

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.11.010

汽车止推垫片注塑成型工艺及性能研究^{*}

杨培娟¹, 黄健²

(1. 浙江经贸职业技术学院, 杭州 310018; 2. 杭州盟盟特科技有限公司, 杭州 311254)

摘要:以聚酰亚胺(PI)为主体材料,添加少量的石墨和聚四氟乙烯,通过挤出成型工艺得到PI复合颗粒。并进一步注塑成型为汽车用止推垫片,主要探讨了注塑成型温度和压力对其成型性能和力学性能的影响。结果表明,随着注塑温度升高,PI试样的拉伸强度、冲击强度和压缩强度都提高,当注塑温度超过360℃时,力学性能有所下降,注塑温度过高或过低都会使试样性能下降;在合适的注塑温度下,适当提高注塑压力,有利于提高试样的力学性能。最佳的注塑工艺条件为:注塑温度为360℃,注塑压力为120~150 MPa。对在最佳工艺条件下注塑的PI试样,用退火的方式进行热处理,发现在200℃时处理30 min,试样的力学性能最佳。通过优化注塑成型工艺制备的汽车用止推垫片性能优异、耐温性好、抗蠕变强、耐磨性好、耐油性好、力学强度高,而且阻燃性能优异,完全符合汽车用止推垫片性能要求。

关键词:热塑性聚酰亚胺; 注塑成型; 止推垫片

中图分类号: TQ323.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)11-0044-04

Study on Injection Molding Technology and Properties of Thrust Washer

Yang Peijuan¹, Huang Jian²

(1. Zhejiang Economic & Trade Polytechnic, Hangzhou 310018, China; 2. Hangzhou Surmount Sci & Tech Co., Ltd., Hangzhou 311254, China)

Abstract : By using thermoplastic polyimide (PI) as the matrix and some graphite and PTFE, the composite pellets were made through extrusion process. Taking these pellets as raw material for injection molding into thrust washer, the effects of injection temperature and pressure on the molding properties were also investigated. The results show that with the increase of the injection temperature, the tensile strength, impact strength, and compressive strength of the TPI samples molded increase. When the injection temperature is above 360℃, the mechanical properties of the samples molded decrease. As the injection temperature is fixed at 360℃, increasing the injection pressure can improve the molding properties. The optimal injection molding conditions of TPI are that the injection temperature is 360℃, and the injection pressure is 120~150 MPa. The samples molded under the optimal injection conditions were treated by annealing method. It is found the optimal annealing process is putting the samples molded at 200℃ for 30 min. At last, the thrust washer samples of the automobile vehicle were produced at the optimal injection molding condition. The properties of the products were also investigated. The Thrust washers have high temperature performance, low thermal expansion coefficient, low friction coefficient, excellent oil resistance, good mechanical properties, and excellent flame retardant. In a word, the thrust washers molded meet the requirements for the automobile vehicle.

Keywords : thermoplastic polyimide ; injection molding ; thrust washer

止推垫片是汽车中必不可少的零部件之一,其主要功能是当汽车在行驶中发动机曲轴受到热膨胀而伸长或受斜齿轮及离合器等轴向力作用而产生轴向移动时,避免曲轴与机体间产生直接接触。止推垫片最早采用进口铜铅合金双金属带加工而成^[1]。因为金属止推垫片摩擦性能不稳定,容易发生合金层剥离现象,而且生产工艺复杂,生产成本低,因此人们开始采用塑料来代替金属材料生产止推垫片,止推垫片功效要求所采用的材料应具有耐摩擦性能好、蠕变小、适合高速运转、耐温性好且力学强

度高等特点。南京塑料二厂^[2]采用填充聚四氟乙烯(PTFE)制备止推垫片,来取代进口制品。该厂技术人员选定添加碳纤维增强PTFE配方,该产品能代替日本进口产品,技术上达到国内先进水平。Solvay高级聚合物公司生产的AT-6130HS含30%玻璃纤维增强的高伸长率聚邻苯二甲酰亚胺(PPA)树脂,用于生产自动变速箱内的止推垫片。由通用

^{*} 浙江省教育厅访问工程师项目(FG2014094)

联系人: 杨培娟,讲师,主要从事汽车材料和应用技术研究

收稿日期: 2015-08-22

汽车公司设计的这项应用技术包括一个操作温度在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 内的控温系统,材料必须能承受高压并且耐磨。新型止推垫片正由位于美国印第安纳州的 South Bend Plastics 公司使用 Amodel 品级 AT-6130 材料进行生产^[3]。美国 Lehvoss 公司推出的 Luvocom 8000 新材料在保留原力学性能的基础上,其摩擦磨损特性大大超越之前的材料^[4]。该公司用于止推垫片的研究结果表明,与使用 PTFE 润滑的行业标准聚醚醚酮 (PEEK) 相比,使用 Luvocom 8000(一种 PEEK 材料)可降低多达 $2/3$ 的磨损率。该材料对金属如不锈钢、碳钢、铝和轴承钢都显示出优越的摩擦磨损性能,广泛用于汽车、工业、医疗和能源领域所涉及的止推垫片、密封圈等磨损部件的应用。美国 BP Amoco 化学品和工程聚合物公司在原 Amoco 公司的技术和产品基础上推出许多汽车业用工程塑料,具有高比强度和高比刚性,其中聚酰胺亚胺 (PAI, 商品名 Torlon) 系列牌号已成功用于汽车部件上,替代老的传统材料,使部件性能更好,寿命更长^[5]。

由于止推垫片工况条件苛刻,通常在高温、高速摩擦下使用,需要材料具有高强度、耐高温、尺寸稳定性佳、耐磨损性能优异等性能。热塑性聚酰亚胺 (PI) 作为特种工程塑料,在所有高分子材料中耐摩擦性能最好,其 PV 极限值是普通塑料的十倍以上,笔者在前期研究的基础上^[6-7],拟将国产 PI 为主体材料,通过注塑成型制备汽车用止推垫片,优化了注塑成型工艺条件并考察了止推垫片产品的性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PI: SS100, 杭州塑盟特科技有限公司;

石墨、PTFE: 市售。

表 1 为 PI 复合材料配方。

表 1 PI 复合材料配方

PI	PTFE	石墨
80 ~ 88	2 ~ 8	5 ~ 15

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机: CTE-35 型, 南京科倍隆公司;

立式注塑机: HL-1000 型, 常州市弘意德塑料机械制造有限公司。

1.3 试样及制品制备

将 PI、少量石墨和 PTFE 经过双螺杆挤出机挤出造粒, 然后在立式注塑机注塑成型, 得到所需测试样条和制品。

注塑成型工艺主要有三个步骤: 成型前烘干处理和加温塑化, 注塑成型过程和制品退火处理, 具体见图 1。

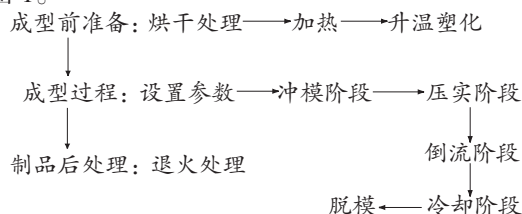


图 1 注塑成型工艺流程图

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB/T 1447-2005 进行测试;

冲击性能 (简支梁无缺口) 按 GB/T 1451-2005 进行测试;

压缩强度按 GB/T 1041-2008 进行测试;

弯曲强度按 GB/T 1449-2005 进行测试;

密度测定按 GB/T 1033.1-2008 进行测试;

耐溶剂性能按 GB/T 11547-2008 进行测试;

垂直燃烧按 GB/T 2408-2008 进行测试;

洛氏硬度按 GB/T 3398.2-2008 进行测试;

摩擦性能按 GB/T 3960-1989 进行测试, 负荷 20 kg, 转速 200 r/min;

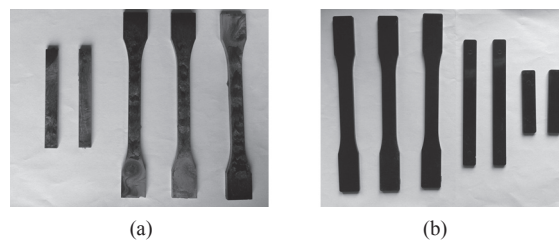
热变形温度按 GB/T 1634.2-2004 进行测试, 负荷 1.8 MPa;

膨胀系数按 GB/T 1036-1989 进行测试。

2 注塑成型工艺优化

2.1 注塑温度、注塑压力对制品力学性能的影响

注塑压力保持在 120 MPa, 模具温度为 200°C , 考察在 320°C 和 360°C 两种注塑温度对 PI 成型性能的影响, 注塑的样条分别见图 2a 和图 2b。



注塑温度: a— 320°C ; b— 360°C

图 2 两种注塑温度下的注塑样条

由图 2a 可以看出, 当注塑温度过低时, 因为 PI 熔体黏度过大, 流动性太差, 出现了充模不满和银纹紊乱等现象, 制品不密实, 力学性能一般。提高注塑温度至 360°C , 物料熔体黏度降低, 流动性增强, 有利于充模, 同时银纹消失, 制品质量明显改善, 见图 2b。由此可见, 注塑温度设在 360°C 左右比较合适。

表2为注塑温度和注塑压力对制品力学性能的影响。

表2 注塑温度和注塑压力对制品力学性能的影响

试样 编号	料筒温度 / ℃	注塑压力 / MPa	拉伸强度 / MPa	冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	压缩强度 / MPa
1 [#]	340	100	52.67	126.42	132.71
2 [#]	340	120	50.11	123.56	136.25
3 [#]	340	150	50.75	120.06	129.87
4 [#]	360	100	86.65	166.52	143.21
5 [#]	360	120	95.23	182.31	152.54
6 [#]	360	150	93.61	184.84	151.74
7 [#]	380	100	85.21	174.21	143.52
8 [#]	380	120	72.24	165.22	138.52
9 [#]	380	150	62.52	155.74	138.96

由表2可以看出,当注塑温度较低(340℃)时,制品的力学强度较差,在此条件下,提高注塑压力并不能提高力学强度,这是因为温度较低,PI物料没有充分熔融,流动性差,注塑过程中充模不好,提高注塑压力虽然能提高物料的流动性,但由于内部混合不均匀,导致内应力增加,从而使得力学强度降低。提高注塑温度至360℃,制品的拉伸强度、冲击强度和压缩强度明显提高,这是因为随着注塑温度的升高,物料熔体的黏度降低,流动性增大,使得熔体充模顺利,制品内部温度和压力分布均匀,因此力学性能随之提高。这是因为提高注塑压力可增加熔体剪切力,使流动分子链取向程度提高,从而有利于提高制品的力学强度。而进一步提高注塑温度至380℃时,熔体黏度更低,流动性进一步增强,在较低的注塑压力下,可以获得理想的力学强度。此时提高注塑压力,制品的内应力会增大,使得拉伸强度和冲击强度下降。此外,随着熔体温度的升高,分子链活动性增强,解取向作用提高,导致分子链取向降低。注塑压力的提高虽然会提高分子取向,但随着流动性提高,充模时间减少,分子链受剪切力的作用时间也减少,相对的熔体在模具中的保压时间增加,此时物料熔体温度较高,松弛过程加快,在一定程度上抵消因提高注塑压力而产生的剪切作用^[8]。另外,由于熔体温度过高,再加上料筒里螺杆的剪切作用,可能会产生部分分子链降解,从而导致制品的力学强度下降。

从以上分析可以看出,注塑温度和压力对制品的力学性能影响情况比较复杂,过高或过低温度都不利于制品性能的提高,其最佳的成型工艺条件为:注塑温度:360℃;注塑压力:120~150 MPa。

2.2 退火处理对制品力学强度的影响

由于高分子材料在料筒里塑化不均匀或在模

具型腔内冷却速度不同,因此常会产生不均匀的结晶、定向取向和收缩,导致制品内部产生内应力。有内应力的制品在使用过程中常会发生力学强度性能下降,表面有银纹,甚至制品开裂变形,解决这些问题的方案就是对制件进行有效的退火处理^[9]。退火处理的本质是强迫冻结的分子链得到松弛,从而消除成型过程中产生的内应力。表3是不同退火条件对注塑制品力学强度的影响。注塑工艺参数为:注塑温度为360℃,注塑压力为120 MPa,制品的退火时间均为30 min。退火温度分别为180,200,220℃,试样分别标记为5[#]-1,5[#]-2,5[#]-3。

表3 退火处理对力学性能的影响

试样编号	退火温度 / ℃	拉伸强度 / MPa	冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	压缩强度 / MPa
5 [#] -1	180	94.84	182.56	153.98
5 [#] -2	200	92.63	195.51	163.52
5 [#] -3	220	85.41	196.46	164.85

由表3可知,退火条件对制品的力学性能影响较大,在退火温度较低(180℃)时,制品的力学强度没有提高;当退火温度提高到200℃时,制品的拉伸强度从95.23 MPa降到92.63 MPa,冲击强度从182.31 kJ/m²提高到195.51 kJ/m²,压缩强度从152.54 MPa提高到163.52 MPa;当退火温度在220℃时,拉伸强度由95.23 MPa大幅降到85.41 MPa,冲击强度由182.31 kJ/m²提高到196.46 kJ/m²,压缩强度从152.54 MPa提高到164.85 MPa。由此可知,退火温度过低,效果不明显,退火温度过高,制品内分子链的解取向增加,分子链缠绕减少,导致制品拉伸强度显著下降。在200℃时退火,温度适宜,冲击和压缩强度得到提升,而拉伸强度基本不变,因此优化的退火工艺条件为200℃退火30 min。

3 产品性能

图3为止推垫片产品。



图3 止推垫片产品

由图3可以看出,制备的产品色泽均匀,韧性好,充实度高,产品致密。而且性能优异,具体见表4。由表4可知,以PI为基体材料,经过注塑成型工艺优化,得到了性能优异的止推垫片产品,具体表现

在力学强度高,膨胀系数小,摩擦系数低,耐温性高,阻燃级别高,而且耐油性佳,非常适合用于高压和高速运转的工况环境。经过客户试用,完全符合汽车用止推垫片的各项性能要求。

表4 产品综合性能

项目	数据
密度/(g·cm ⁻³)	1.40
吸水率(20℃,浸泡24 h)/%	≤0.2
弯曲强度(20℃)/MPa	145
拉伸强度(20℃)/MPa	93
压缩强度(20℃)/MPa	163
冲击强度(20℃)/(kJ·m ⁻²)	195
摩擦系数(对钢)	0.32
洛氏硬度	108
热变形温度/℃	250
阻燃级别	V-0
膨胀系数/(×10 ⁻⁶ /K)	36.5
耐93#汽油(室温,72 h)	无变化
耐0#柴油(室温,72 h)	无变化

4 结论

(1) 采用国产PI为原料,考察了注塑成型工艺对其力学性能的影响,确定最佳成型工艺条件:在360℃下,注塑压力为120~150 MPa。

(2) 随着热处理温度的提高,注塑样条的拉伸强度下降,而冲击强度和压缩强度提高,综合兼顾力学性能,确定热处理温度在200℃为宜,处理时间30分钟。

(3) 在上述优化的注塑成型工艺条件下,研究了止推垫片的性能,结果显示该产品力学强度高、抗蠕变性好,摩擦性能优异,耐油性强。

参考文献

- [1] 蒋玉琴. 6102 发动机止推垫片合金层剥落原因分析[J]. 理化检验—物理分册, 2000, 36(7): 318-320.
Jiang Yuqin. Alloy layer peeling of 6102 engine thrust washer

was analyzed [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part A: Physical Testing, 2000, 36(7): 318-320.

- [2] 国营南京塑料二厂. 填充聚四氟乙烯止推垫片轴唇轴承研制[J]. 有机氟工业, 1990(1): 22-23.
Nanjing Second Plastics Factory. The study of bearing made by filling PTFE[J]. Organo-Fluorine Industry, 1990(1): 22-23.
- [3] 《国外塑料》编辑部. PPA 首次用作推力垫圈[J]. 国外塑料, 2004, 22(3): 56.
《World Plastics》Editorial Department. PPA was used as the thrust washers firstly[J]. World Plastics, 2004, 22(3): 56.
- [4] 《塑料工业》编辑部. 新型高耐磨性 PEEK[J]. 塑料工业, 2014(5): 132.
《China Plastics Industry》Editorial Department. The novel PEEK with high wear resistance[J]. China Plastics Industry, 2014(5): 132.
- [5] 唐伟家. 汽车用聚酰胺亚胺[J]. 上海塑料, 2003, 3(1): 42-43.
Tang Weijia. Polyimides used in the car[J]. Shanghai Plastics, 2003, 3(1): 42-43.
- [6] 王锐兰, 杨培娟, 查道鑫, 等. 热固性聚酰亚胺/石墨复合材料的性能[J]. 塑料, 2013, 42(4): 90-93.
Wang Ruilan, Yang Peijuan, Zha Daoxin, et al. Properties of thermosetting polyimide/graphite composites[J]. Plastics, 2013, 42(4): 90-93.
- [7] 杨培娟, 黄健. 热塑性聚酰亚胺/玄武岩纤维复合材料[J]. 塑料, 2014, 43(3): 85-88.
Yangpei Juan, Huang Jian. Thermoplastic polyimide/basalt fiber composites[J]. Plastics, 2014, 43(3): 85-88.
- [8] 孔玲佩, 肖作良, 段友顺, 等. 聚碳酸酯注塑工艺条件研究[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(5): 54-57.
Kong Lingpei, Xiao Zuoliang, Duan Youshun, et al. Study on injection molding technology of polycarbonate[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5): 54-57.
- [9] 刘守荣. 塑料成型工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
Liu Shourong. Plastic molding engineering [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2006.

PEEK 取代金属应用于飞机机门零部件

空中巴士直升机公司 (Airbus Helicopters) 在 Airbus A350-900 机门的一个配件上以高模量、碳纤维增强 PEEK 树脂替代铝材。据悉, 这款 PEEK 树脂由英国威格斯公司提供。由 Victrex PEEK 90HMF40 制成的支架目前已经量产, 进行商业应用。以此取代金属件使飞机的重量和成本下降了 40%。

A350XWB 机门的纤维增强聚合物 (FRP) 结构采用了外部表层+内部支撑结构。新配件将外部表层和内部支撑结构点状连接在一起。两个配件形成了一个盒状结构, 可以将断面惯性矩最大化。空中巴士直升机机门研究和技术主管 Christian Wolf 解释了 PEEK 配件的重要性: “按照标准负荷情况, 比如内舱压力, 这种点状连接降低了外部表层的变

形, 从而维持机门空气动力特性。机门的每一个零部件都有各自的备用设计, 如果支架旁边的零部件坏了, 支架将会提供一个备用通道来转移结构负载。”

用碳纤维增强高性能 Victrex PEEK 90HMF40 来取代以前所用的铝材, 空中巴士直升机已经成功制造出具备多种优势的零部件。除了前面提及的减重和省成本外, 以 PEEK 零部件替代铝制件, 使钻孔变得更加容易。而且, 优化后的碳纤维增强塑料钻头可以改善孔的质量。

Victrex PEEK 90HMF40 是空中巴士的一款指定材料, 这款热塑性材料可承受不断在机门内部积聚的湿气, 而铝材需要在表面附上一层特殊涂层才能耐湿耐腐蚀。这种碳纤维增强 PEEK 制件还可回收制成其他零部件, 应用于其它有相似要求的领域。
(中塑在线)