

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.06.009

PE-UHMW 塑烧板基板成型压力与烧结时间研究^{*}

侯文潭, 蒋炳炎, 周明勇, 何芳芳

(中南大学机电工程学院高性能复杂制造国家重点实验室, 长沙 410083)

摘要: 利用超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)粉末代替传统材料成型塑烧板基板,通过研究冷压压力对PE-UHMW粉末坯体孔隙率的影响及烧结颈随烧结时间的演变,确定了采用粉末压制烧结成型时成型压力应小于6 MPa,烧结时间应为30 min左右。通过对制件性能的检测及微观形貌的观察,验证了该参数成型的塑烧板基板符合孔径约为30~40 μm ,孔隙率大于40%,拉伸强度大于2 MPa的使用要求。

关键词: PE-UHMW; 塑烧板基板; 粉末压制烧结; 模具设计; 成型工艺; 性能检测

中图分类号: TQ320.63

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)06-0036-04

Forming Pressure and Sintering Time of PE-UHMW Sinter Plate Substrate

Hou Wentan, Jiang Bingyan, Zhou Mingyong, He Fangfang

(State Key Laboratory of High-Performance Complex Manufacturing, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: PE-UHMWPE powder was used to forming the substrate of sinter plate instead of the conventional material. The influence of cold compress pressure on porosity of the PE-UHMW powder was studied, and the development of sintering neck with sintering time was observed, then two key parameters that the forming pressure should be less than 6 MPa, and the sintering time should be about 30 min were determined by the experiments above-mentioned. Through properties detection and microstructure observation, the substrate of sinter plate produced under the key parameters above-mentioned could meet the requirements that pore size was 30-40 μm , porosity was greater than 40%, and tensile strength was above 2 MPa.

Keywords: PE-UHMW; substrate of the sinter plate; powder compress and sintering; mould design; moulding process; property detection

随着科技和工业化生产的发展,能源、资源、三废治理等问题愈发受到重视。高分离精度、高运行效率、高使用寿命的微孔过滤技术及微孔过滤材料,成为人们探究和研发的目标。目前在工业应用中普遍采用的过滤式除尘器主要包括布袋除尘器、滤芯除尘器和塑烧板除尘器,而塑烧板除尘器以其出色的性能和高昂的价格始终占领着高端市场。

塑烧板除尘器具有粉尘捕集效率高,压力损失稳定,清灰再生效果好,使用寿命长,结构紧凑,维护保养方便,能过滤含水、含油量高的粉尘及纤维粉尘等诸多优势,被广泛地应用于食品、冶金、生物医药、环境工程等工业分离过程^[1-3]。塑烧板由工作面厚度为3.5 mm,孔径约为30~40 μm ,孔隙率大于40%,拉伸强度大于2 MPa的多孔树脂基板和涂覆、渗透到基板表面的孔径约为2~3 μm 的聚四氟乙烯层组成。但由于塑烧板的外形特点使其成型难度和制造成本大幅提高,核心技术一直为国外所有,国内市场推广受到限制。

由于超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)多孔材料具有质轻、表面光滑、不易腐蚀、吸水少、耐疲劳、反吹再生性能好等优点^[4-5],使PE-UHMW适于代替传统的复合组分配方成型塑烧板基板。在PE-UHMW多孔材料的成型方法中,粉末压制烧结法的工艺流程最简单、投资少、成本低,可成型外形复杂的制件^[6]。因此,笔者选择粉末压制烧结来成型塑烧板基板。

在PE-UHMW粉末的压制烧结过程中,成型压力和烧结时间是影响制件性能的关键因素。通过探讨成型压力对粉末坯体孔隙率的影响规律,观察颗粒间烧结颈随烧结时间的演变过程,获得了最优的成型压力范围和最合适的烧结时间。针对塑烧板的

^{*} 国家自然科学基金重大研究计划(91123012)、国家自然科学基金项目(50475140)

联系人: 蒋炳炎,教授,主要从事新材料的加工技术、微注射成型及超精密加工研究

收稿日期: 2012-03-15

波浪形外形,设计了粉末压制烧结成型模具,通过实验制备和制件性能检测验证了压制烧结工艺参数选择的正确性。

1 压力对孔隙率的影响及烧结颈的微观演变

1.1 实验原材料

采用相对分子质量为 2×10^7 g/mol,堆积密度为 0.4 g/cm^3 的 PE-UHMW,粒径分布范围为 $53 \sim 850 \text{ }\mu\text{m}$ 。

1.2 仪器及设备

动态试验机:Instron 8032 型,英国 Instron 公司;
高温显微结构图像分析仪:DM REX 型,德国 Leica 公司;

场发射扫描电子显微镜(SEM):Sirion200 型,荷兰 Philips 公司。

1.3 PE-UHMW 粉末冷压实验

为研究成型压力对粉末坯体孔隙率的影响,采用动态试验机,以 500 N/s 的加载速率对 PE-UHMW 粉末进行冷压成型,压力峰值为 22.5 MPa 。实验模具型腔直径为 32 mm ,加料量为 5 g 。通过公式 $h=h_{\text{loose}}-h_{\text{dis}}$ 获得粉末坯体在压制过程中的实时高度,其中 h_{loose} 为粉末的松装高度, h_{dis} 为万能试验机压头的下压距离。由公式 $\rho=m/v$ 计算出试样的实时密度,再利用公式(1)计算坯体的孔隙率 θ 。

$$\theta = 1 - \frac{\rho}{\rho_d} \times 100\% \quad (1)$$

式中: θ ——试样的孔隙率;

ρ ——实时坯体密度;

ρ_d ——致密体密度,取 PE-UHMW 致密体的密度为 0.947 g/cm^3 。

PE-UHMW 粉末的位移加载曲线和孔隙率随压力的变化关系曲线如图 1 和图 2 所示。

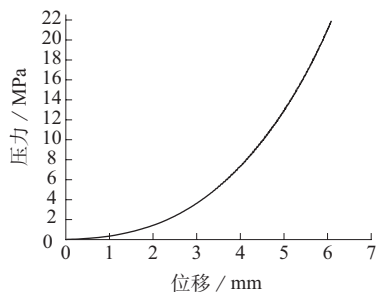


图1 位移加载曲线

由图 2 可知,随着压力的增大,坯体的致密程度增加,粉末间的孔隙逐渐减少,孔隙率随之降低。当成型压力小于 6 MPa 时,满足塑烧基板孔隙率大于 40% 的要求。在 PE-UHMW 多孔材料的工业生产中,

根据孔隙率要求选择适宜的成型压力,从而做到可控制造。

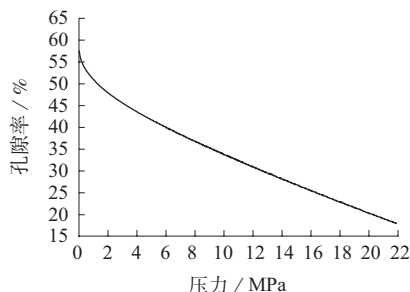
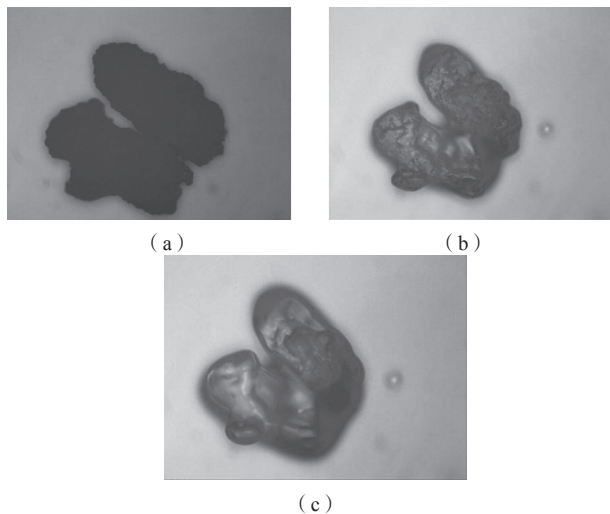


图2 孔隙率随压力的变化

1.4 烧结颈微观演变观察实验

选取一对粒径约为 $250 \text{ }\mu\text{m}$ 的 PE-UHMW 粉末,采用高温显微结构图像分析仪,以 30°C/min 的升温速率快速加热到 160°C 后保温 1 h ,观察颗粒间烧结颈随烧结时间的生长情况。

烧结过程中烧结颈的生长情况如图 3 所示。随着烧结的进行,颗粒体积收缩且表面熔化,颗粒间的烧结颈逐渐形成并增大。保温 900 s 时,可观测到烧结颈的形成,但形貌及大小不明显;保温 1800 s 时,烧结颈形态最佳,且颗粒间仍存在一定间隙;保温 2700 s 时,颗粒接近完全熔化,颗粒间的间隙被熔体填补,使两颗粒融为一体。因此,为保证 PE-UHMW 塑烧板孔径和孔隙率满足使用要求,确定最佳烧结时间为 30 min 左右。



a—保温 900 s ; b—保温 1800 s ; c—保温 2700 s

图3 烧结过程中烧结颈的生长情况

2 塑烧板基板成型及性能检测

塑烧板基板的三维模型如图 4 所示。模型 X 方向长度为 51 mm , Z 方向长度为 60 mm , Y 方向高度为 24.72 mm 。

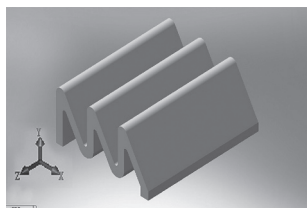


图4 塑烧板基板三维模型

2.1 PE-UHMW 塑烧板成型实验

采用粉末压制烧结成型的 PE-UHMW 塑烧板基板成型的基本工艺流程如图 5 所示。

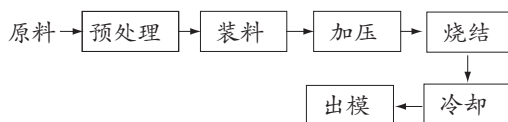
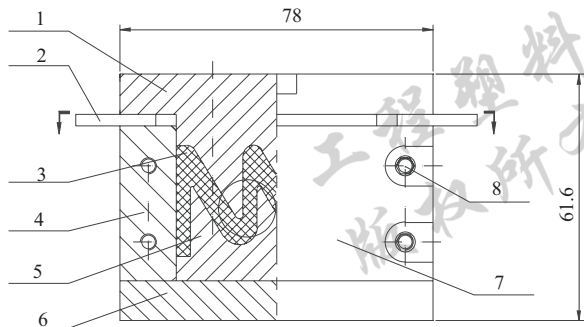


图5 塑烧板基板压制烧结工艺流程

根据研究结果,确定烧结时间为 30 min,选用 6 MPa 以下的压力作为 PE-UHMW 粉末的成型压力。压制烧结成型模具设计如图 6 所示。



1—上凸模; 2—垫块; 3—PE-UHMW 粉末; 4—左右支撑板;
5—下凸模; 6—底板; 7—前后支撑板; 8—螺钉

图6 塑烧板基板粉末压制烧结成型模具示意图

2.2 性能测试及微观形貌观察

综合考虑塑烧板的主要功能、用途和使用要求,采用孔径、孔隙率和拉伸强度作为考察制件性能的 3 个指标。为避免误差的干扰,成型制件 5 个,最终取其测试结果的平均值。

①孔隙率的测定。由于塑烧板形状的特殊性,为确保结果的准确性并降低操作难度,采用吸渗法来测量其孔隙率,采用与 PE-UHMW 接触角较小即浸润性较好的无水乙醇作为浸泡介质。 θ 采用公式 (2) 计算:

$$\theta = \frac{m_2 - m_1}{\rho V} \quad (2)$$

式中: m_2 ——介质浸泡饱和后试样的质量, g ;

m_1 ——干燥试样的质量, g ;

ρ ——无水乙醇的密度, 0.789 g/cm^3 ;

V ——多孔材料的体积, cm^3 , 制件的体积为 30.059 cm^3 。

②最大孔径的测定。采用气泡法测量 PE-UHMW 塑烧板的最大孔径,将试样固定于自制的多孔材料透气性能检测装置上。当流经样品室的气体压力从小逐渐增大到某一定值时,气体将推开孔隙中的液体并冒出气泡,测出第一个气泡出现时的压差 ΔP ,最大孔径采用公式 (3) 计算:

$$r_{\max} = \frac{4\sigma}{\Delta P} \quad (3)$$

式中: $r_{\max}$ ——多孔材料的最大孔径半径, m ;

σ ——浸润液体的表面张力,无水乙醇为 $23 \times 10^{-3} \text{ N/m}$;

ΔP ——静态下试样两面的压力差, Pa。

③拉伸强度的测定。将塑烧板试样上形状规则的矩形体切下,用夹具将该试样装夹固定于万能试验机上,以 2 mm/min 的速率进行拉伸,并记录软件测绘出的反映位移与拉力变化关系的曲线,拉伸强度采用公式 (4) 计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{b \times d} \quad (4)$$

式中: σ_t ——拉伸强度, MPa ;

P ——最大负荷, N ;

b ——试样横截面的长度, mm ;

d ——试样横截面的宽度, mm。

④微观形貌观察。采用 SEM 观察制件内部的微观形貌及烧结颈的生长情况并拍照,以确定该方案的可行性。

3 检测结果分析

根据上述工艺参数制备出的塑烧板基板照片如图 7 所示。

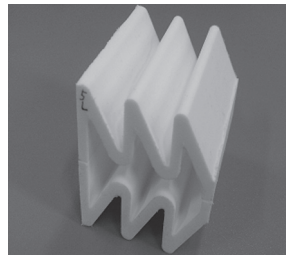


图7 粉末压制烧结成型的 PE-UHMW 塑烧板基板照片

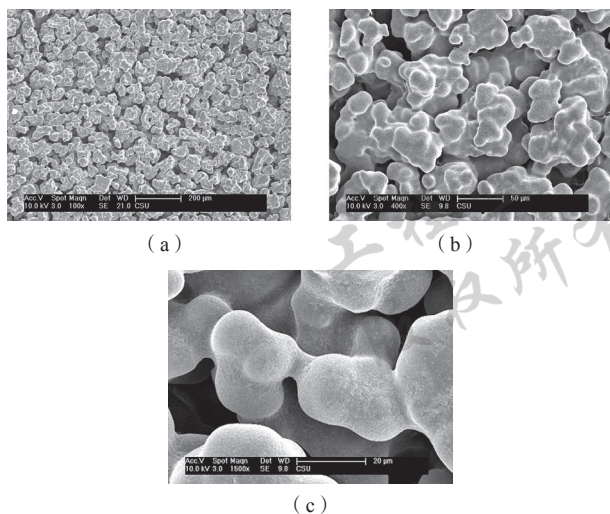
3.1 基板尺寸和强度检测

基板 Z 方向存在一定收缩,平均长度为 58.76 mm,收缩率约为 2.07%, X 方向和 Y 方向基

本无收缩。因此,为确保制件收缩后的尺寸满足使用要求,应在模具设计时留有余量。基板工作面满足厚度 3.5 mm 的要求,无明显翘曲变形,无裂纹、凹陷、缺损等缺陷,表面光洁无松散颗粒存在。制备出的塑烧板基板强度、韧度较高,在外力作用下发生弹性弯曲,卸载后可恢复原貌。切割下横截面尺寸为 16 mm×3.5 mm 的试样进行拉伸实验,测得该制件的拉伸强度为 2.43 MPa,满足强度要求。

3.2 基板孔径、孔隙率检测及微观形貌观察

测得基板的最大孔径的均值为 38 μm ,孔隙率均值为 46.78%,因此根据产品孔隙率选择成型压力的方法具有一定的可行性。合格基板表面的微观形貌如图 8 所示。从图 8 可以看出,制备出的多孔材料中含有大量贯通孔隙,颗粒表面光滑,临近颗粒颈牢固地彼此连在一起,形成交错的三维网状结构,



a—75 倍; b—400 倍; c—1500 倍

图 8 满足要求的 PE-UHMW 塑烧板基板 SEM 照片

烧结颈处无明显熔接痕,空隙间无游离粉末存在,可见该多孔材料的质量可靠。因此选取烧结时间为 30 min 对于制备出性能优异的烧结制件有较高的借鉴意义。

4 结论

(1) 在 PE-UHMW 粉末的压制过程中,孔隙率随压力的增大而降低,在烧结过程中,颗粒表面逐渐熔化,颗粒间的烧结颈随烧结时间的增加逐渐增大,颗粒间的间隙逐渐消失。确定 PE-UHMW 塑烧板基板的成型压力应小于 6 MPa,烧结时间应为 30 min 左右。

(2) 采用粉末压制烧结法成型的 PE-UHMW 制品收缩率较大,沿制件长度方向的收缩率达 2.07%,在模具设计时应预先考虑尺寸余量。

(3) PE-UHMW 可替代传统复合材料成型塑烧板基板,对 PE-UHMW 采取压制烧结成型是制造塑烧板基板的可靠途径。

参考文献

- [1] 黄平男,张建文,陈贤树. 新一代高效超细粉体收集器[J]. 中国非金属矿工业导刊,2003(3):23-24.
- [2] 张继龙. 塑烧板除尘器在冶金行业中的应用[J]. 新疆钢铁,2005(2):44-45.
- [3] 龙飞. 塑烧板除尘器在钢管厂热连轧除尘系统中的应用[J]. 工业安全与环保,2010,36(9):12-13.
- [4] 刘英,刘萍,陈成泗. 超高分子量聚乙烯的特性及应用进展[J]. 国外塑料,2005,23(11):65-68.
- [5] Souto K M, Silva A A, et al. Evaluation and characterization of UHMWPE membrane to be used in the oil/water Separation[J]. Revista Matéria,2005,10(3):447-454.
- [6] 李启厚,刘志宏,张多默. 粉末烧结法制备 UHMWPE 多孔材料[J]. 现代塑料加工应用,1999,11(1):17-19.

竞争力亟待增强,我国改性塑料行业期待飞跃

随着人民生活水平的大幅提高和技术手段的进步,我国“以塑代钢”、“以塑代木”逐渐成为一种趋势。而作为塑料加工行业大类中发展较快且发展潜力较大的一个子类行业,改性塑料行业无疑更受人期待。

我国改性塑料行业近年来发展迅猛,其产量和消费量年均增长分别达到 20% 和 15%。作为化工新材料领域中的一个重要组成部分,改性塑料已被国家列为重点发展的科技领域之一。自 2007 年以来,我国已经陆续出台各项政策推进改性塑料行业发展,行业的发展步伐也进一步加快。

虽然我国改性塑料行业取得了喜人的发展成绩,其背后的的问题仍然不容忽视。一方面,我国改性塑料行业还处在发展初期阶段。主要体现在:总体发展水平不高、行业内企业的生产规模普遍偏小及产品附加值低等。

另一方面,虽然我国改性塑料年总需求在 500 万 t 左右,约占全部塑料消费量的 10%,但仍远低于世界平均水平的 20%。此外,作为衡量一个国家塑料工业发展水平的指标——塑钢比,我国仅为 30:70,不及世界平均的 50:50。由此可见,我国人均塑料消费量与世界发达国家相比还有很大的差距。

目前国内改性塑料市场的整体情况,我国改性塑料企业的竞争力明显落于下风。资料显示,大部分改性塑料市场被国外企业所占据,而国内改性塑料企业仅占有不到 1/3 的市场份额。

对此,有关专家指出,我国改性塑料企业亟待提高自身的综合竞争力,尤其是加强高性能、高科技产品的投入和研发力度,从而摆脱低技术含量、低标准的局面,推动我国改性塑料的飞跃发展。

(中聚网)