

烧结永磁铁氧体径向多极磁环磁场取向成型系统设计与应用

吕欢剑

(杭州科德磁业有限公司, 浙江杭州 310000)

摘要: 烧结永磁铁氧体径向取向多极磁环烧结后产品呈近似正多边形, 存在无心磨效率低、加工难度大、材料浪费多等问题。在传统干压成型烧结永磁铁氧体工艺的基础上, 采用多脉冲放电励磁取向方式, 考虑磁环收缩率差异, 设计了瓣形模具。应用效果表明, 磁环取向更加充分, 烧结后产品有更低的不圆度, 应用效果良好。

关键词: 永磁铁氧体; 径向多极磁环; 脉冲取向; 瓣形模具

中图分类号: TM14

文献标识码: A

文章编号: 1001-3830(2020)02-0051-03

DOI: 10.19594/j.cnki.09.19701.2020.02.012

The application and design on magnetic orientation molding system for radially oriented multi-polar ring of sintered permanent ferrite

LV Huan-jian

Hangzhou Kede Magnetic Components Co, Ltd, Hangzhou 310000, China

Abstract: Sintered permanent ferrite radial orienting multi-polar ring presents an approximate regular polygon after sintering, which causes problems such as low efficiency of centerless grinding, difficulty in processing and waste of materials. Based on the conventional dry pressing technique of sintered permanent ferrite, we adopt multi-pulse discharge excitation for orientation and design petal mold according to difference of shrinkage rate of magnetic ring. The result shows that the product has higher orientation and better roundness, displaying a better application effect.

Key words: permanent ferrite; radial multiple ring magnet; pulse orientation; petal mold

1 引言

烧结永磁铁氧体径向取向多极磁环广泛应用于微电机、微波器件、磁力传动、传感器、仪器仪表等领域。这种铁氧体径向取向多极磁环, 由于其特殊的取向方式使磁环的磁通与表面磁通密度绕中心转轴呈周期性的近似正弦分布。一般来说, 在烧结永磁铁氧体磁环压制成型阶段需要以电磁铁或高性能稀土永磁材料(如钕铁硼)作为磁场发生源, 产生N、S极沿圆周交替同心排列的取向磁场, 使环形模腔中的铁氧体磁粉以近似正弦波的取向排列, 以达到径向多极取向的目的。取向后磁环存在取向部分和未取向部分, 在极中心处的磁粉沿径向取向较完全, 而在极间部分取向不完全。生坯烧结过程中, 取向部分收缩大, 未取向部分收缩小, 二者收缩率相差较大, 磁环烧结后外圆呈近似正多边形, 造成

以下问题(以外圆各向异性多极磁环为例): 一, 磁环无心磨阶段, 由于外圆呈近似正多边形, 磁环在无心磨床的导板与导轮之间容易产生跳动, 造成产品加工报废率高; 二, 由于磁环外圆极间部分棱角的存在, 粗磨外圆每次的进刀量必须控制较小, 降低了加工效率; 三, 烧结后磁环外圆磨削量大, 造成材料浪费; 四, 根据由取向磁场发生源、间隙、模具壁、磁粉组成的取向磁路结构^[1]可知, 越靠近磁环外圆, 磁粉的取向度越优, 以外圆为工作面的多极磁环, 我们希望磁环外圆的磨削量越小越好, 因为随着磁环外圆磨削量的增加, 充磁后其表面磁密峰值和磁感对角度的积分面积都将减小。

针对以上问题, 我们在磁环相关工艺环节进行优化, 在磁场取向成型方面进行研究, 采用多脉冲放电励磁方式进行取向, 改变传统环形模具, 设计出瓣形模具, 取得良好应用效果。

收稿日期: 2018-12-18 修回日期: 2019-04-22

通讯作者: 吕欢剑 E-mail: 1508784523@qq.com

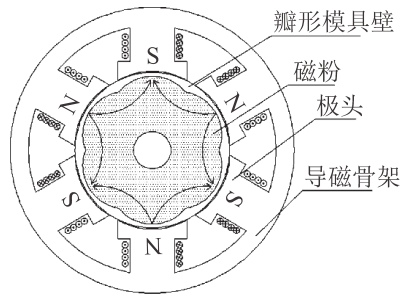


图 1 多脉冲取向夹具

2 多极磁环夹具、模具设计及制备工艺

2.1 取向夹具设计

传统取向过程一般采用大功率直流电源设备供电励磁，或者用高性能稀土永磁体产生取向磁场。直流电源励磁取向磁场强度不如脉冲磁场，往往难以达到充分取向要求，且设备笨重，放电周期长，能源浪费大。利用高性能稀土永磁体取向虽然在一定程度能解决问题，但也存在取向磁场大小难以调整、磁块装配困难、磁场强度不够高的缺陷，且装填磁粉时永磁体取向夹具不能套于成型区域外侧，否则成型区域在磁场作用下填料困难，自动化模具设计变得复杂。

为此，我们将圆柱形工业纯铁切割加工成具有多个充磁极头的骨架，极头个数与磁环极数相等。在每个充磁极头后极身上绕制相同匝数的绝缘线，相邻充磁极头后极身上线圈绕制方向相反，形成多个带铁心的螺线管，并将所有极身上的线圈进行串联^[2]，连接至脉冲多路取向电源，并在骨架与线圈间隙填充环氧树脂，用以固定线圈，增强绝缘。图 1 给出了 6 极磁环为例的多脉冲取向夹具。脉冲多路取向电源是一种用于磁性材料压制取向的设备，可在一定时间范围内按固定节拍连续多次放电充磁。根据磁路相关理论，在脉冲多路取向电源放电时，将在成型模具外壁形成 N、S 交替的取向磁场，对模腔内磁粉进行取向。通过极头占空比的设定调整取向磁路形态，影响磁粉排列状态，进而调整充磁后磁环表面磁通密度波形隆起度。同时，保证取向夹具高度高于模腔内磁粉初始自然松装高度，所有磁粉能在取向夹具有效均匀磁场区域取向，确保取向在高度方向的一致性。根据需要，可在夹具外侧设计冷却水路，用于取向器冷却，以满足自动化连续生产。取向夹具相对轻巧，且可通过调整取向电源放电电压实现取向磁场连续调节，这对磁环研发与

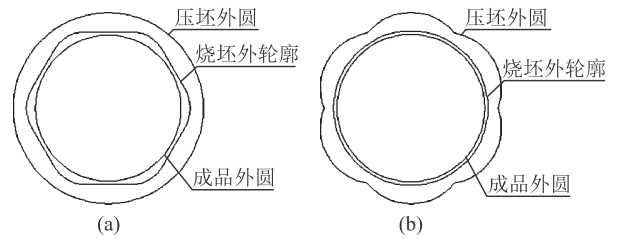


图 2 不同模具压制的 6 极磁环外沿示意图：(a) 传统环形模具，(b) 瓣形模具

生产非常方便，这也是永磁体取向夹具所欠缺的。

2.2 成型模具设计

以 6 极干压磁环为例，环形模具压制磁环烧结过程取向部分收缩大，磁极中心位置收缩率为 1.25，未取向部分收缩小，磁极之间位置收缩率为 1.07，两者收缩率差异较大，烧结后呈近似正多边形，造成磨加工困难、材料浪费等一系列问题。为此，我们改变传统环形模具，在模具设计环节考虑磁环一周收缩率差异，设计了瓣形模具。具体来说，根据常规环形模具压制压坯烧结后外形轮廓，采集烧坯一周多处收缩率数据，通过数据拟合的方式得到烧坯各处的收缩率数据，并以此来设计瓣形模具。通过(成品外径+磨削余量)×各处收缩系数，得到模腔一周尺寸数据，设计原则是使压坯经过固相烧结各处在不同程度收缩的作用下外边缘接近圆形。图 2 所示为传统环形模具和瓣形模具压制的 6 极磁环压坯。如此，烧坯在磨加工阶段效率将大大提高，前述的问题也会得到很好解决。另外，模具设计时还应考虑设置合适的拔模角，用以释放压坯弹性内应力，防止脱模时压坯急剧膨胀开裂。

2.3 磁场取向成型

将取向夹具套于成型模具外壁紧密贴合，以降低取向磁路气隙磁阻，并连接取向夹具至脉冲多路取向电源，作为磁场发生源。取向夹具与瓣形模具的相对位置示于图 1，取向夹具极头位置需与模腔外凸位置对准。将常规铁氧体干压粉料用落入装料法^[3]填充至模腔内呈自然松装状态，此时的填充高度为上模头下压时的合模限位，当上模头下降至刚好接触模腔内自然填充的粉料时激发限位传感器，取向电源开始释放第一个脉冲电流，当上模头继续下压到达设定压力时取向电源释放最后一个脉冲电流，这样能够保证磁粉从自然松装状态到压紧状态的过程中始终得到间歇式取向磁场的作用，晶粒始终保持取向排列，这种磁场的激发间隔为毫秒级，如图 3

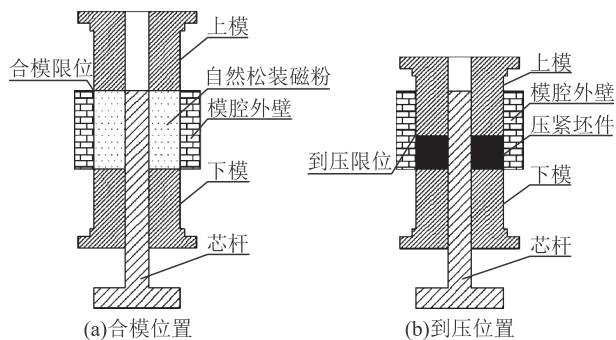


图3 磁场取向成型过程

所示。若第一个脉冲电流在上模头接触松装磁粉前就释放，则磁粉在瞬间取向后排列又会紊乱，造成脉冲电流浪费；若第一个脉冲电流在上模头压到磁粉后释放，由于上模头对磁粉产生压力，磁粉产生位移，孔隙体积减小，磁粉转动摩擦力增大，不利于磁粉取向。另外，脉冲电流个数、脉冲电流间隔时间应根据产品高度、压制速度进行调节：对于大高度产品，脉冲电流个数相应增多；压制速度较快时，脉冲电流间隔时间缩短。

到达设定压力后保压时间根据产品大小、高径比而定，对于体积大、高径比大的产品保压时间加长，以使压力传递更加充分，密度分布更加均匀。为使大高度产品轴向密度更加均匀，亦可采用双向压制、浮动压制。铁氧体磁环取向成型后压坯表面磁密峰值不高，一般不超过 100 mT，可不退磁而直接脱模，磁环压坯在承烧盒内因磁力相互作用紧密接触。

2.4 烧结

将磁环压坯放入铁氧体专用推板电窑内进行烧结，加热元件为硅碳棒。根据电窑推进速度和温区温度设置确定压坯烧结工艺曲线：室温经 90 min 升温至 120 °C，保温 60 min；经 150 min 升温至 450 °C，保温 80 min；经 180 min 升温至 900 °C，保温 60 min；经 100 min 升温至 1150 °C，保温 30 min；经 30 min 升温至 1220 °C，保温 180 °C，随窑缓冷至 80 °C 以下方可出窑，如图 4 所示。压坯导热性较差，升温过程中设置保温阶段有利于水分、添加剂等排出，防止压坯开裂^[4]。对于大尺寸压坯，应适当延长升温阶段过程中的保温时间。

2.5 磨加工

烧结后，成品外径 50 mm 左右的 6 极磁环烧坯外圆不圆度^[5]可控制在 0.2 mm 以内，无心磨阶段，瓣形模具压制烧坯经过一次粗磨和一次精磨即可。

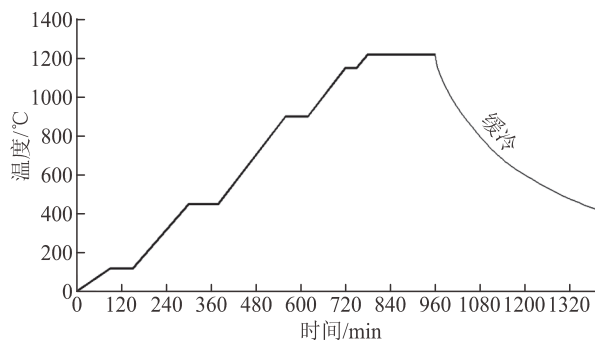


图4 压坯烧结工艺曲线

因此，产品无心磨跳动降低，效率提高，材料节省，性能损失减小。无心磨、内圆磨、双端面磨、内外倒角后，产品经过超声波清洗并烘干。

2.6 充磁与性能检测

充磁夹具设计原理与前述取向夹具相仿，充磁设备为 EX-2540-30 脉冲充磁机，在保证磁环可自如进出充磁夹具的前提下，两者的间隙越小越好，以降低充磁磁路气隙磁阻，改善充磁效果。磁环饱和充磁，充磁电压 1100 V，为保证磁环与充磁夹具磁极对齐，可用低电压对磁环进行预充磁，磁环自动旋转到位。用磁场分布测试仪对磁环外圆表面磁场进行测量，结果如图 5 所示，呈良好的正弦分布。

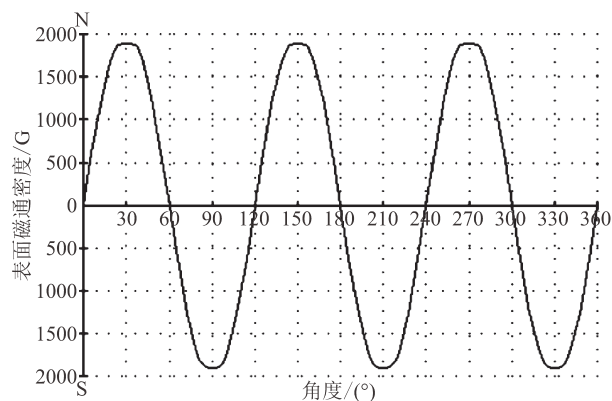


图5 径向 6 极磁环表面磁通密度分布

3 结语

多脉冲放电取向具有效率高、取向磁场强度大、取向磁场大小快速可调等优点，取向夹具相对轻巧，结合脉冲多路取向电源，适合于径向取向铁氧体多极磁环生产。基于磁环收缩率差异设计的瓣形模具在铁氧体径向多极磁环生产中的应用可以解决磁环加工困难、材料浪费、性能损失等问题，在 2 极、4 极、6 极、8 极系列磁环产品生产中效果尤为明显。

(下转 72 页)