

# 双直槽双斜槽铝合金转子的低压铸造

孔祥勇

(山西电机制造有限公司工艺研究所, 山西太原 030032)

**摘要:** 通过对双直槽双斜槽的铝合金转子的技术分析及低压铸造工艺在双直槽双斜槽铝合金转子的实际应用, 表明低压铸造工艺完全可以制造特殊结构铝合金转子, 为低压铸造在电机行业IE5电机研发提供可靠的技术手段保证。

**关键词:** 低压铸造; 铝合金转子; 双直槽; 双斜槽

低压铸造是使液体金属在压力作用下充填型腔, 形成铸件的一种方法。由于所用的压力较低(一般最高压力为几十千帕), 所以叫做低压铸造。其典型的工艺过程是: 在密封的坩埚中, 通入干燥的压缩空气, 金属液在气体压力的作用下, 被迫沿升液管上升, 通过浇道平稳地进入型腔, 继续升压至保压压力, 直到铸件完全凝固为止。随后解除铝液面上的气体压力, 使升液管中未凝固的金属液流回坩埚<sup>[1]</sup>。低压铸造包括: 升液、充型、保压、泄压四个阶段。目前, 国内低压铸造主要用于汽车轮毂、缸体等填充件的铸造, 目前我公司成功的将低压铸造工艺应用于电机铝合金转子的铸造并沿用至今, 为超超高效电机IE4、IE5的研制成功具有不可替代的作用。电机铝合金转子的低压铸造的研发与应用, 扩大了低压铸造的使用范围。低压铸造有很多优点: 铸件组织致密, 性能好; 可提高金属液的工艺成品率或实收率, 铝合金转子气孔率很低; 易于实现铸造过程机械化及自动化; 铝合金转子成品率高; 可显著改善劳动环境和工作条件等。

## 1 电机转子的低压铸造工艺特点

电机转子的低压铸造与常规铸件的低压铸造工艺有所不同, 具有特殊性。首先电机转子冲片槽型会根据电机性能要求设计为不同形状, 对于不同形状的冲片槽型, 同一中心高电机, 在采用低压铸造时, 转子铁芯加热温度将会不同, 其升液阻力不同, 铁芯长度不同, 保压压力也不同。低压铸造压力计算公式为<sup>[1]</sup>:

$$P=K\rho gH \quad (1)$$

式中:  $H$ 为铝液高度差,  $\rho$ 为铝液密度,  $K$ 为升液阻力系数(取值1.2~2),  $g$ 为重力加速度。

压力计算示意图见图1。

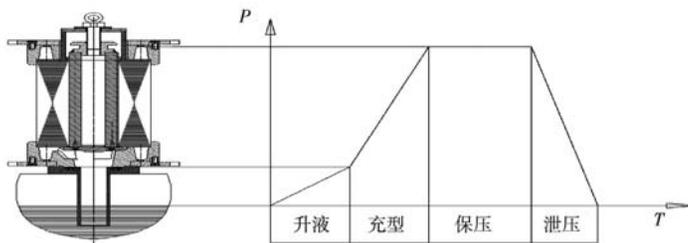


图1 压力计算示意图

Fig. 1 Pressure calculation diagram

作者简介:

孔祥勇(1969-), 男, 高级工程师, 研究方向为电机铝合金转子制造工艺研究及装备。  
E-mail: 13293719927@163.com

中图分类号: TG292  
文献标识码: A  
文章编号: 1001-4977(2022)08-0994-03

收稿日期:

2022-03-07 收到初稿,  
2022-04-19 收到修订稿。

铝合金转子低压铸造前, 转子铁芯必须进行加热和保温, 保证转子冲片槽型内部温度均匀。加热温度根据槽型形状及铁芯长度进行调整选取, 一般加热温度范围经验值推荐500~705 °C, 铁芯长高, 槽型窄的取大值, 反之, 取小值。铝液在温度超过780 °C后, 其吸气能力增长极快, 导致铝液内吸入的气体在冷却时无法排空, 形成气孔。铝液浇注温度推荐值选取690~730 °C, 重熔温度760 °C。

## 2 双直槽双斜槽铝合金转子结构分析

为进一步降低电机运行时的负载噪声<sup>[2]</sup>, 我们开展了对采用双直槽和双斜槽铝合金转子的应用研究。双直槽和双斜槽铝合金转子电机, 主要技术特点为在铝合金转子中间部位带有中间短路环, 中间短路环上、下两部分铝合金转子相互错开半个槽斜度, 当上、下两部分铝合金转子槽斜度 $Bsk=0$ 时, 为双直槽铝合金转子; 当 $Bsk$ 为大于零的特定值(电机设计要求值)时, 称为双斜槽铝合金转子。双直槽铝合金转子见图2, 双斜槽铝合金转子见图3。

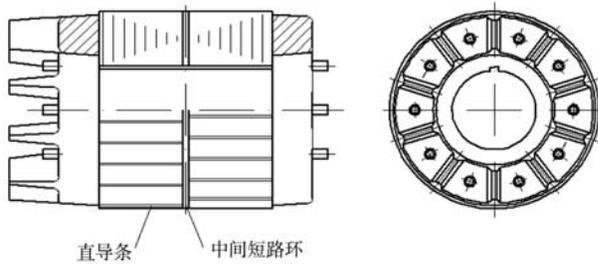


图2 双直槽铝合金转子

Fig. 2 Double straight groove cast aluminum alloy rotor

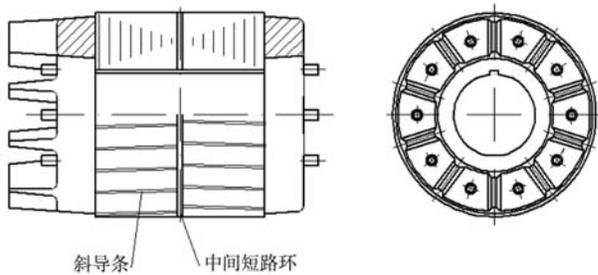


图3 双斜槽铝合金转子

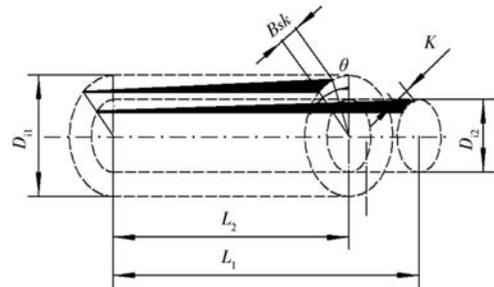
Fig. 3 Double inclined groove cast aluminum alloy rotor

为保证铝合金转子槽斜度值符合设计要求, 需要进行对应槽斜度的斜键的计算, 其计算公式示意图见图4<sup>[3]</sup>。

双直槽双斜槽铝合金转子的技术难点:

(1) 双直槽双斜槽铝合金转子鉴于两端冲片槽孔互相交错半个槽斜度, 槽型孔无法形成铝液通路, 铝合金转子无法铸造。为解决该技术问题, 两端中间必须设置中间短路环。中间短路环的作用是将铝液在短路环内形

成通路, 将上、下两部分槽型孔连接, 保证铝液的通道畅通。中间短路环需根据不同的槽型具体设计, 设计原则一般为对应的两个槽型为一个短路槽, 形成铝液通道。



$D_{11}$ : 转子冲片外径;  $D_{12}$ : 转子冲片轴孔;  $L_1$ : 斜键长度;  
 $L_2$ : 铝合金转子铁长;  $Bsk$ : 铝合金转子槽斜度值(弧长);  
 $K$ : 斜键斜度值;  $\theta$ :  $Bsk$ 对应的角度

图4 斜键计算示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the oblique key calculation

(2) 双直槽双斜槽铝合金转子的结构特殊, 中间短环路的存在影响铝液的流动, 增加了铝液流动阻力, 短路环部分改变了铝液流动方向。

## 3 双直槽双斜槽低压铸造工艺

双直槽双斜槽铝合金转子低压铸造工艺借鉴标准电机铝合金转子参数, 同时对充型的相关参数进行修订试制, 鉴于中间短路环的存在, 升液阻力较标准电机铝合金转子增加, 升液阻力系数选取1.4。

铁芯叠压、加热参数与标准转子不同, 叠压过程为在所需的两段斜键, 短路环制备后, 先将转子铁芯下段叠压至规定铁芯长度, 放置中间短路环后, 叠压上部铁芯至规定铁长; 叠压力选取2.5 MPa<sup>[4]</sup>。

根据实际冲片槽型和铁芯长度, 参考标准铝合金转子, 确定铁芯加热温度650 °C, 保温3 h。型腔模具使用标准模具, 模具预热温度保持与同型号标准铝合金转子一致。

低压铸造用于铝合金转子的浇口设置原则为: 直浇道采用中心进铝、横浇道从端环处进铝的浇注方式, 一般不采用从铝合金转子风叶底部直接进铝的浇注方式。若采用从风叶底部进铝进行浇注, 在现有通用低压设备的局限下, 将导致铝合金转子无法“脱模”, 残余的浇道无法取出。对于低压铸造而言, 铝液的层流速度范围应当在0.3~0.8 m/s之间。为保证铝液不出现紊流、不影响铝合金转子质量, 在铸造模具设计中, 直浇道设置在下模板上, 浇道直径为80 mm; 横浇道设置为均匀分布的3个60°扇形, 浇道长度经计算后取值选定为20 mm, 浇道长度的取值原则应保证3个横浇道的总面积不低于冲片槽型总面积的20%, 且保证横浇道浇口速度满足铝液层流的要求。浇道示意图见下模示意图5, 模具总装图见图6。

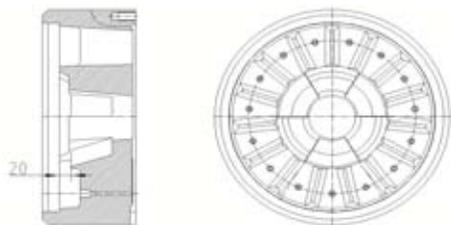
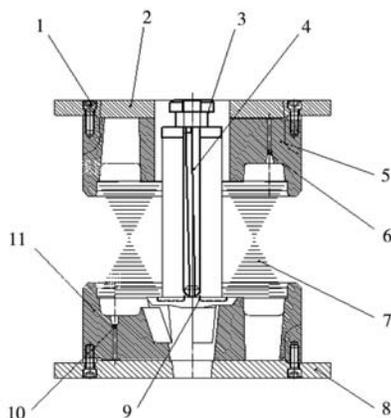


图5 下叶型模具  
Fig. 5 Lower die



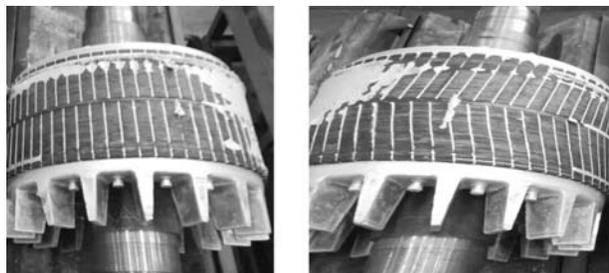
1.圆柱内六角螺栓M16×50 2.上模板 3.假轴 4.假键 5.上叶型 6.上模排气塞 7.转子铁芯 8.下模板 9.分流帽 10.下模排气塞 11.下叶型

图6 模具总装图  
Fig. 6 Mould assembly

#### 参考文献:

- [1] 潘增源. 低压铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1974.
- [2] 陈世坤. 电机设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 殷维高, 崔瑞义. 转子铸铝工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [4] 龚垌. 电机制造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.

铸造完成后的铝合金转子见图7。



(a) 双直槽铝合金转子 (b) 双斜槽铝合金转子

图7 铸造完成的铝合金转子

Fig. 7 Finished cast aluminum alloy rotor

## 4 结束语

经过试制, 证明低压铸造工艺完全可以用在复杂的铝合金转子的铸造领域, 为低压铸造技术在电机领域的大力推广提供了有力的支撑, 低压铸造工艺未来将在电机行业研发和生产超超高效电机中, 发挥积极的推动作用。

## Low Pressure Casting Technology of Double Straight Groove and Double Inclined Groove Aluminum Alloy Rotor

KONG Xiang-yong

(Technology Research Institute of Shanxi Motor Manufacturing Co., Ltd., Taiyuan 030032, Shanxi, China)

#### Abstract:

Through the technical analysis of the aluminum alloy rotor with double straight grooves and double inclined grooves and the practical application of the low-pressure cast aluminum process in the aluminum alloy rotor with double straight grooves and double inclined grooves, the results showed that the low-pressure cast aluminum process was fully competent for the casting of the aluminum rotor with special structure, which provides a reliable technical guarantee for the research and development of IE5 motor in the motor industry.

#### Key words:

low pressure casting; aluminum alloy rotor; double straight groove; double inclined groove