

电动机轴承室加工表面完整性的达成方法

■ 中车株洲电机有限公司（湖南 412001） 肖连新 杨学军 石 江 段宗玉 袁雄辉

摘要：本文从不同的加工工艺入手，分别阐述了车削加工、磨削加工、滚压加工、豪克能加工在提升电动机轴承室表面完整性的达成方法。

加工表面完整性（Surface Integrity）就是指零件加工表面质量，主要包括在机械加工后形成的表面粗糙度、表面残余应力、加工变质层（硬化、相变、缺陷等）。而表面粗糙度是评定加工表面完整性的重要指标之一，轴承室的表面粗糙度将直接影响到轴承的配合性、耐磨性、摩擦系数、疲劳强度和使用寿命。

我公司是中国中车旗下株洲轨道交通产业群中的一个集电动机、变压器自主设计与制造的高科技企业，业务涵盖轨道交通动力装备、风力发电机、工业特种电动机及新能源电动机等，其中轨道交通装备包括机车、动车组牵引电动机和牵引变压器，以及城市轨道交通牵引电动机等。

影响电动机可靠性的核心技术有两个：一是绝缘性能，二是轴承运行稳定性。电动机的两个轴承分别安装在两端端盖的轴承室中，故轴承室的加工表面完整性直接影响着轴承的装配质量。随着时代的进步，轨道交通行业对轴承室表面粗糙度质量提出了越来越高的要求，从以往的 $R_a=3.2\mu\text{m}$ 提高到 $R_a=1.6\mu\text{m}$ 。

因此，如何有效降低表面粗糙度值无疑是轨道交通行业中十分重要的研究课题。近两年来，我公司联手株洲电力机车有限公司、株洲联诚集团有限公司共同开展了“基于不同加工方法对表面质量影响的研究”，取得了一定成果，本文将部分成果与读者进行分享。

1. 车削加工

由于受设备条件等的限制，一些较大外形尺寸的端盖轴承室只能用车削的方式完成最后的精加工，如交流机车牵引电动机端盖，其外形尺寸达到 $\phi 900\text{mm}$ 左右，因此，选择旋转工作台为 $\phi 1600\text{mm}$ 的数控立式车床进行车削加工比较合适。

理论上，表面粗糙度值的计算公式为 $R_a=1\ 000 \cdot f^2/8 \cdot R=125 \cdot f^2/R$ （ μm ），由此可以看出，进给速率 f 越小，刀具半径 R 越大，则 R_a 值就越小，从图1也可以清楚

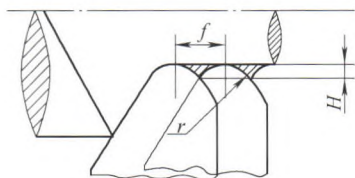


图1 车削后的表面峰值与 f 和 R 的关系

地看出， R_a 值与 f 和 R 的关系，如果取 $f=0.1\text{mm/r}$ ， $R=0.8\text{mm}$ ，则 $R_a=1.56\mu\text{m}$ ，可以满足 $R_a=1.6\mu\text{m}$ 的要求。但实际加工过程中，由于受到工件材质、机床精度、工件转速及积屑瘤等的影响， R_a 的实际值往往比理论值大。下面分别就两种不同材质的端盖进行说明。

（1）铸钢材质的端盖车削加工。其实，用车削方法便能达到高的表面粗糙度是最经济的途径，因而，应力求在刀具和切削参数上做文章。我们选用了瓦尔特两款刀尖圆弧分别为 $R0.4\text{mm}$ 和 $R0.8\text{mm}$ 的C形铸钢件刀片，分别按照表1的参数进行各种组合排列进行试验，经过统计分析，得出几个结论：①当进给速率小于 0.15mm/n 时，均能得到较理想的表面粗糙度值， $R_a=1.6\mu\text{m}$ ，如图2所示。②表面粗糙度值与切削速度和切削深度的相关性不大，但切削速度越高， R_a 值有降低的趋势。③切削刃上有断屑槽的刀片是加工铸钢件获得理想的表面粗糙度值的关键，而适当的切削深度能使断屑效果更好，避免切屑对加工表面的二次损伤，如图3切削模型所示，从而得到光亮的表

面质量。④带修光刃的车刀片将进一步降低表面粗糙度值。

另外，我们还用一把刀片为圆形的瓦尔特进口外圆车刀进行了试验，刀片直径为6mm，当以同样的参数车削后，轴承室表面得到了非常好的效果，测量其 R_a 值在 $0.6\mu\text{m}$ 以下。

(2) 铸铁材质的端盖车削加工。图4所示是某型机车电动机的铸铁材质端盖，轴承室直径只有190mm，车削时的线速度相对较低，难以将表面车得光亮。我们选用了一把刀尖圆弧为 $R0.8\text{mm}$ 的C形铸铁件刀片进行类似试验，为使试验次数减少，采用正交试验法进行研究，将因素数设定为3，水平数设定为3，查表采用 $L_9(3^4)$ ，数据及分析结果如表2所示。

从表2数据得出：车削铸铁端盖时，很难得到 R_a 小于 $1.6\mu\text{m}$ 的表面粗糙度值，其中最佳的试验组合：A1B3C3，而主要影响因素是主轴转速（即切削速度 v_c ），其次是进给量，最不明显的是切削深度。然而，造成铸铁件表面粗糙度值偏高的最主要原因是材质因素，因材质硬而组织疏松，导致车削时易产生积屑瘤。图5和图6是某车削铸铁件产生积屑瘤的高速拍照图，积屑瘤的产生与断裂将导致切削深度的变化。

根据研究表明：切削速度是影响积屑瘤的主要因素，速度很低（ $v_c < 2\text{m/min}$ ）或很高（ $v_c > 100\text{m/min}$ ）都很少产生积屑瘤，而在某一范围内，最容易产生积屑瘤，图7中的 H_b 是在一定切削速度时的积屑瘤高度值变化规律。正因为积屑瘤的影响，车削铸钢件时的表面粗糙度值难以保证。

2. 磨削加工

一些小端盖不受设备大小的影响，可以采取磨削加工方法来提升轴承室的表面质量，如某型

表1 切削参数的设定

刀尖圆弧 R/mm	切削速度 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	切削深度 a_p/mm	进给速率 $f/(\text{mm}\cdot\text{r}^{-1})$
0.4, 0.8	120, 150, 180, 200	0.05, 0.1, 0.125, 0.25	0.08, 0.12, 0.15, 0.18

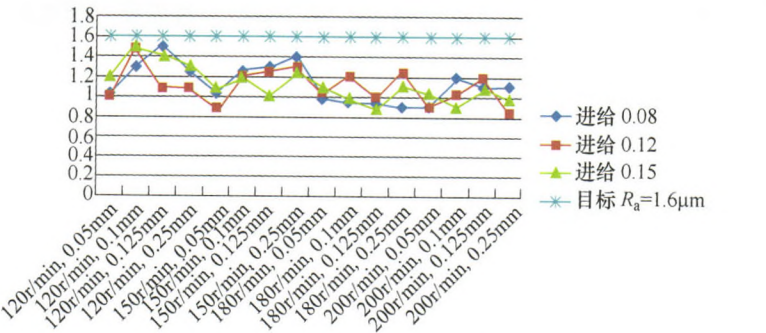


图2 $R0.8\text{mm}$ 车刀在各种切削参数下的表面粗糙度值

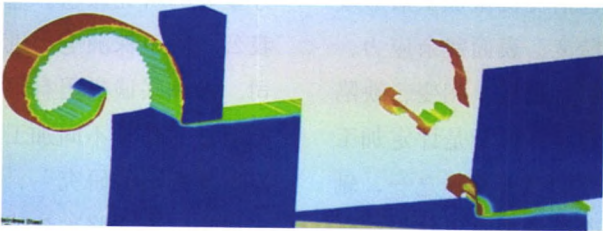


图3 不同切削深度得到的切屑效果模型

表2 切削参数对轴承室表面粗糙度影响正交结果及分析

试验数	进给量 f	主轴转速 n	切削深度 a_p	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$
1 (A1B1C1)	A1 (0.08)	B1 (120)	C1 (0.05)	2.4
2 (A1B2C2)	A1 (0.08)	B2 (150)	C2 (0.1)	2.2
3 (A1B3C3)	A1 (0.08)	B3 (200)	C3 (0.125)	1.6
4 (A2B1C2)	A2 (0.12)	B1 (120)	C2 (0.1)	2.3
5 (A2B2C3)	A2 (0.12)	B2 (150)	C3 (0.125)	2.2
6 (A2B3C1)	A2 (0.12)	B3 (200)	C1 (0.05)	1.9
7 (A3B1C3)	A3 (0.15)	B1 (120)	C3 (0.125)	2.5
8 (A3B2C1)	A3 (0.15)	B2 (150)	C1 (0.05)	2.7
9 (A3B3C2)	A3 (0.15)	B3 (200)	C2 (0.1)	2.3
K_{1j}	6.2	7.2	7	
K_{2j}	6.4	7.1	6.8	
K_{3j}	7.5	5.8	6.3	
R_j	1.3	1.4	0.7	

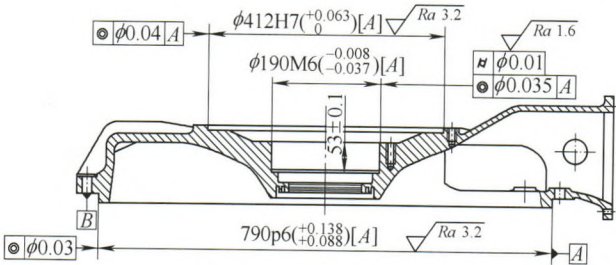


图4 某机车牵引电机端盖

动车组电动机端盖，其表面质量和形位尺寸公差等要求更高，采取磨削加工是很理想的工艺方法。为了选取最合适的磨削参数，我们对4个影响参数进行了交互组合试验，得出结论为 R_a 值均在 $0.6\mu\text{m}$ 以内，其中砂轮粒度对表面粗糙度值 R_a 的影响最大，磨削深度、砂轮转速次之，工件转速影响最小，具体影响规律如图8所示。

(1) 滚压加工。滚压加工是利用淬硬的滚压工具在常温下对工件表面施加压力，能使表面层金属产生冷态塑性变形，使波峰填充到相邻的波谷中，从而降低表面粗糙度值，提高表面硬度，并在表面产生冷硬层和残余压应力。铸铁件端盖在精车工序后再进行滚压加工，可以得到了满意的表面质量效果，但滚压参数的设定也是关键因素，通过试验得知，滚压后轴承室表面粗糙度值影响最大的因素是滚压深度 δ ，其次是滚压转速 n ，较为理想的滚压深度为 $0.02\sim 0.03\text{mm}$ ，滚压转速为 $80\text{r/min}\sim 100\text{r/min}$ 。

(2) 毫克能加工。毫克能加工又称为超声加工技术，它是利用激活能和冲击能的复合能对

金属零件进行加工，使零件表面达到镜面状态并实现改性的创新性能量加工技术，我公司借助山东华云机电科技有限公司的设备与技术在某动车组电动机轴承座上进行了多方面的应用研究，取得了许多实质性的有用数据。图9所示是毫克能加工后形成的表层结构，在毫克能刀具加工后，零件表面好像被熨平，起

到消尖填谷的作用，形成镜面般的塑性变形层。通过对工件和样件的试验表明，毫克能加工后的表面粗糙度质量得到了极大提升，而前后尺寸变化波动幅度很小，其变化的方差为 $0.005\ 3$ ，前后圆度变化也很小，变化的方差只有 $0.000\ 21$ ，并且圆柱度趋好，其均值从 $0.005\ 05\text{mm}$ 下降到 $0.004\ 84\text{mm}$ 。

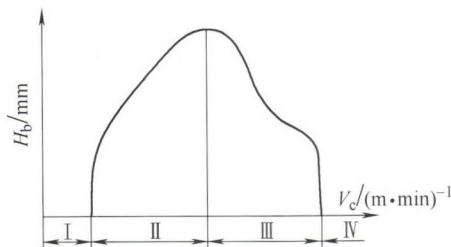


图7 切削速度对积屑瘤的影响

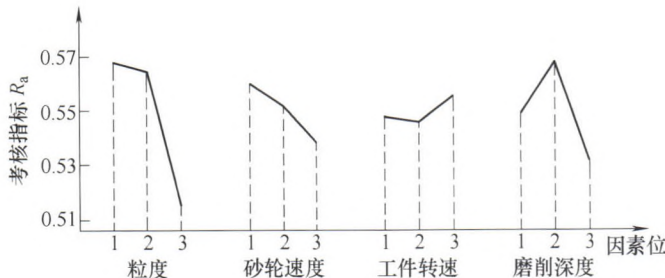


图8 各种磨削参数下的 R_a 变化趋势

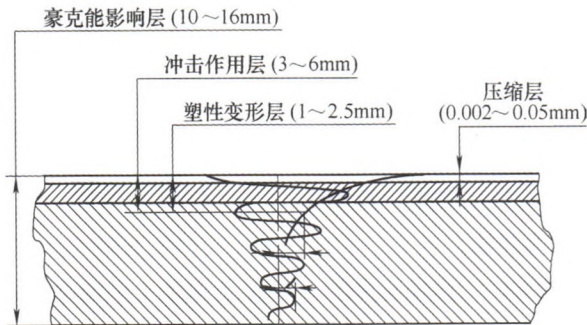


图9 毫克能加工后的表层结构



图5 积屑瘤导致切深变大



图6 积屑瘤断裂后恢复正常切削

3. 结语

通过对几种加工工艺方法的应用研究，在对各种工艺方法的工艺参数进行试验和优化后，针对牵引电动机轴承室的加工表面质量的设计新要求，可以经济性地选取合适的加工工艺来达成。

参考文献：

[1] 王先逵.机械加工工艺手册[M].北京：机械工业出版社，2008.

MW（收稿日期：20161230）