

内置式永磁同步电机转子加装工艺设计

张永平, 段小丽, 郭英桂

(晋中学院, 晋中 030600)

摘要:根据内置式永磁同步电动机转子的结构特点和永磁体材料的温度特性, 研究转子铸铝的特殊加工工艺, 解决转子铸铝时铝液易渗入转子磁体槽的问题。设计钕铁硼永磁体的压力装配工装模具, 实现转子中的永磁体由机械压装替代传统的手工装配, 在内置式 FYT300 永磁同步电动机的批量生产中, 验证了工艺的可靠性和有效性, 提高了转子磁体的装配效率和装配质量。

关键词:磁体; 模具; 铸铝; 工艺工装; 内置式永磁同步电动机

中图分类号: TM351; TM305 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-7018(2015)11-0083-03

Design of Machining and Assembling Process of the Interior PM Synchronous Motor Rotor

ZHANG Yong-ping, DUAN Xiao-li, GUO Ying-gui

(Jinzhong University, Jinzhong 030600, China)

Abstract: According to the characteristics of the rotor structure of magnetic rotor for interior permanent magnet synchronous motor and the temperature characteristics of permanent magnet material, the special process of cast aluminum rotor was researched to solve the problem that aluminum liquid is easy to permeate into the rotor magnet slot when the rotor cast aluminum. By designing the pressure assembly tooling of NdFeB permanent magnet pressure assembly tooling, for the rotor magnet, the traditional manual was replaced by assembly mechanical pressing. In mass production of the built-in FYT300 of permanent magnet synchronous motor, we verify the reliability and effectiveness of the process and this approach improves the assembly efficiency and assembly quality of rotor magnet.

Key words: magnet; mold; cast aluminum; technology and equipment; interior PMSM

0 引言

内置式永磁同步电动机的转子上装有鼠笼导条, 且鼠笼直接面向空气隙, 具有良好的异步起动性能, 并具有较强的过载能力。皆于这些特点, 内置式永磁同步电动机广泛应用于航天航空、数控机床、仪器仪表、医疗器械等许多行业。在内置式永磁同步电动机加工生产中, 转子铸铝加工和磁体装配是产品加工制造中的两道关键工序, 探讨转子铸铝的特殊加工工艺, 解决铝液易渗入转子磁体槽的问题。设计钕铁硼永磁体的压力装配工装模具, 替代传统的手工装配, 提高磁体的装配效率和装配质量, 以更好地满足内置式永磁同步电动机生产制造的需要。

1 内置式转子磁路结构

对于内置式永磁同步电动机, 根据电机转子旋转方向和永磁体磁化方向的相互关系, 电机磁路结构主要有切向式、径向式和混合式等三种结构形式, 图 1 为切向式转子磁路结构图。此结构电机的永磁体位于鼠笼导条和轴孔之间的转子铁心中, 通常因

交轴磁阻和直轴磁阻不相等, 形成不对称的转子磁路, 所产生的磁阻转矩有利于提高电机的过载性能。内置式永磁同步电动机结构的缺点, 一是漏磁大, 永磁体利用率低, 因而电机设计中采用图 1 的气隙隔磁措施, 成本低, 且能有效提高磁体利用率; 二是在转子铁心内需冲制铸铝槽、永磁体槽、气隙隔磁槽和轴孔等多种槽型, 一方面使转子机械强度变差; 另一方面使转子铸铝工艺变得复杂, 铝液极易渗入磁体槽和气隙隔磁槽。研究转子铸铝的特殊加工工艺, 解决转子铸铝时铝液易渗入转子磁体槽和气隙隔磁槽的问题。内置式永磁同步电动机的磁体因在转子铁心内部, 磁体装配较困难。目前该类型电机的生产, 磁体通常采用手工装配, 不仅生产效率低, 而且装配质量难以保证。设计有效的磁体装配工装模具, 实现机械压力装配, 是解决问题的有效途径。

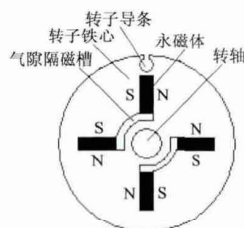


图 1 内置切向式转子磁路结构图

2 转子铸铝工艺

内置式永磁同步电动机的转子铁心叠压完成后,即进入转子铸铝加工阶段。我们知道,转子铁心铸铝时,99.5%的纯铝液温度高达700℃左右,工作环境温度对永磁体的剩余磁感应强度影响非常大。永磁钕铁硼材料(如N33SH)的温度特性曲线如图2所示,图2中的 $J-H$ 曲线为内禀退磁曲线, $B-H$ 曲线为退磁曲线。材料的剩磁温度系数为 $-0.095\%/K \sim -0.15\%/K$,矫顽力温度系数 $-0.4\%/K \sim -0.7\%/K$ 。由图2可知,钕铁硼永磁体的温度稳定性较差,常温下退磁曲线为直线,伴随温度的升高,磁体的剩余磁感应强度将下降。钕铁硼永磁体的最高工作温度一般为150℃~180℃左右,其居里温度较低,通常为310℃~410℃,当工作环境温度达到居里温度时,永磁体将完全不可逆退磁,即永久退磁。钕铁硼磁体材料装配前应充好磁,装配后再充磁,目前的工艺较难实现。可见,已充好磁的磁体装配只能在转子铸铝加工完成之后进行,若磁体装配后再进行铸铝加工,已充好磁的永磁体将完全退磁。

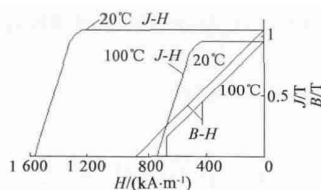


图2 N33SH 钕铁硼永磁材料的温度特性曲线

对于内置式永磁同步电动机,转子进行铸铝加工时,绝不能让铝液进入磁体槽和轴孔内,否则无法进行磁体和转轴的装配。解决的加工工艺是在转子铸铝前,采用将磁体槽、气隙隔磁槽和轴孔利用合适的材料封堵工艺。对于磁体槽的封堵,可以制作与实际磁体尺寸完全相同的工艺磁体,材料可选用45#钢,即硅钢片和封堵材料的热膨胀系数近似相同,不可选用耐温性能差异较大的材料,以防高温铸铝时因工艺磁体材料的形变和硅钢片的形变不一致,而引起时效后磁体槽的永久形变,给后序的磁体装配造成困难。利用上述工艺将加工好的工艺磁体插入图1的磁体槽内,工艺磁体装配后如图3所示。弧形气隙隔磁槽的封堵工艺,类似于轴孔的封堵工艺,有关铸铝时转子轴孔的封堵,目前的加工工艺已非常完善,此处不再赘述。

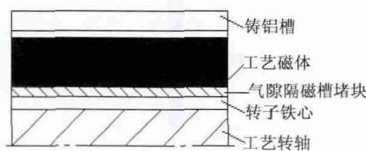


图3 工艺磁体和转轴装配图

转子铸铝加工完成后,工艺磁体从磁体槽内退出,应在铁心温度降为室温后,以免在高温退出工艺磁体时造成磁体槽的损伤和形变,影响后序实际磁体的装配。

3 磁体装配的工艺与工装

磁体的装配是内置式永磁同步电动机特有的加工工序。磁体装配工艺工装的优劣,主要有以下几方面的影响:(1)磁极极性必须按照设计图纸装配,绝不可将磁体极性装反,否则将造成电机磁场严重畸变。(2)磁体必须装配到位,否则将造成磁体利用率降低,漏磁增大,使电机齿部、轭部和气隙的磁密低于设计值。(3)设计合理的磁体装配工装模具,提高装配效率,减小磁体装配破损率,降低加工成本。因此,磁体装配工艺的优劣,不仅影响装配质量,而且影响电机的性能。

3.1 装配工艺研究

由于稀土永磁材料的特殊性能,如现在永磁同步电动机广泛采用的钕铁硼材料,其剩余磁感应强度大,通常为1.0~1.4 T左右。烧结性材料性脆、易碎等特点,给磁体装配造成一定的难度。尤其是产品进入批量生产,不仅要求有特殊的工作环境,且手工装配效率低,磁体装配过程中因高剩磁易造成装配人员的伤害,性脆的特点易造成磁体破损,装配质量难以保证,无法满足生产需求。

转子铸铝加工完成后,即进入磁体装配阶段,工序如下:车转子外圆→装配磁体→固定磁体→转子动平衡试验。磁体装配前应完成转子气隙加工,否则磁体装配后因强磁场使转子外圆加工非常困难,并注意车削后清理转子表面及磁体槽内的铁屑。磁体装配工序必须在转子动平衡工序之前进行,若在转子动平衡工序之后再行磁体装配,将会使已经平衡好的转子又产生新的不平衡,轻则造成机械损耗的增加和噪声的增大,重则使电机无法运行。

磁体装配时,磁体与磁体槽的装配公差设计是非常重要的。若二者的装配间隙过小,磁体不易插入磁体槽内,且易损伤磁体,甚至造成磁体破损。二者的装配间隙过大,一方面产生磁体松动,在转子高速旋转时,气隙磁场性能不稳且易损伤磁体;另一方面漏磁增大,影响电机性能指标。生产经验表明,磁体与磁体槽的装配公差以间隙配合0.10~0.20 mm为宜。

3.2 工装模具设计

FYT300 永磁同步电动机的转子磁路采用图1所示的结构,电机功率4 kW。图4为电机铸铝转子铁心结构图,图5是根据图4的转子结构设计的磁

体装配工装模具的中模剖面图。图5中,磁体模具槽的深度值55 mm设计为转子铁心长度的1/2,材料选用不导磁的反磁物质铜材料,磁体与模具槽之间不产生电磁吸力,便于手工安放磁体,同时也可减小磁体压装时的压力,降低磁体破损率。模具架的材料为Q235,以降低模具成本。定位柱通过图1中气隙隔磁槽的直线部位作模具的径向定位,定位台阶作模具的轴向定位。图6为磁体装配工装模具的上、下模剖面图。图6中 h 值设计根据转子两端的轴伸长度和工作台、压力头结构决定,上模尺寸为60 mm,下模尺寸为20 mm。下模的上平面是磁体压装完成后的轴向定位台阶。上、下模的材料可选用具有一定抗压强度的铝合金材料,主要利用其较好的隔磁性能,便于装配时模具的取放,同时制造成本较低。

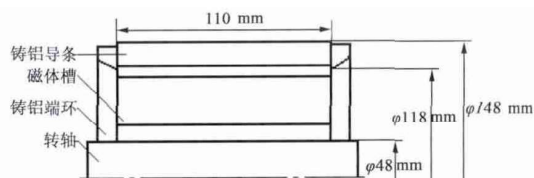


图4 铸铝转子铁心结构图

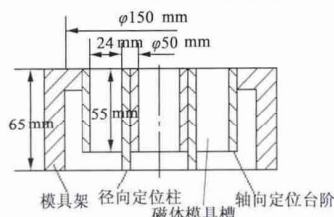


图5 中模剖面图

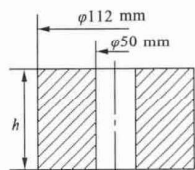


图6 上、下模剖面图

磁体装配的操作由两道工序完成:首先在工作台上放置磁体装配工装模具的下模,将待装磁体的铸铝转子非轴伸端朝上放置在下模上。在铸铝转子的非轴伸端一侧安装磁体工装模具的中模,利用图4的径向定位柱和轴向定位台阶完成中模在铸铝转子铁心上的定位。将已充好磁的磁体按图1的极性方向手工放入磁体模具槽内,然后在中模的上方安装磁体装配工装模具的上模,压装磁体入转子磁体槽,磁体进入磁体槽1/2的位置,完成第一道压装工序。退压装头,从上方取出上模和中模后,仅将上模安装于未压装到位的磁体上,二次压装磁体并到位,

完成第二道压装工序。

若磁体在转子铁心长度方向设计为两块拼接,磁体模具槽的深度值设计为每块磁体长度的1/2,两块磁体从电机的轴伸端和非轴伸端分别按上述压装工序完成磁体装配。

磁体压装工序完成后,必须固定磁体在磁体槽内,以防电机运行中发生磁体在槽内轴向窜动,造成磁体损伤且影响电机性能。固定磁体目前主要有两种方法:一是磁体直接装配于磁体槽后,在转子两端安装固定端板(铜材料),铜材质的固定端板同时可减小端部漏磁;二是在磁体压装工序前,先在磁体槽内涂环氧树脂,磁体压装后,依靠环氧树脂粘合磁体在磁体槽内,解决磁体的轴向窜动问题。第二种方法可省的固定端板,但会带来端部漏磁,且安装后如需退出永磁体则非常困难。

4 结 语

本文探讨了内置式永磁同步电动机转子铸铝的特殊加工工艺,解决铝液易渗入磁体槽的问题。设计钕铁硼永磁体的压力装配工装模具,替代了传统的手工装配。在晋中某电机制造公司的内置式FYT300永磁同步电动机的批量生产中,铸铝加工中磁体槽无渗液,磁体压力装配废品率控制在0.8%以内,提高磁体的装配效率和装配质量,验证了该工艺的可靠性和有效性。该磁体转子加工装配工艺应用于其它系列型号的内置式永磁同步电动机中可提供借鉴。

参考文献

- [1] 王秀和. 永磁电机 [M]. 2版. 北京:中国电力出版社, 2010.
- [2] 张涵, 谢宝昌, 丁炯明, 等. 永磁同步电动机转子优化设计与研究 [J]. 微特电机, 2015, 43(1): 25-27.
- [3] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计 [M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [4] 王会宗. 磁性材料及其应用 [M]. 北京:国防工业出版社, 1989.
- [5] 张永平, 郭英桂. 纺织用永磁同步电动机过载性能计算与研究 [J]. 微特电机, 2014, 42(1): 16-18.
- [6] 孟大伟. 电机制造工艺学 [M]. 北京:机械工业出版社, 2011.
- [7] 鲁富强, 刘国征, 赵明静, 等. NdFeB永磁材料耐热性的测试及分析 [J]. 金属功能材料, 2013, (1): 1-3.
- [8] 刘坚, 黄守道, 浦清云. 内置式永磁同步电动机转子结构的优化设计 [J]. 微特电机, 2011, 39(3): 21-23.

作者简介:张永平(1966-),男,副教授,高级工程师,主要从事电机及其控制方面的研究和电工学等课程的教学工作。