

研究与开发

木陶瓷的耐磨性及其他力学性质

李淑君, 谭海彦, 于晶, 李坚

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要: 通过对新型炭材料——木陶瓷制品的耐磨性、表面硬度及其他力学性质的试验与分析, 及 SEM 观察 PF 树脂和阻燃剂处理的作用, 结果表明: PF 树脂处理对提高烧结产品耐磨性有明显作用, 表面硬度随处理树脂质量分数的增高而增大, 随烧结温度增高而略有增加; 抗弯强度和弹性模量随树脂质量分数的提高而增大, 断面抗压强度随树脂质量分数升高而增加, 随烧结温度的提高而增加。阻燃剂处理能提高成炭率, 但不能提高产品的力学性质。

关键词: 木陶瓷; 耐磨性; 力学性质; SEM; PF 树脂

中图分类号: TB39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2003)05-0008-03

Wearability and Other Mechanical Properties of Woodceramics

LI Shu-jun, TAN Hai-yan, YU jing, LI Jian

(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this paper, the wearability and other mechanical properties, such as bending strength, elastic modulus, surface hardness and compression strength of woodceramics (WCS) were determined. The effects of a dipping treatment with phenol formaldehyde (PF) resin and a fire retardant on properties of WCS were also analyzed by sweep electron microscope (SEM). The results showed: 1) it was good for WCS wearability when treated by PF resin; 2) the bending strength and elastic modulus of WCS could be improved by increasing the PF resin concentration; 3) WCS surface hardness mainly depended on the PF resin concentration, rather than its sintering temperature; 4) WCS compression strength could be increased along with raising of PF resin concentration or sintering temperature; 5) the fire retardant would be effective to raise the char yield, but not improve WCS' mechanical properties.

Key words: Woodceramics (WCS); Wearability; Mechanical property; SEM; PF resin

木陶瓷的概念由日本青森工业试验场的部敏弘等^[1]于 1990 年首先提出, 它是木质材料浸渍热固性树脂后, 在隔绝氧气的条件下, 经高温烧结而成的一类多孔炭材料。虽然最初的应用设想是将其作为碳素导电和多孔结构的电磁屏蔽材料, 但进一步的研究表明, 该材料具有多种优异性能, 如密度低、比强度高, 可作构造用材、硬质、耐磨, 可作摩擦材料, 具有广阔的开发应用前景。

国内西安交通大学的金志浩等^[2,3]曾以白松、青冈木、桦木和五合板为原料制造木陶瓷, 证明了木材

(如桦木)制造木陶瓷的可行性, 同时揭示了 PF 树脂在其中的双向作用, 构造了木材渗透模型, 说明了纹孔和纹孔闭塞的形成对木材渗透性的影响, 并尝试用物理法和化学法改善木材的渗透性能。研制开发木陶瓷的目的是利用废弃的、可再生生物资源制备高性能的新型炭材料, 逐步减少不可再生资源的消耗, 因此, 对于保护环境具有重大意义。

本研究探讨了自制木陶瓷产品的耐磨性、抗弯强度、弹性模量、表面硬度及抗压强度等性质, 并通过扫描电子显微镜(SEM)观察了样品表面的微观形态, 进一步证明浸渍酚醛树脂的作用。

1 材料和方法

1.1 试验仪器

上海产 JM-1 型漆膜磨耗仪 砂轮规格 P55 × 15 × 16,粒度 180,试件与研磨轮滚动接触 ;AG-10TA 岛津万能试验机。

1.2 样品准备与工艺流程

以中密度纤维板为原料,取自伊春市南岔人造板厂,密度为 680 kg/m³,含水率约 9%。为使树脂浸渍处理简单易行,先制样,后用质量分数(即树脂质量与胶液质量之比)分别为 0%、10%、20%、30%、40% 的 PF 树脂及 20% 的 PF 树脂与磷系阻燃剂(P+20%)复合液浸注。

树脂浸注采用室温下的真空加压法。浸渍工艺为 将试样装入处理罐,密封,抽真空至 0.097 MPa,保持真空 1 h ;注入处理液后恢复常压 0.5 h ;再加压至 1.4 MPa,保持 4 h ;减压,排出处理液,然后再进行二次真空,真空度同前,保持 15 min 后取出。复合液浸注处理后气干,在 120 ℃ 下使树脂固化。处理后试样的尺寸和重量变化列于表 1。

表 1 中纤板试样的增重率、增容率与树脂质量分数的关系
Tab.1 Weight percent gain (WPG) and bulk efficiency (BE) of treated MDF samples and PF resin concentrations

树脂质量分数/%	增重率/%	增容率/%
0	0	0
10	11.99	10.14
20	22.62	11.97
30	31.44	13.39
40	46.70	15.21
50	57.12	15.85
P+20%	23.45	11.50

浸渍处理后,将试件表面残余树脂擦干、气干,树脂固化后,在高温下烧结制备木陶瓷,制备方法详见文献[4,5]。阻燃剂处理能够增加其成炭率,本研究期望对木陶瓷的力学性质也有提高作用。

1.3 试件规格

耐磨性试件 :圆形试件,直径(120 ± 2) mm,圆心处开有 Φ6 mm 的孔 ;

抗弯强度及弹性模量试件 :150 mm × 20 mm × 17 mm ;注 :受炉体限制,试件长仅为 150 mm,如将试件改薄,必然改变试件上下对称的压密状态,所以本抗弯试验中对试件的作用含剪切成分。)

表面硬度试件 50 mm × 50 mm × 17 mm ;
断面抗压强度试件 :长(40 ± 1) mm,宽(20 ± 0.5) mm,厚(17 ± 0.5) mm。

试件在(20 ± 2) ℃、相对湿度(65 ± 5) % 条件下放至质量恒定。

万方数据

由于耐磨性试件较大,制备时间长,因此对于木陶瓷耐磨性的研究仅限于不同质量分数树脂处理的影响,烧结温度固定为 800 ℃ ;其他力学性能指标检测的试件的烧结温度为 600 ~ 1 100 ℃ 不等。

1.4 检测方法

1.4.1 耐磨性 分为无润滑和润滑两种。本研究仅以无润滑和水润滑法来试验木陶瓷的耐磨性。

(1)无润滑 将砂轮及试件置于温度为(20 ± 2) ℃、相对湿度为(35 ± 5) % 的环境中平衡处理 72 h。将研磨轮轻置于试件上,再以 8.04 N 的力作用于试件,然后旋转试件。为使砂轮与试件作用均匀,先转 50 r 后称重,作为初始重量,之后每 50 r 检查试件,再称重,并用毛刷清除砂轮中的试样细粒。

(2)水润滑 试件需进行绝干处理,称重。将砂轮用水浸润,洗净、擦干后安装,对绝干试样进行研磨,研磨轮以 8.13 N 的力作用在试件上。同样,先转 50 r,称重为 W₀,之后每 100 r 检查试件,绝干称重 W_i。

每组试样平行测定 3 次。

磨耗量 $W' = W_0 - W_i$ (1)

1.4.2 其他力学性质 参照木材物理力学试验方法[6] 进行。考虑到试件脆性较大,在表面硬度测试中,除经 P+20% 处理的中纤板木陶瓷试件外,其余均在直径 11.28 mm 的钢制半球形压头压入深度在 2 mm 以内即发生开裂,所以本试验以试件所承受的最大压力及钢球压入深度来计算其表面硬度。

1.5 SEM 分析

使用 KYKY-1000B 型扫描电镜。样品 :(1)木陶瓷,40% 质量分数树脂处理 ;(2) P-木陶瓷,20% 质量分数树脂添加阻燃剂处理。

2 结果与分析

2.1 木陶瓷的耐磨性

2.1.1 无润滑时的耐磨性 PF 树脂处理对提高烧结产品的耐磨性有明显作用(如图 1)。未经树脂处理的试件仅经过 200 r 的研磨,磨耗量已近 13 g,继续研磨不到 50 r 时,试件即发生破坏。而经 10% PF 树脂处理的试件在同样研磨条件下,磨耗量为仅为未处理试件的 27% ;30% 树脂处理试件的磨耗量为未处理试件的 5%。随着树脂质量分数的继续提高,试件耐磨性提高幅度减缓。此外,添加阻燃剂的树脂处理试件,其耐磨性与同等树脂质量分数、无阻燃剂处理试件的耐磨性相近。

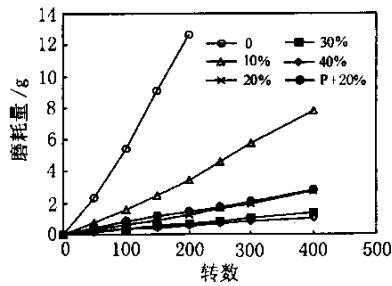


图1 不同质量分数树脂处理木陶瓷的耐磨性(无润滑)
Fig.1 Relationship between PF resin concentrations and wearability of WCS (no lubricant)

2.1.2 水润滑时的耐磨性 由于水在研磨过程中的润滑作用,试件的耐磨性提高,且以未经树脂处理试件的耐磨性提高幅度为最大(见图 2)。在研磨过程中,由于试件从砂轮表面吸收了大量水分而密度增大,磨屑不易被吸尘器吸走,而水滞留在试件表面起到润滑作用,故磨耗量大大降低。添加阻燃剂的树脂处理试件的耐磨性与其同质量分数树脂处理的试件相比依然没有提高。

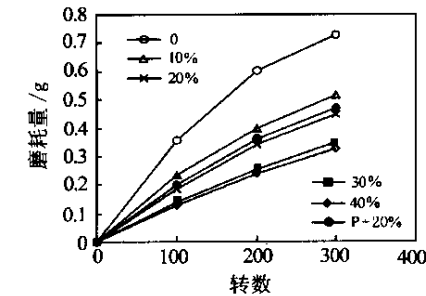


图2 不同质量分数树脂处理木陶瓷在水润滑下的耐磨性
Fig.2 Relationship between PF resin concentrations and wearability of WCS (water as lubricant)

2.2 木陶瓷的抗弯性能

木材密度和含水率是影响木材物理力学性质的重要因素,而对于木陶瓷而言,其含水率变化主要是由木陶瓷的孔隙吸附作用所致,对木陶瓷的力学性质影响很小,故本研究不做考虑。

表 2 列出了 800 ℃ 烧结木陶瓷的抗弯性能检测结果,可见,其抗弯强度和弹性模量随 PF 树脂质量分数的提高而增大。40% 树脂处理试件的抗弯强度比素材炭化试件提高 34%,比抗弯强度为 14.1 MPa/(kg·m⁻³),弹性模量比素材炭化试样提高 125%,比弹性模量为 5.57 GPa/(kg·m⁻³) ;20% 树脂与阻燃剂复合液处理的试件,其抗弯强度比无阻

燃剂的同质量分数树脂处理试件的高,但是比抗弯强度较低。

表 2 树脂质量分数对木陶瓷抗弯性能的影响

Tab.2 Effect of PF resin concentration on WCS's bending properties

树脂质量 分数/%	绝干密度/ (kg·m ⁻³)	抗弯强度/ MPa	比抗弯强度/ MPa/(kg·m ⁻³)	弹性模量/ GPa	比弹性模量/ GPa/(kg·m ⁻³)
0	0.41	5.63	11.71	1.33	2.77
10	0.41	5.87	12.22	1.48	3.07
20	0.52	6.48	12.55	1.38	2.68
30	0.52	6.89	13.15	2.03	3.87
40	0.54	7.56	14.10	2.99	5.57
P+20	0.62	7.03	11.38	1.17	1.90

2.3 木陶瓷的表面硬度

如表 3 所示,木陶瓷的表面硬度和比硬度均随树脂质量分数的增高而增大。在本试验范围内,木陶瓷的表面硬度随烧结温度的提高而略有增加。800 ℃ 下添加阻燃剂的树脂处理试样的表面硬度和比硬度分别为 7.40 MPa 和 11.98 MPa/(kg·m⁻³),比其同质量分数树脂无阻燃剂处理试样的表面硬度值低,说明尽管阻燃剂具有提高成炭率的作用,但是不能提高产品表面硬度。木陶瓷产品的断面抗压强度也随树脂质量分数升高而增加,随烧结温度的提高而增加。20% PF 树脂处理,烧结温度为 700 ℃ 试样的抗压强度比素材炭化试样提高近 30%,比抗压强度也提高 12% ;10% PF 树脂处理,烧结温度为 1 100 ℃ 试样的抗压强度比素材炭化试样提高 27%,比抗压强度提高 13% ;P+20% 树脂处理,烧结温度为 800 ℃ 试样的比抗压强度比素材炭化试样还略低。

2.4 SEM 分析结果

图 3 为木陶瓷断面有树脂包围着的细胞腔形态。通过扫描电镜观察发现,木材细胞壁的特征几乎消失,说明酚醛树脂对木材的细胞壁有润胀、填充的作用,掩盖了细胞壁特征,增强了细胞壁。图 4 为 P-木陶瓷的扫描电子显微图,阻燃剂的添加,改变了木陶瓷烧结过程中的热解机理,在木材纤维表面有气泡产

表 3 木陶瓷的表面硬度和抗压强度

Tab.3 Surface hardness and compression strength of WCS

树脂质量 分数/%	烧结温度/ ℃	绝干密度/ (kg·m ⁻³)	表面硬度/ MPa	比硬度/ MPa/(kg·m ⁻³)	抗压强度/ MPa	比抗压强度/ MPa/(kg·m ⁻³)
0	800	0.41	4.88	10.15	7.10	14.78
10	1100	0.54	8.01	14.90	8.99	16.72
20	700	0.55	10.65	19.46	9.10	16.62
30	1000	0.64	14.99	23.47	10.40	16.28
40	600	0.72	18.61	25.81	11.29	15.66
P+20	800	0.62	7.40	11.98	9.09	14.73

(下转第 13 页)

ii)系统(2.5)和(2.6)中的向量场 $\Phi_0 + \Phi$ 和 $\Phi_0 + \sum \theta_i \Phi_i$ 关于 z 满足全局 Lipschitz 条件。

从而也可以得如下结论：
考虑系统(1.1),如果 :假设 2.1,假设 2.3 和假设 2.4 成立 参数严格反馈条件(2.4)成立 ;参变量 $\theta \in \Omega$,一已知紧集上 ;那么存在一鲁棒跟踪静态的局部控制器,使得闭环系统的所有信号有界。且 $\lim_{t \rightarrow \infty} (y - y_d) = 0$,对所有的在领域 U^0 上的初始值都成立。

2 结论

本文讨论了非线性不确定系统的局部鲁棒跟踪问题。当未知参变量以线性和非线性形式出现时,给出了局部鲁棒跟踪自校正控制器和静态自校正控制器的设计。本文设计方法克服了文献[5]中的设计方法给控制器带来的不良“硬性”。本文考虑的是更加一般的输入—输出线性化系统的局部鲁棒跟踪问题。

(上接第 10 页)

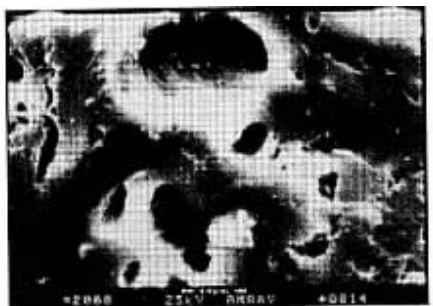


图 3 木陶瓷断面细胞腔的扫描电子显微图(×2000)
Fig.3 SEM analysis of WCS

生。由于气泡会给材料带来缺陷,揭示了添加阻燃剂处理不能进一步提高炭化材料力学性质的原因。

3 结论

- 1)酚醛树脂处理对提高炭化产品耐磨性有明显作用。在水润滑状态下,各试件的耐磨性提高,且以未处理试件的耐磨性提高幅度为最大。
木陶瓷的抗弯性能随树脂质量分数的提高而增大 表面硬度随处理树脂质量分数的增高而增大,随烧结温度增高而略有增加 断面抗压强度随树脂质量分数升高而增加,随烧结温度的提高而增加 ;阻燃剂尽管能提高成炭率,但是不能提高产品力学性质。
- 2)酚醛树脂对木材细胞壁有润胀、填充作用,增

参考文献：

- [1] 周玉成,刘晓平. 教育含约束的非线性不确定系统的鲁棒控制 [J]. 控制与决策,1998, 13(2) 7-15.
- [2] 周玉成,刘晓平. 具有最小相位的非线性时变不确定系统的鲁棒镇定 [J]. 信息与控制, 1996(5) 13-21.
- [3] 周玉成,刘晓平. 一类离散时间广义非线性控制系统的动态不可测扰动解耦 [J]. 系统工程理论与实践, 1998(12) 16-23.
- [4] 周玉成,刘晓平. 一类离散时间非线性系统的局部状态反馈解耦 [J]. 信息与控制. 1997(6) 17-26.
- [5] 周玉成,程放,李晓群. 一类非线性系统的鲁棒自校控制器设计 [J]. 木材工业,2003,17(3) 10-12.
- [6] 周玉成,程放,肖天际,等. 一类含不确定因素的非线性系统鲁棒跟踪 [J]. 林业科学,2003,39(2) 130-136.
- [7] Corless M R, Leitmann G. Continuous State Feedback Guaranteeing Uniform Ultimate Boundedness for Uncertain Dynamic Systems [J]. IEEE AC-26, 1981 : 1139-1144.
- [8] Kanellakopoulos I, Kokotovic P V, Marino R. An Extend Scheme for Robust Adaptive Nonlinear Control [J]. Automatica. 1991, 27(2) :247-255.
- [9] Kanellakopoulos I, kokotovic P V, Morse A S. Systematic Design of Adaptive Controllers for Feedback Linearizable Systems [J]. IEEE AC-36, 1991 :1241-1252.

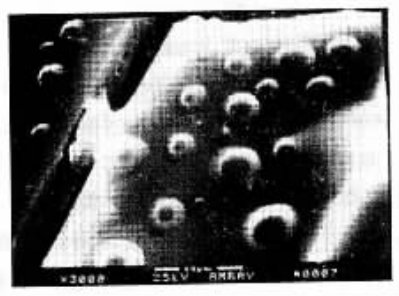


图 4 P-木陶瓷平面纤维的扫描电子显微图(×3000)
Fig.4 SEM analysis of P-WCS

强了细胞壁。而阻燃剂只改变了木陶瓷烧结过程中的热解机理,不能进一步提高炭化材料的力学性质。

参考文献：

- [1] Toshihiro O, Kouji S, Kazuo H. New Porous Carbon Materials, Wood-ceramics :Development and Fundamental Properties [J]. Journal of Porous Materials, 1996(2) 207-213.
- [2] 马荣. 木材陶瓷 [J]. 兵器材料科学与工程,1998, 21(6) 45-48.
- [3] 马荣. 木材陶瓷的制备与性能研究 [J]. 西安交通大学学报, 1998,32(8) 57-61.
- [4] 李淑君,刘一星,李坚. 木陶瓷的制造(Ⅰ)—实木陶瓷 [J]. 东北林业大学学报,2002,30(4) 5-7.
- [5] 刘一星,李淑君,李坚. 木陶瓷的制造(Ⅱ)—中密度纤维板木陶瓷 [J]. 东北林业大学学报,2002,30(5) 47-49.
- [6] GB 1927 ~ 1943-92, 木材物理力学试验方法 [S].