

# 一种力矩电机换向器成形方案的研究与实现

## Research and Implement of Forming Method Used on Commutator of DC Torque Motor

中航工业西安飞行自动控制研究所 朱晓华 王以平 杨更荣

**[摘要]** 设计并实现了一种力矩电机用换向器的成形工艺,在大量工艺试验的基础上,对成形方案各关键技术,包括材料热处理参数、工艺尺寸计算、零件成形、组件粘接等给出了解决措施,并对各措施中使用的检测设备及成形模具进行了介绍。

**关键词:** 力矩测速机组 换向器 热处理 成形工艺

**[ABSTRACT]** Basing on a serials of process tests, a forming method of the commutator of the DC torque motor is designed and implemented. All the critical technical problems of this method are solved which include the heat treatment parameters, process dimension conversion, forming process, bonding and so on. The relative inspection instruments and forming fixtures are also introduced.

**Keywords:** DC torque motor Commutator Heat treatment Forming process

换向器是在电动机和发电机中用来转换和传导电流的一类零件。除了鼠笼式感应电机外,其他电机都要使用换向器,而且换向器的质量直接影响电机的性能,所以换向器是电机中的重要零件<sup>[1]</sup>。

某型号用直流力矩测速机组因功能所需,设计为“单铁心双换向器”结构,如图1所示。

该电机换向器材料采用贵金属合金 AuAgCu35-5,换向片厚度为 0.4mm,圆周均布 61 个焊线片。要求组装后各换向片在圆周均布,以保证电机换向时间均等、换向火花小。

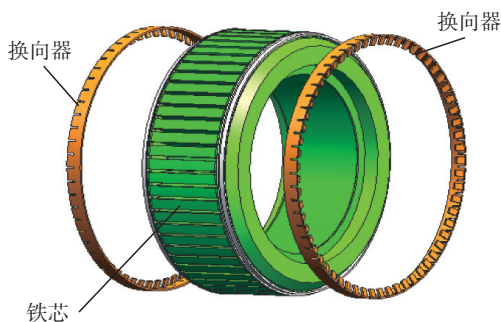


图1 换向器装配示意图

Fig.1 Diagram of commutator assembly

## 1 成形方案基本思路

整体换向器的成形有多种方案,包括冲压、管料挤压等。该方案设计了一种“卷圆弯曲”的方法,优点在于:(1)材料利用率高,节约成本;(2)分步成形,模具设计和制造较容易。

基本思路是:(1)按换向器展开长度尺寸将贵金属 AuAgCu35-5 合金带材加工成长条;(2)采用专用工装将其滚卷成圆环后用弯形模具弯焊线片;(3)成形后采用专用工装将其固定在铁芯端面;(4)制作专用片铣刀将其分离为单片。

受电机安装空间限制,换向器的焊线片设计成 70° 锐角。锐角弯曲过程中很容易造成零件裂纹甚至折断,给零件的成形增加了难度。

## 2 关键技术及解决措施

### 2.1 热处理参数的确定

换向器表面硬度的高低影响到与其磨合的电刷的使用寿命及两者之间刷压的稳定性。选用 3 段样件在不同温度段下做退火试验<sup>[2]</sup>,得出以下数据,见表 1。

试验表明, AuAgCu35-5 合金在退火温度为 400~500℃ 之间时,硬度显著降低,在该硬度下便于零件卷圆和弯形。

为消除加工应力,在流程的安排上穿插了热处理工序。试验证明:机械加工与特种工艺穿插进行既易于零件成形,又较好地消除了加工应力,使开环零件的开口在自由状态下合拢较好。

### 2.2 零件卷圆质量的控制

#### 2.2.1 换向器展开工艺尺寸计算

根据设计给定的外形尺寸计算零件展开理论值。

表1 各温度段下材料的硬度值

牌 号	退火温度/℃	测量值 (HV)			均值 (HV)
AuAgCu35-5	200	200	207	202	203
	300	190	194	187	190
	400	168	165	156	162
	500	130	116	120	122

用如下公式确定各焊线片之间的槽宽尺寸:

$$\text{槽宽尺寸} = \frac{(\text{换向器外圆尺寸} - \text{材料壁厚}) \times \pi - (\text{换向器外圆尺寸} - \text{材料壁厚}) \times \pi \times 3\% - \text{焊线片宽} \times \text{焊线片的个数}}{\text{焊线片之间的槽数}}$$

通过多次试验发现:采用规定的切削参数和加工方法时,材料在碾压过程中的延伸率为 3%~5%。使展开料实际长度比理论计算长度减少 3%,便可将卷圆件的对接缝隙控制在 0.3mm 以内<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 卷圆质量控制

采用两套控制系统,分别对碾压力和碾圆开口对接缝进行检测控制,在带材两端对接上的一瞬间自动切断主轴电源,主轴停转,卷圆成功,见图 2。采用这种方法可以减小加工难度,稳定产品质量,降低成本,提高工作效率。

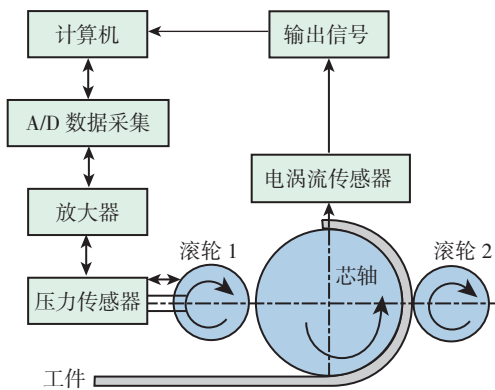


图2 卷圆检测装置  
Fig.2 Rill round detection device

### 2.3 换向器焊线片的锐角弯曲成形

将设计要求的 70° 锐角分 3 步进行弯曲,将 70° 锐角变为直角加钝角,分级弯形避免被弯曲零件的外层材料过大的拉延造成材料撕裂<sup>[4]</sup>。

图 3 是焊线片在进行 70° 锐角弯曲时根部的应力云图,图中所示根部弯曲的最大应力为 219.08MPa,小于材料在退火状态下的抗拉强度  $\sigma_b$  为 468MPa。进一步证明:在退火状态下,零件进行 70° 锐角弯曲,根部不会产生裂纹。

### 2.4 整体换向器与铁芯的连接

整体换向器采用贵金属薄带材滚圆和弯曲成形,粘接到转子铁芯上之前,换向器外圆呈开口状,弹性较大、强度低。在这种状态下不可能用常规方法直接将其粘接到转子铁芯端面上。原因是:

- (1) 粘接面太窄,无法定位;
- (2) 换向器为金属材料,而转子端面的绝缘片为非金属材料,二者结合力差。

鉴于此,设计了一个过渡零件——定位环。先将开

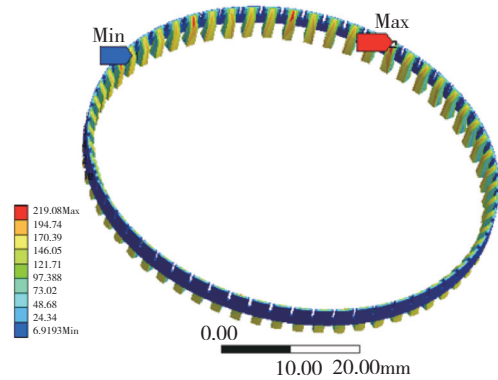


图3 焊线片弯型应力云图  
Fig.3 Cloud chart of bending stress of welding type

口的换向器零件通过专用工装粘接在定位环上,形成闭合的、有一定强度的换向器组件。

然后再通过专用工装将该组件粘接在转子铁芯端面上,用工装保证换向器组件在铁芯端面的轴向及角向定位。

## 3 换向片等分精度的保证

以往电机的换向片是先用手工插入,灌封后在普通铣床放大镜下逐一剃槽,存在效率低、槽等分不好的问题。根据整体换向器的特殊结构,首次在数控机床上进行铣槽试验(图 4),为此设计了小直径专用铣刀。经加工试验,槽等分精度误差可以控制在 14"。

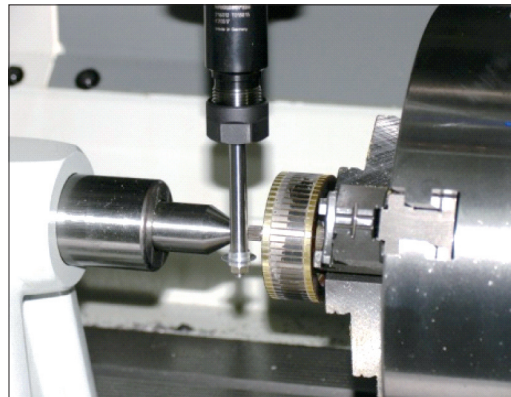


图4 数控机床上铣槽  
Fig.4 Milling flutes on NC machine

## 4 结束语

相对于一般的成形方案,该方案材料利用率高、模具设计制造较容易且制造成本低。适合采用贵金属薄带材制作换向器的安全,如图 5 所示。

采用该成形方案加工的换向器尺寸精度基本满足  
(下转第 82 页)

DB 结构检测中是可行的,有必要对该检测方法的有效性和检测结果的可靠性进行深入研究。

## 5 结束语

通过对钛合金 SPF/DB 结构的检测实验,初步证实涡流 C 扫描在 SPF/DB 结构检测中是可行的。涡流 C 扫描能够检测出 SPF/DB 结构的界面宏观缺欠以及一定尺度以上的界面微观缺欠,但对扩散界面弥散型、紧贴型缺欠的检出率较低,仅依靠涡流检测通常也难以区分缺欠的种类和形状。

在后期的研究过程中,有必要通过制备对比试块、规划检测实验,进一步探讨该检测方法的有效性和检测结果的可靠性,使涡流 C 扫描在 SPF/DB 结构检测中得到深入应用。

由于 SPF/DB 结构复杂,适于扩散连接的检测方法也各有其一定的适用范围和特点,很难用一种方法鉴定缺欠并评价其可靠性,经常需要使用其它方法验证。因此,对 SPF/DB 结构进行检测时,应视产品的结构、使用要求等,选用多种方法检测或采用多种方法组合检测,在条件允许的情况下可进行剖切和金相分析,进一步确定 SPF/DB 结构扩散界面的可靠性。

### 参考文献

- [1] Matson D M, Lansaw J T, Suits M W, et al. Ultrasonic inspection of diffusion bonded platelet rocket chamber liner. *Materials Evaluation*, 1993, 51(5): 545-551.
- [2] Kapranos P, Priestner R. NDE of diffusion bonds. *Metal and Materials*, 1987, 3(4): 194-198.
- [3] 刘松平, 陈积懋. 大密度金属钎焊蜂窝构件超声检测与缺陷识别技术的研究. *无损检测*, 1995, 17(10): 271-282.
- [4] 刚铁, 李伟力. 扩散焊接头质量检测的研究现状. *焊接*, 2000, 5: 6-10.
- [5] 游凤荷. 涡流检测技术的某些新进展. *无损检测*, 2001, 23(2): 70-77.
- [6] 曹运红. 钛合金成型工艺在飞航导弹上的应用研究. *飞航导弹*, 2002, 7: 50-60.
- [7] 刘松平, 郭恩明, 谢凯文, 等. 钛合金扩散焊中紧贴型缺陷的超声波检测. *无损检测*, 2006, 26(2): 62-65.
- [8] 李国华, 吴森. *现代无损检测与评价*. 北京: 化学工业出版社, 2009, 75-76.
- [9] 刘贵民. *无损检测技术*. 北京: 国防工业出版社, 2006, 11-12.
- [10] 刚铁, 高桥康夫. 扩散连接接头质量评价现状. *无损检测*, 2003, 25(8): 410-414.
- [11] 单黎波, 金作花, 贺云龙, 等. 液体火箭发动机钎焊、扩散焊质量检测技术研究. *火箭推进*, 2009, 35(6): 47-51.
- [12] 颜家元, 潘红良. 涡流检测在带钢焊缝质量评价中的应用. *机械工程与自动化*, 2009, 4: 125-127.

(责编 亦菲)

(上接第 76 页)

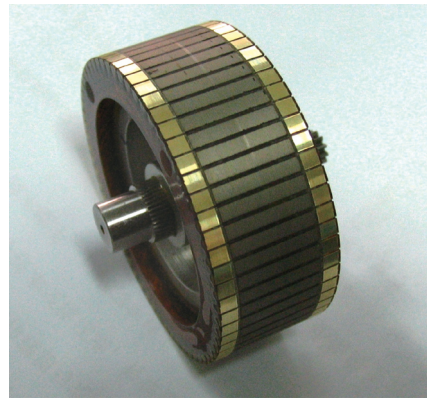


图5 电机样机  
Fig.5 Motor prototype

图纸要求;换向器最终表面硬度达到 HV160, 双侧换向片片间等分精度小于 14", 满足了图样的指标要求;调试后换向火花小, 达到绝缘要求;电机整体性能优良。

### 参考文献

- [1] 戴文进, 徐龙权. *电机学*. 北京: 清华大学出版社, 2008.
  - [2] 《贵金属材料加工手册》编写组. *贵金属材料加工手册*. 北京: 冶金工业出版社, 1978.
  - [3] 《航空制造工程手册》总编委会. *航空制造工程手册·电机电器工艺分册*. 北京: 航空工业出版社, 1994.
  - [4] 高军. *金属塑性成形工艺及模具设计*. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- (责编 亦菲 良辰)

(上接第 78 页)

达到 30MPa 后应变曲线出现一个平台, 38MPa 后应力才又开始上升; 3 号点应变梯度均匀, 但是应变值小, 这说明这 2 个位置上的外层纤维出现了松散或褶皱, 可能是固化时最外层纤维部分脱落引起的。

## 3 结论

自制的树脂体系 (HPAR) 与碳纤维浸润性良好, 纤维强度转化率达到了 96.6%; 壳体爆破压强为 49.5MPa, 特征参数为 41km。

### 参考文献

- [1] 邓杰, 成敏苏. 大尺寸 CFRP 固体火箭发动机壳体湿法缠绕用树脂配方研制. *宇航学报*, 2010, 31(2): 556-561.
- [2] 李海东, 程凤梅, 周文英, 等. 一种水容器壳体湿法缠绕环氧树脂体系. *复合材料学报*, 2005, 22(3): 40-44.
- [3] 黎昱, 陈维强, 林大庆, 等. 缠绕成型复合材料壳体及基体改性研究. *宇航材料工艺*, 2009, 39(5): 61-64.
- [4] 陈平, 蹇锡高, 陈辉, 等. 碳纤维复合材料发动机壳体用韧性环氧树脂基体的研究. *复合材料学报*, 2002, 19(2): 24-27.

(责编 深蓝)