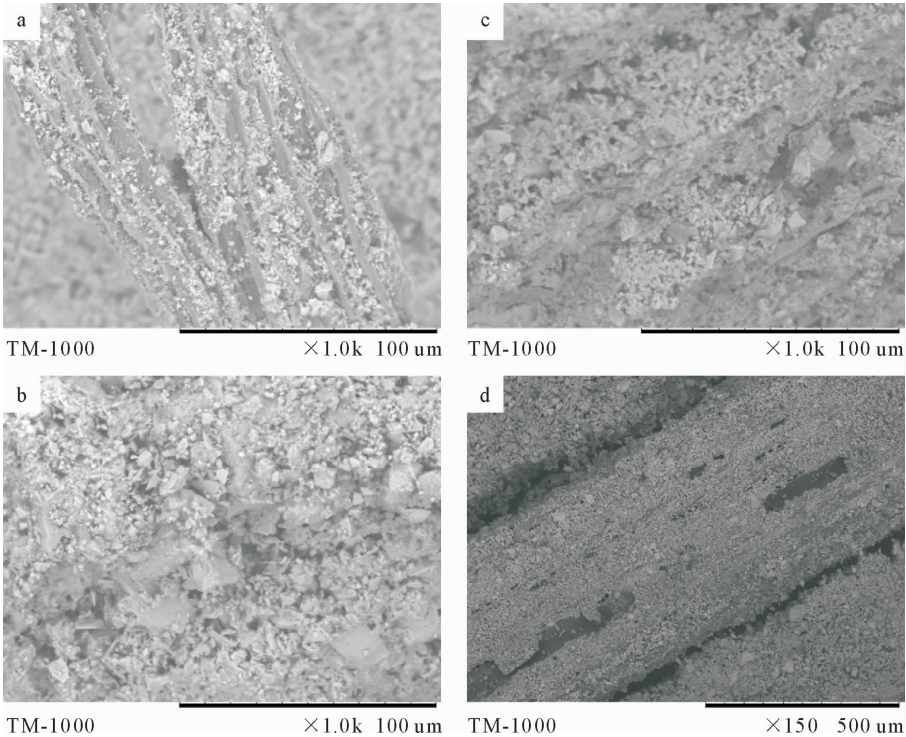
理时间的延长,板材的终静曲强度先略微增大而后再减小,总体呈下降趋势,并且刨花处理 1.5 h 和 2.5 h 的效果(板材终静曲强度)要比 170℃ 下相同处理时间的要差。

2.2.2 刨花处理温度对力学性能的影响 图 4 可知,当高温处理时间为 0.5 h 和 1.5 h 时,水泥刨花板的 7、14 d 和 28 d 的静曲强度基本随着刨花处理温度的上升而增大。当高温处理时间为 2.5 h 时,水泥刨花板的 7 d 的静曲强度随着刨花处理温度的上升而增大,14 d 和 28 d 的静曲强度随着刨花处理温度的上升先增大再减小。7 d 的静曲强度从 2.0 MPa 增大到 3.3 MPa,14 d 静曲强度从 2.6 MPa 增大到 6.5 MPa 再降低到 5.2 MPa,28 d 静曲强度从 4.2 MPa 增大到 8.2 MPa 再降低到 6.9 MPa。14 d 和 28 d 的静曲强度之所以会先升后降,是因为当温度在 170℃ 时,半纤维素等已经开始分解,但是纤维素还比较稳定,这样即去除了对水泥不利的半纤维素,也保留了起到力学增强作用的纤维素,所以水泥刨花板的静曲强度较高。当温度达到 210℃,由于温度偏高,而且处理时间较长,在去除半纤维素的同时,纤维素也受到破坏,最终影响了水泥刨花板的整体性能。图 1 中刨花处理后的外观颜色也可以解释这一点。当处理时间相同时,刨花的颜色随着处理温度的升高而加深。高温长时间处理,炭化程度加深,使得刨花性能也发生了明显变化,影响了刨花自

身的强度,从而降低水泥刨花板力学性能。

复合材料中,各相材料之间主要通过界面之间的物理、化学或两者兼而有之的方式相结合。水泥刨花板的强度主要受以下几个因素影响<sup>[18-19]</sup>:硅酸盐水泥水化形成空间网络结构,此时水泥的配方等内在因素起主要决定作用;水泥和刨花搅拌在一起,水化产物在刨花表面的附着、生长,此时刨花的性质包括表面性质和抽出物等会产生较大的影响;刨花通过水泥水化产物形成的搭接。当使用的水泥选定后,水泥刨花板的强度主要取决于后两者。刨花在 170℃ 和 210℃ 条件下经过高温干燥处理后,阻碍水泥固化的物质减少,改善了水泥的固化程度,从而提高水泥刨花板的静曲强度。但是当刨花在高温下长时间处理,自身的力学性能降低,弱化了作为增强相的效果,使得水泥刨花板的静曲强度反而降低。

图 6 为水泥刨花板的微观图片,(a)、(b)、(c)分别为刨花在 130℃、170℃、210℃ 温度下处理 2.5 h 后制作的水泥刨花板。当刨花和水泥加水拌和在一起时,水泥附着在刨花表面,开始生长。刨花对水泥干扰越小,水泥生长的状态越好,通常表现为晶体颗粒越大<sup>[6]</sup>。从图 6 中可以看出,(a)中刨花表面附着的水泥最少,而且晶体尺寸偏小,(b)次之,(c)效果最好,不仅水泥颗粒密集分布,而且晶体颗粒最大。由此可以得出在保持处理时间为 2.5 h 的时候,刨花处理温度越高越好。但这一结论与图 4 中板材的



注:(a)130℃,2.5 h;(b)170℃,2.5 h;(c)210℃,2.5 h;(d)170℃,2.5 h

图 6 水泥刨花板微观构造

Fig. 6 The microstructure of cement particleboard

静曲强度结果不一致。出现这种情况的主要原因可能是当处理温度过高(到达 210℃),刨花自身的性能受到了破坏,从而减弱了增强的效果。图 6(d)是 170℃温度下处理 2.5 h 的图片,可以发现,水泥比较均匀地附着在刨花表面,并且比较密集。刨花在 170℃条件下处理 2.5 h 既减小了其对水泥的负面影响,也兼顾了自身“增强相”的效果。

在 170℃温度下对刨花处理 2.5 h 有以下个方面的优点:刨花表面的粗糙度增加,比表面积也随之增大,大量的细沟槽有利于增强刨花与硬化水泥浆体的互嵌胶合力;去除了刨花中对水泥浆体起缓凝或阻凝作用的半纤维素、木质素和果胶,有利于刨花与水泥浆体界面处水泥水化的顺利进行。

3 结论

刨花高温处理对刨花与水泥相容性的改变有明显的作用,根据不同的评定方法,效果有所差异。刨花处理条件为 210℃、2.5 h 时,水化温度上升最高,达到 35.0℃,比未处理刨花升高 7.4℃,但是达到最高温的时间为 1 320 min 并不是最短。刨花处理条件为 170℃、2.5 h 时,相容性系数 CT 和 CA 分别为 25.6%和 104.0%,是所有处理条件中最好的。

刨花高温处理对水泥刨花板所有龄期(分别养护 7、14 d 和 28 d)的静曲强度的影响总体呈现增强的趋势。水泥刨花板养护 28 d 后,通常认为其达到了最终强度。在刨花处理条件为 170℃、2.5 h 时,水泥刨花板最终静曲强度最大,达到 8.2 MPa,比刨花未处理时增加了 4.7 MPa,提升了 134%。

综合刨花和水泥的相容性以及水泥刨花板力学强度可知,刨花高温处理时,并不是温度越高越好。本试验中,170℃、2.5 h 是刨花的最优处理条件。

参考文献:

[1] GB/T 24312—2009 水泥刨花板[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[2] 吴义强,李新功,左迎峰,等. 农林剩余物无人造板研究进展[J]. 林业工程学报,2016,1(1):8-15.

WU Y Q,LI X G,ZUO Y F,*et al.* Research status on the utilization of forest and agricultural biomass in inorganic wood-based panel[J]. China Forestry Science and Technology,2016,1(1):8-15. (in Chinese)

[3] 杨淑蕙. 植物纤维化学[M]. 3 版. 北京:中国轻工业出版社,2006:6-8.

[4] 徐辉,卢安琪,陈健,等. 国内外植物纤维增强水泥基复合材料的研究[J]. 纤维素科学与技术. 2005;13(4):60-64.

[5] 叶良明,金永明. 水泥刨花板快速固化添加剂的选择研究-氯化钙、硅酸钠等 7 种添加剂的添加效果[J]. 浙江农林大学学报,2002,19(1):5-8.

YE L M,JIN Y M. Selection of chemical additives with function of fast curing for cement particle board[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2002,19(1):5-8. (in Chinese)

[6] 张显权,韩景泉,周大勇,等. 麦秸预处理方式对麦秸-无机凝胶复合材的影响[J]. 东北林业大学学报,2010,38(2):45-46.

ZHANG X Q,HAN J Q,ZHOU D Y,*et al.* Effects of pretreatment of wheat straw on properties of wheat-inorganic gelatin composite[J]. Journal of Northeast Forestry University,2010,38(2):45-46. (in Chinese)

[7] JORGE F C,PEREIRA C,FERREIRA J M F. Wood-cement composites:a review[J]. Holz als Roh-und Werkstoff,2004,62(5):370-377.

[8] 朱捷,张洋,贾翀. 水热及高温处理工艺对杨木表面润湿性能的影响[J]. 西北林学院学报,2017,32(2):256-259.

ZHU J,ZHANG Y,JIA C. Effects of thermal or hydrothermal treatment on the wettability of fast-growing poplar timber[J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(2):256-259. (in Chinese)

[9] 陈康乐,冯德君,张英杰,等. 高温热处理对木材力学性能的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(5):164-166.

CHEN K L,FENG D J,ZHANG Y J,*et al.* Effects of high temperature treatment on mechanical properties of wood[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(5):164-166. (in Chinese)

[10] WEATHERWAX R C. Effect of wood on the setting of ordinary portland cement[J]. For Prod J.,1964,14(2):567-570.

[11] CABRAL M R,NAKANISHI E Y,DOS SANTOS V,*et al.* Evaluation of pre-treatment efficiency on sugarcane bagasse fibers for the production of cement composites[J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering,2018,18(4):1092-1102.

[12] HOFSTRAND A D,MOSLEMI A A,GARCIA J F. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement [J]. Forest Products Journal,1984,34(2):57-61.

[13] HACHMI M,MOSLEMI A A,CAMPBELL A G. A new technique to classify the compatibility of wood with cement [J]. Wood Science & Technology,1990,24(4):345-354.

[14] PASCA S A,HARTLEY I D,REID M E,*et al.* Evaluation of compatibility between beetle-killed lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) wood with portland cement[J]. Materials,2010,3(12):5311.

[15] 江茂生,黄彪,陈学榕,等. 木材炭化机理的 FT-IR 光谱分析研究[J]. 林产化学与工业,2005,25(2):16-20.

[16] 韩景泉. 水泥基麦秸碎料复合材的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2009.

[17] 韩淑伟,庞方亮,孙照斌. 废旧刨花与废旧纤维的水泥水化特性[J]. 西北林学院学报,2010,25(2):156-159.

HAN S W,PANG F L,SUN Z B,*et al.* Hydration characteristics of wasted fiber and particles[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(2):156-159. (in Chinese)

[18] 余海燕,姚燕,王武祥. 水泥基木梗复合吸声材料的研究[J]. 新型建筑材料,2006(4):17-19.

[19] 李新功. 半干法粉煤灰水泥刨花板生产工艺的研究[D]. 南京:南京林业大学,2005.