

活门盘氟塑料热压工艺研究

王 慧, 汤 亮, 贺 平, 胡武利
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 针对活门盘的结构特点和密封要求, 全面分析了活门盘的密封机理, 得出活门盘密封比压应大于活门所需密封比压, 给出了计算公式, 并进行了活门盘热压工艺研究。采用该工艺压制的活门盘密封比压满足理论要求, 产品通过了试验验证, 满足设计要求, 并通过了飞行试验考核。

关键词: 活门盘; 氟塑料; 热压工艺; 密封比压

中图分类号: V432-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2013) 05-0082-05

Research on heat pressing technology of fluorocarbon valve disc

WANG Hui, TANG Liang, HE Ping, HU Wu-li
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: According to the structural features and seal requirements of the valve disc, the seal mechanization of the valve disc is analyzed comprehensively. A conclusion that the specific pressure should exceed the pressure of the medium was obtained. The research on heat pressing technology of the fluorocarbon valve disc was carried out to seek out right parameters. A formula to compute specific pressure of the valve disc is offered in this paper. The seal specific pressure of valve disc made by heat pressing technology can meet the theoretical and design requirements. The product passed the test and flight assessment.

Keywords: valve disc; fluorocarbon; heat pressing technology; seal specific pressure

0 引言

氟塑料聚全氟乙丙稀具有优良的耐介质性能, 可以与金属基体直接热压成型, 广泛用于火

箭发动机和民用机械制造领域, 如发动机隔离阀和减压阀等^[1]。

在液体火箭发动机中, 主机机关活门起着隔离氧化剂与燃料、控制发动机关机的作用, 活门盘的密封性能是实现活门功能和保证发动机可靠

收稿日期: 2012-08-23; 修回日期: 2012-10-17

作者简介: 王慧 (1982—), 女, 硕士研究生, 研究领域为液体火箭发动机橡塑密封

工作的保障, 其密封部位采用的材料是聚全氟乙丙稀。

1 活门盘结构与设计要求

1.1 活门盘结构

活门盘结构见图 1。活门盘氟塑料热压成型的毛坯结构见图 2。从图 2 可见, 活门盘由金属基体和氟塑料 2 部分组成, 其中排气孔在氟塑料热压过程中起排气作用。

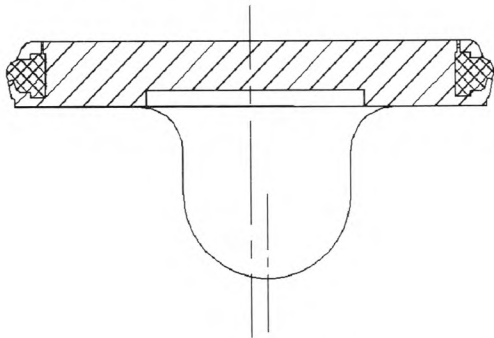


图 1 活门盘结构图
Fig. 1 Structure of valve disc

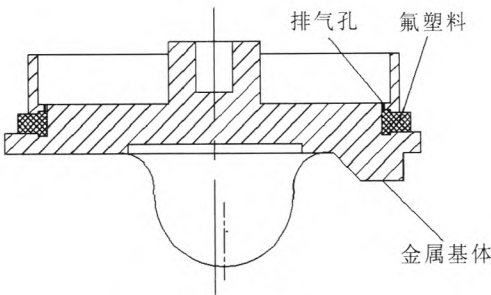


图 2 活门盘毛坯结构图
Fig. 2 Structure of semifinished product of valve disc

1.2 活门盘性能指标

活门盘的使用性能指标见表 1^[2-3]。

表 1 活门盘使用性能指标
Tab. 1 Specifications of valve disc

工作介质	工作压力	工作温度	工作时间	漏量要求
偏二甲肼、四氧化二氮	0.6 MPa	-45~+55 ℃	20 min	<1 ml/s

2 理论分析

2.1 聚全氟乙丙稀材料性能

聚全氟乙丙稀 有 Fs46-5 和 FR462 两种牌号, 其物理性能见表 2。从表 2 可见, 聚全氟乙丙稀拉伸性能较高, 耐温范围宽, 适用于活门盘热压工艺。

2.2 密封机理分析

活门盘装配成活门的结构见图 3。从图 3 可见, 活门盘漏气模式有泄漏和窜漏 2 种: 一种从位置 C 漏气, 即活门盘与活门座之间漏气, 称为泄漏; 另一种从位置 A 排气孔和位置 B 粘接面漏气, 即气体由活门盘辊边处进入, 从排气孔或氟塑料与金属的上部粘接面处漏气, 称为窜漏。

活门盘泄漏机理: 由于活门座和活门盘氟塑料挤压, 在相同的压缩变形下, 氟塑料应力值小, 会导致活门盘密封比压小于进气压力下活门所需的密封比压, 出现泄漏现象。

表 2 聚全氟乙丙稀的物理性能

Tab. 2 Physical properties of fluorinated ethylene propylene (FEP)							
材料批次	硬度邵氏/D	拉伸强度/MPa	扯断伸长率/%	熔融指数	熔点	介质相容性	使用温度/℃
FR462	60±2	≥27	≥320	0.8~2	265±10	一级相容	-250~+200
Fs46-5	60±2	≥26.5	≥300	1.0~2.5	260±8	一级相容	-250~+200

活门盘窜漏机理: 1) 在氟塑料与金属基体热压成型活门盘毛坯过程中, 氟塑料充满金属基体密封腔冷却成型后形成预紧应力小, 易导致窜

漏; 2) 活门盘毛坯在机械加工辊边工序过程中, 氟塑料被辊边的机械力向上抬, 氟塑料靠近密封腔底部和侧面被拉开, 破坏了氟塑料与密封腔的

粘接; 3) 辊边后金属边与氟塑料压紧形成预紧应力, 同样的辊边压缩变形下, 氟塑料应力值小, 易导致窜漏。活门盘窜漏是这 3 方面作用的综合结果, 辊边后金属边与氟塑料的预紧应力小于进气压力, 且氟塑料靠近密封腔底部、侧面被拉开, 破坏了氟塑料与密封腔的粘接, 形成贯通通道, 气体就会从排气孔和粘接面处窜漏。

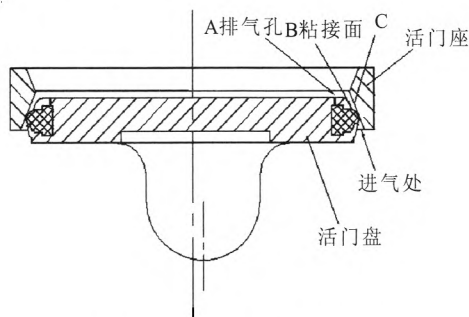


图 3 装配成活门的结构图

Fig. 3 Structure of assembled valve disc

综上所述, 活门盘密封比压应大于活门所需的密封比压, 且密封比压越大, 所需氟塑料变形的应力值越大, 越有利于粘接和密封, 即提高活门盘密封比压是解决泄漏和窜漏关键问题。

3.3 活门盘密封比压计算方法

活门中氟塑料密封面的密封力是由使氟塑料变形的预紧力 Q 形成的。密封面的受力情况如图 4 所示, 其受力状态分析见图 5。该种密封形式的密封比压^[4-6]

$$q = \frac{Q}{F_q \left(1 + \frac{f_m}{\tan \frac{\varphi}{2}} \right)} \quad (1)$$

$$F_q = \pi D_{cp} \cdot ab' \quad (2)$$

$$D_{cp} = \Phi D - 2 \left[R - \left(R - H \sin \frac{\varphi}{2} \right) \cos \frac{\varphi}{2} \right]$$

$$ab' = ab \cos \left(90 - \frac{\varphi}{2} \right) = 2 \sqrt{R^2 - \left(R - H \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2} \cos \left(90 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

式中: F_q 为密封面投影面积; f_m 为密封面摩擦系数, 取 $f_m=0.1$; H 为活门与活门座配合密封面沿轴向压缩量。公式(1)中的 Q 可通过活门盘 $Q-H$ (即应力-位移) 试验曲线查得。

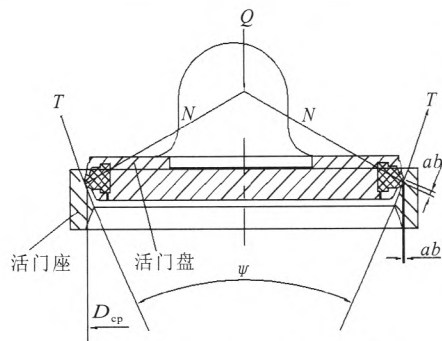
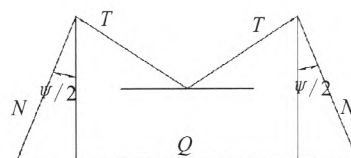
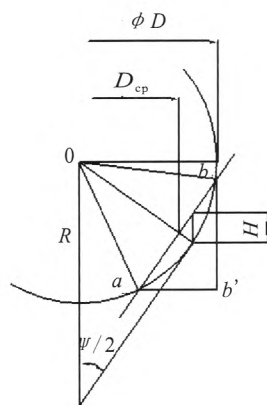


图 4 密封面的受力情况示意图

Fig. 4 Stress on seal surface



(a)



(b)

图 5 密封面的受力分析图

Fig. 5 Stress analysis of seal surface

活门盘应力应变曲线试验方法: 将活门盘放在活门座上, 氟塑料密封面朝下, 平放在试验机压板中间, 再在活门盘上放置圆柱状压块。试验机上压板以速度 1.5 mm/min 向下压活门盘, 得出活门盘的位移-应力曲线。

根据阀门设计手册推荐的公式计算, 活门所需密封比压

$$q_m = \frac{18 + 0.9 p_q}{\sqrt{ab'}} \quad (3)$$

式中: q_m 为活门所需密封比压; $p_q=1.5 \text{ kg/cm}^2$, 即活门关闭后泵前最低压力。

活门盘要达到可靠密封, 其密封比压 q 应大于活门所需密封比压 q_m 。

3 活门盘氟塑料热压工艺

3.1 活门盘生产工艺流程

从活门盘毛坯基体加工到活门盘精加工, 生产工艺流程见图 6。其中氟塑料热压主要有准备、装

模、热压保温、保压成型及冷却启模 5 个工步^[9]。

3.2 氟塑料热压工艺

活门盘氟塑料的模压过程, 是将一定量的氟塑料放入模腔中, 然后闭合, 加热到一定温度, 氟塑料在一定的压力作用下熔融流动充满整个型腔, 随着保压成型和冷却, 熔体逐渐失去流动性变成不熔的体型结构而成为固体, 即热压成活门盘毛坯^[9]。

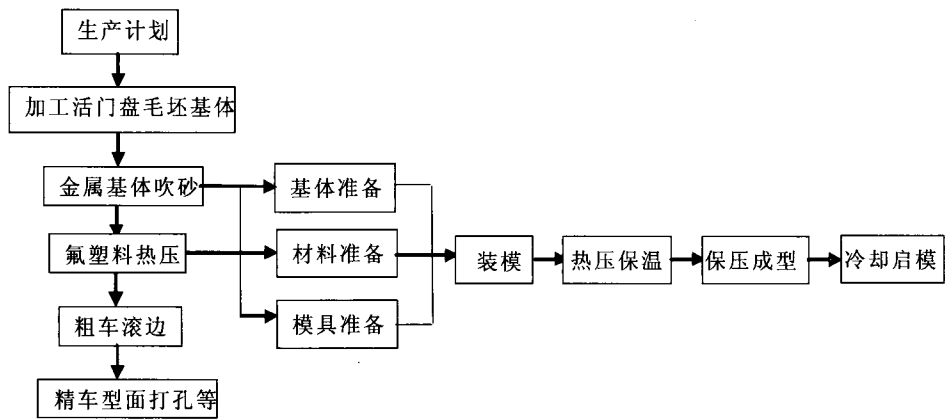


图 6 活门盘生产工艺流程图
Fig. 6 Flow chart of heat pressing technology for valve disc

在热压成型工艺过程中, 主要参数有保温温度、保温时间、冷却停放时间及保压压力。其中保温温度、保温时间及冷却停放时间综合作用使氟塑料的流动性达到适宜黏度, 300 ℃时熔融的聚全氟乙丙烯流体黏度为 $10^3\sim10^5\text{ Pa}\cdot\text{s}$, 是一个相对较小的值 (聚四氟乙烯为 $1\,011\text{ Pa}\cdot\text{s}$); 保压压力是重要参数, 增大保压压力有利于增加材料充满金属基体密封腔的预紧应力, 有利于增加材料应力应变性能。但在氟塑料热压过程中, 如果热压保温温度过低、保温时间过短及冷却停放时间过长使氟塑料的流动性较差, 在此情况下保压压力过大, 容易使材料在熔融流动不充分情况下受过大的压力而局部应力集中, 冷却成型后易形成裂纹。所以采取正交试验方法, 摸索出合适的热压工艺参数, 见表 3。

对 2 种热压工艺压制的活门盘, 按 2.3 节的方法进行密封比压计算, 分别做 H - Q 曲线见图 7(a)和 7(b)。根据装配条件 $H=0.2\sim0.6\text{ mm}$, 在压缩量为 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 及 0.6 处查所对应的预紧力 Q 值, 将该值代入公式(1)和公式

(3), 分别计算密封比压, 其密封比压值见表 4。

从表 3 可见, 2 种工艺热压活门盘在 0.2~0.6 mm 压缩量下的密封比压均大于活门所需的密封比压值, 均满足理论计算要求。

表 3 氟塑料热压工艺参数

Tab. 3 Parameter of fluorocarbon heat pressing technology

工艺项目	工艺 1	工艺 2
材料牌号	Fs46-5	FR462
保温温度/℃	300~315	300~315
保温时间/min	5~10	5~10
成型停放时间/min	4~6	4.5~6
保压压力/kN	50~60	50~65

4 验证试验

采用 2 种热压工艺分别压制活门盘, 装配成活门进行气密检查试验、典型试验和飞行考核试验, 试验结果见表 5。由表 5 可见, 采用上述 2 种热压工艺压制的活门盘满足设计要求, 经气密检查、典型试验合格后, 通过了飞行试验考核。

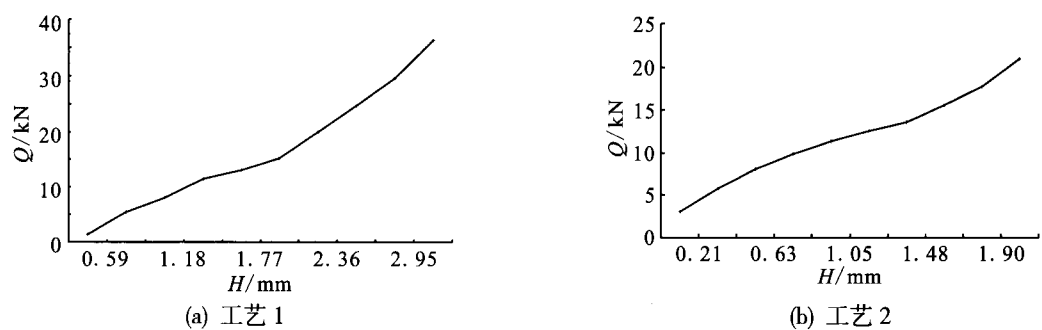


图 7 工艺 1 压制活门盘 Q - H 曲线

Fig. 7 Q - H curves of valve discs made by two kinds of heat pressing technologies

表 4 不同压缩量 H 对应的密封比压

Tab. 4 Seal specific pressure corresponding to different amount of compression H

压缩量/mm	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
活门所需密封比压/MPa	8.069 5	7.300 6	6.812	6.459	6.186
工艺 1/MPa	19.024	22.287	25.716	26.067	29.257
工艺 2/MPa	14.851	18.50	20.18	21.150	22.092

表 5 验证试验结果

Tab. 5 Results of verification test

工艺 状态	生产总 件数	气密检查 合格件数	气密检查不 合格件数	典试考 核件数	典试考 核结果	试车考 核件数	飞行考 核结果	合格率/%
工艺 1	100	100	0	3	合格,分 解后外观	5	合格,分 解后外观	100
工艺 2	135	135	0	4	无异常	6	无异常	100

5 结束语

针对活门盘的结构特点和密封要求，全面分析了密封机理，找到了影响密封比压的因素，并进行了活门盘热压工艺研究。采用该工艺压制的活门盘通过了飞行试验考核。

参考文献：

[1] 徐洪, 杨永祥. 聚全氟乙丙稀(FEP)性能与成型方法和应

用[J]. 有机氟工业, 2009 (3): 31-35.

[2] 龚云表, 石安富. 合成树脂与氟塑料手册[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1994.

[3] 谢荣化. 塑料购销手册[M]. 北京:中国物资出版社, 1994.

[4] 张明礼, 巫金东, 金杰伟. 活门密封比压的研究[J]. 宇航材料工艺, 1984 (3): 15-18.

[5] 刘新良. 减压阀阀芯密封比压的计算[J]. 火箭推进, 2004, 28(2): 13-18.

[6] 刘新良. 减压阀密封设计[J]. 火箭推进, 2003, 29(5): 18-22.

[7] 陶宏, 吴本仁, 顾迪龙. 合成树脂与塑料加工[M]. 北京: 中国石化出版社, 1992.

(编辑：马 杰)