

热变形纳米晶永磁环自锁阀锁闭特性研究

柳 珊, 张晓东, 陈 健
(上海空间推进研究所, 上海 201112)

摘 要: 为了减轻宇航推进系统用自锁阀的重量, 采用理论、数值仿真和试验相结合的方法对永磁环材料进行了研究。研究表明, 和传统材料相比, 新型永磁材料在性能上更优, 装上新型永磁材料的自锁阀的锁闭特性有很大程度的优化, 而且自锁阀的体积更小、重量更轻。

关键词: 纳米钕铁硼; 永磁环; 自锁阀

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2013) 03-0083-04

Latch characteristic of nano Nd-Fe-B magnet-ring latching valve

LIU Shan, ZHANG Xiao-dong, CHEN Jian
(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112, China)

Abstract: In order to lighten the weight of latch valve used in spacecraft propulsion system, the research is done on new nano Nd-Fe-B magnet by using theoretical, numerical and experimental methods. The result shows that the new nano Nd-Fe-B magnet has better performance than the old one. The latch characteristic of the latch valve made by the new magnet material has great superiority. Therefore, the latching valve can be more compacted and lighter.

Keywords: nano Nd-Fe-B; magnet ring; latch valve

0 引言

宇航推进系统高压部分配置有高压自锁阀, 在系统中高压自锁阀的功能是连通或切断高压气源。自锁阀是一种具有位置自保持功能的电磁式阀门, 其动作过程通常是给驱动线圈施加具有一定幅值和宽度的脉冲电流来改变阀门的状态, 在

去掉激励电流后, 阀门状态靠锁位机构保持不变。自锁阀要实现无源自保持特性, 关键在于锁位机构, 目前国内外应用最广泛的锁位机构为永磁锁位, 即通过永磁铁产生的磁力将阀门保持在开启(或关闭)状态, 而不需要任何电源。

永磁环性能的高低及体积的大小在很大程度上决定了自锁阀的体积和重量。现采用的烧结式 Nd-Fe-B 磁环厚度一般在 5 mm 左右, 在目前的

收稿日期: 2012-10-11; 修回日期: 2013-01-04

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目(2007JY06)

作者简介: 柳珊(1982—), 女, 工程师, 研究领域为阀门设计

工艺下,减少壁厚将使永磁的充磁难以饱和,反而降低永磁的磁能积。相对于烧结式磁环,热变形纳米晶 Nd-Fe-B 磁环具有高磁能积,可制备成高壁、薄壁或小尺寸的磁环,且其环境稳定性更好。因此,为提高自锁阀的环境稳定性及减小自锁阀的体积、重量,可采用热变形纳米晶 Nd-Fe-B 磁环。

1 国内外热变形磁体技术发展现状和趋势

美国通用电气、德国 O Gutfleisch 及日本 Daido 制钢等公司对热变形磁体各向异性形成机制、影响形变速率的因素以及元素添加对变形能力和磁性影响等问题进行了研究;国内北京钢铁研究总院较早对热变形磁体基础理论和工艺进行了研究,同时在热压磁环应用领域进行了大量研究。

德国 Dresden 固体所及日本大同制钢公司已成功地将热压环应用于无刷伺服电机,使电机的效率显著提高。北京钢铁研究总院长期从事辐向和多级磁环的研制,获得了多项辐向、多织构磁环制备及充磁技术的国家发明专利,承担过多项永磁环的军工任务,广泛应用于航天、航空军工型号。

国内目前是北京钢铁研究总院拥有试验及批量生产的快淬设备,对于快淬带制备积累了丰富的经验,承担过多项快淬技术相关国家课题,并申请了多项国家发明专利。通过对热压环成分、工艺和模具设计等长期研究,成功解决了小尺寸磁环热挤出过程中的开裂问题。针对热压工艺特点,进一步设计制造了适用于纳米晶磁体热变形的热压设备。其快速升温、降温,以及位移控制和压力控制兼备的特点满足了热压环制备对工艺条件的要求,并在国内首先成功制备出高性能热压环。

2 纳米晶永磁环在自锁阀中的应用

2.1 自锁阀工作原理

典型的自锁阀结构图如图 1 所示。

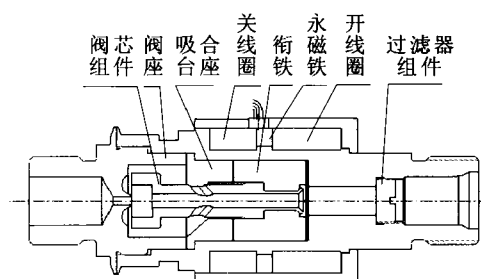


图 1 典型自锁阀结构图

Fig. 1 Structure of typical latching valve

工作原理如下:阀门处于关闭状态,开线圈通电,衔铁带动阀芯组件运动到开的位置,开线圈断电,在永磁铁永磁力的作用下,衔铁保持在开启位置;反之,关线圈通电,衔铁带动阀芯组件运动到关闭位置,关线圈断电,衔铁在锁闭磁环磁力的作用下保持在关闭位置。

新材料在自锁阀中的主要用途是提高永磁铁的磁性能,增加锁闭力。对自锁阀的好处是提高产品的锁闭性,比如提高阀门抗冲击能力和承压能力。高性能永磁材料应用,可以缩小永磁铁的尺寸,减小线圈结构,相同条件下,自锁阀的重量较轻。

2.2 磁性能要求

烧结 Nd-Fe-B 磁体和热变形纳米晶 Nd-Fe-B 磁体的磁性能对比如表 1 所示。

表 1 烧结磁体和热变形纳米晶磁体磁性能对比

Tab. 1 Performance comparison of sintered and nano magnets

	剩磁/(KGs)	磁感矫顽力/ (KOe)	最大磁能积/ (MGOe)
烧结 Nd-Fe-B 磁体	10.72	10.16	27.1
热变形纳米晶 Nd-Fe-B 磁体	≥13	≥12.5	≥40

从以上对比可得出,纳米晶热变形磁环各项磁性能要求均比现阶段使用的烧结磁环的磁性能更高。

2.3 数值仿真计算

对所研究的自锁阀进行数值仿真, 装有热变

形纳米晶磁环、烧结磁环, 阀门处于开、关位置时的磁感应强度见图 2~图 5 所示。

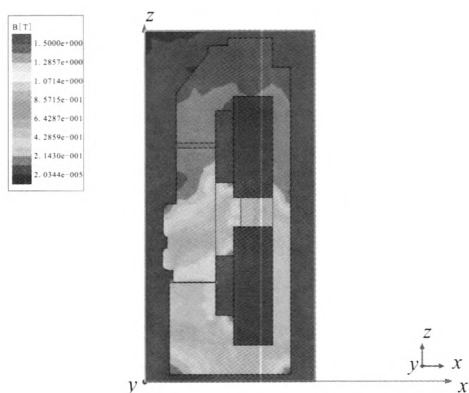


图 2 磁感应强度分布图 (烧结磁环、阀门开启)

Fig. 2 Magnetic induction distribution
(sintered magnet-ring, as valve is open)

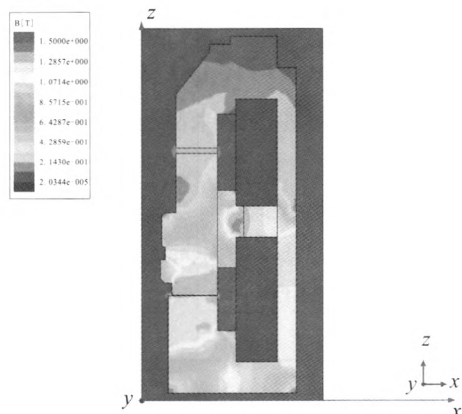


图 3 磁感应强度分布图 (热变形磁环、阀门开启)

Fig. 3 Magnetic induction distribution
(nano magnet-ring, as valve is open)

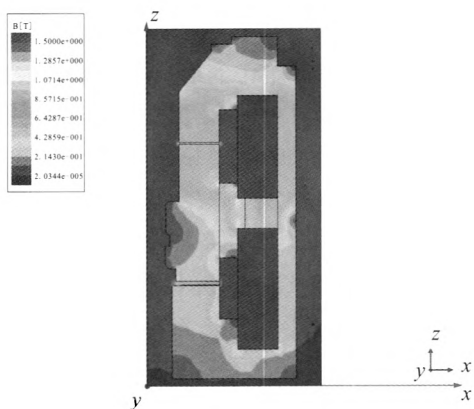


图 4 磁感应强度分布图 (烧结磁环、阀门关闭)

Fig. 4 Magnetic induction distribution
(sintered magnet-ring, as valve is closed)

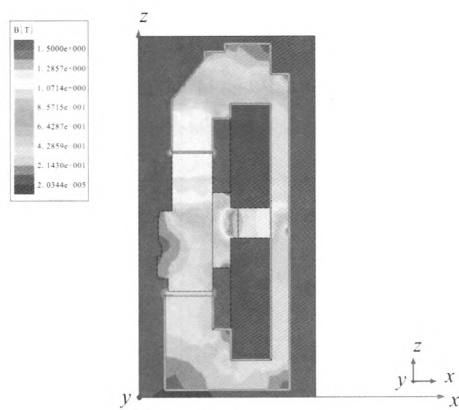


图 5 磁感应强度分布图 (热变形磁环、阀门关闭)

Fig. 5 Magnetic induction distribution
(nano magnet-ring, as valve is closed)

根据仿真计算的结果可知, 图 2 所对应的磁感应强度范围约为 0.4 ~1.0 T; 图 3 所对应的磁感应强度范围约为 0.6 ~1.4 T; 图 4 所对应的磁感应强度范围约为 0.4 ~1.0 T; 图 5 所对应的磁感应强度范围约为 0.6 ~1.4 T。

仿真结果表明, 装有热变形磁环的自锁阀模型的磁感应强度大于装有烧结磁环的自锁阀模型的磁感应强度, 比例约为 40%。

2.4 两种自锁阀实测数据对比

在完成对热变形纳米晶永磁环的设计制造和性能测试之后, 生产了 4 件新型永磁环自锁阀试件。在某原有自锁阀的壳体组件基础上进行自锁阀的生产, 除永磁环采用新型的热变形纳米晶磁环 (与原自锁阀烧结永磁环的尺寸完全一样, 为 $\Phi 36 \times \Phi 27 \times 4$) 外, 其余零组件均使用原自锁阀所用的零组件。

通过测试自锁阀产品的开、关位锁闭力来测试永磁环的性能。对装有热变形纳米晶、烧结磁环的两种自锁阀产品的锁闭力实测数据进行对比,验证热变形纳米晶 Nd-Fe-B 永磁环能的性能。表 2 为装有烧结永磁环的自锁阀锁闭力测试数据,表 3 为装有热变形纳米晶永磁环的自锁阀锁闭力测试数据。

表 2 装有烧结永磁环的自锁阀测试数据

Tab. 2 Measured data of latching valve with sintered magnet-ring

测试项目	N			
	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4
开位锁闭力	49	53	51	53
关位锁闭力	50	54	53	53

表 3 装有热变形纳米晶永磁环的自锁阀测试数据

Tab. 3 Measured data of latching valve with nano magnet-ring

测试项目	N			
	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4
开位锁闭力	84	86	75	78
关位锁闭力	107	109	74	87

从表 2 和表 3 可以看出,采用热变形纳米晶永磁环后,开、关位锁闭力有显著增加。可见,

在保持永磁环尺寸不变的情况下,热变形纳米晶永磁环的性能相比烧结永磁环有很大提高。

应用高性能纳米晶热变形永磁环初步成果,可进行自锁阀的改进研制,在保持永磁力不变的情况下,自锁阀产品的重量和体积均可减小。

3 结束语

对自锁阀永磁环的研究表明,热变形纳米晶永磁材料能够有效提高自锁阀锁闭性能,使自锁阀体积更小、重量更轻,具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] 廖湘恩. 航空电器[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.

[2] 赵博. Ansoft12 在工程电磁场中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.

[3] 刘国强. Ansoft 工程电磁场有限元分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[4] 周寿增. 超强永磁体[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.

[5] 肖耀福, 裘宝琴, 孙爱芝, 刘旭波. 钕铁硼永磁的将来[J]. 磁性材料及器件, 2002, 1(33): 21-24.

[6] 井浩宇, 齐宇轩, 孟士超. 快淬工艺制备钕铁硼纳米复合稀土永磁材料[J]. 金属功能材料, 2009 (7):15-19.

[7] 李卫, 朱明刚. 高性能稀土永磁材料及关键制备技术的研究[J]. 中国有色金属学报, 2004, 2(14):20-24.

[8] 范钦珊. 压力容器的应力分析与强度设计[M]. 北京: 原子能出版社, 1999.

[9] 曹泰岳. 火箭发动机动力学[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.

(编辑: 王建喜)