

YE4 电机定转子铁心制造工艺的研究

黄先锋

(上海电科电机科技有限公司, 上海 200063)

摘要: 针对 YE4 电机开发需提高铁心制造精度的要求, 通过对冲压模具的设计、材料选择和处理以及和冲床、硅钢材料的配合研究入手, 减少了冲片毛刺高度。改进定子铁心装压的方法, 提高了叠压系数, 降低了电机铁耗。

关键词: YE4 电机; 冲片毛刺; 定子压装; 铁耗

中图分类号: TM 305 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)06-0076-04

Research on Manufacturing Process of Stator Core of YE4 Motor

HUANG Xianfeng

(Seari Motor Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: Aiming at the requirement of improving the precision of core manufacturing for the development of YE4 motor, the purpose of reducing the burr height is achieved through the design of stamping die, selection and treatment of material and the matching of punching machine and silicon steel material. The method of improving the loading of stator core was studied to improve the superposition coefficient and reduce the motor iron consumption.

Key words: YE4 motor; burr burr; stator pressing; iron consumption

0 引言

2014 年 IEC 发布的 IEC 60034-30-1:2014 在 IE4 效率等级的基础上, 又提出了效率等级更高的 IE5 概念。同时 IEC 组织还给出了各种类型电动机所能达到各级效率等级的难易程度, 其中指出“散嵌绕组(所有防护等级, 各种定额)达到 IE4 效率等级是困难的”^[1]。由于 YE3 系列电机平均效率达到 91.39%, YE4 系列电机达到 93.06%, 提高很多, 损耗降低空间不大, 除了增加有效材料和电磁、结构优化的方法外, 考虑到产品成本和电机本体限制, 研究加工工艺对降低电机损耗, 提升效率显得尤为重要。从 YE4 系列设计情况来看, 除了设计上采用不等匝正弦绕组, 采用目前最好的冷轧硅钢材料, 采取优化电磁、风路等措施, 在加工工艺方面把提高加工精度及采用特殊的加工工艺的研究作为本次开发的重点。通过多种工艺措施的使用, 达到了 IE4 标准, 并使电机的

性价比达到最优^[2]。

1 定、转子冲片精度提高的研究

电机铁耗占有所有损耗的比例高达 20% ~ 30%, 铁心质量的好坏直接影响电机的性能, 铁心制造工艺对电机杂散损耗影响也很大。YE4 电机开发针对定转子铁心的制造、0.35 mm 冷轧硅钢片冲制工艺开展了研究。

在冲制冲片时, 毛刺会引起铁心的片与片之间的短路, 增大铁损和温升。由于毛刺的存在, 会使同样的铁心长度冲片数量减少, 叠装系数降低, 引起激磁电流增加和效率降低; YE4 电机根据设计的需要, 减小了绝缘厚度, 过长的槽内毛刺可能会刺伤绕组绝缘, 还会引起齿部外胀; 转子轴孔处若毛刺过大时, 可能引起轴孔尺寸的缩小或椭圆度增大, 致使铁心轴的装压困难, 直接影响电机质量。行业内现有的冲片毛刺高度的规范是: 延续热轧硅钢的冲压工艺要求毛刺高度不大于

作者简介: 黄先锋(1972—), 男, 工程师, 研究方向为电机系统节能和电机制造。

0.05 mm,个别点高度不大于 0.1 mm^[3]。IE4 效率电机设计采用高牌号硅钢,还有 0.35 mm 厚度的硅钢片,同板差小,硬度较低牌号的硅钢高,要求冲片毛刺的高度控制在 0.03 mm 以内,复式冲模的毛刺高度控制在 0.05 mm 以内,还是有一定的难度。

1.1 冲片毛刺产生的原因

(1) 冲模工作部分刃口变钝。冲模工作部分刃口由于冲模自身材质硬度不够或热处理不好,长期工作磨损容易出现圆角,则不能很好起到材料分离作用,硅钢整个断面因撕裂而不规则。尤其是在落料时的凸模刃口及冲孔时的凹模刃口变钝时所产生的毛刺更为严重。

(2) 冲模间隙过大、过小或不均匀。模具因冲针安装时质量不高,容易造成凹凸模冲针和凹模之间间隙过大、过小或不均匀,在冲裁时,容易在冲片部分槽口出现毛刺高度过大的情况。

(3) 冲压设备原因。冲床的导轨精度、滑块与床面的平行度不好,滑块运动方向与台面的垂直度不好等都容易产生毛刺。模具安装后,上下模调试不到位,也容易导致毛刺过长。

(4) 材料原因。在实际生产中,硅钢片材料的机械性能、材料厚度不均,表面质量不好等因素会导致冲裁分离时,受力不均匀,从而影响冲片的断面质量。

1.2 解决冲片毛刺长的措施

由于冷轧硅钢片的同板差小,硬度高,IE4 效率电机设计时,拟将冲片毛刺高度控制在 0.03 mm 以内,复式冲模的毛刺高度控制在 0.05 mm 以内。为达到该要求,从模具制造、冲压设备精度控制、提高材料质量等方面进行研究。

1.2.1 模具制造

冲模是电机冲片生产中的重要装备,一副冲模从设计、机械加工、装配、调整到安装使用,需要很多工时,是冲压单位制造成本最高、消耗量较大的工艺装备,合理使用和维护能大大延长冲模寿命,降低生产成本。冲片的槽型基本是靠冲模的精度来保证的。

(1) 冲模的设计。设计冲模结构,尽量采用标准结构和避免不必要的加工精度,正确地确定冲模结构、模刃尺寸和选择凹凸模的间隙,制造方便容易修磨,容易拆装;根据冲床的规格确定冲模的安

装尺寸,对形状不对称的冲模,要使其压力中心和模柄的轴线相重合;必须保证冲制零件的质量。

(2) 冲模的材料。为了达到冲片毛刺高度不高于 0.03 mm 的要求,冲模刃口对硅钢材料的分离性能很关键。联合部分模具制造商,根据不同要求冲片产品的模具制造经验,结合 YE4 冲片精度的要求,对硬质合金模具进行研究。采用硬度高、耐磨性好的硬质合金作为制造凸、凹模的材料,是提高精度、延长模具寿命有效途径。硬质合金材料一般用钨钴类合金,其牌号为 YG15 ~ 20,淬火后硬度可达 HRC67 ~ 80,高于一般合金工具钢淬火后硬度(在 HRC64 以下),并且耐磨性好。另外还要根据硬质合金的物理性能,改进冲模结构、提高制造工艺水平,有效地利用硬质合金材的性能。硬质合金冲模在结构上间隙一般取冲制材料厚度的 12% ~ 16%,比钢冲模间隙大;凸模的导向板必须装有导套起导向的作用,并在凸模与导向板之间浇注环氧树脂;冲模的导向一般采用滚动导套,导柱和导套之间保持 0.010 ~ 0.015 mm 的过盈量;上、下模座必须采用机械强度较高的材料(如 45 号钢或铸钢)制成,厚度增加 30% ~ 50%。另外,由于冷轧硅钢片无机涂层是十分硬而脆的物质,而在冲剪过程中,凹凸模受冲剪张力,且相对于硅镁化合物做往复运动,所以硅镁化合物无机涂层对凹凸模具刃口、滚刀等进行磨削,促使模具刃口急剧磨损。因此,在冲剪过程中,需要经常应用油石和银光砂纸打磨模具工作面,以消除因模具受热而积聚于工作部位的粉末状硅镁化合物。

(3) 冲模工艺处理。模具材料是提高模具寿命的必要条件,但正确的热处理条件才能使模具材料的优良性能充分体现。电机冲裁模常用 Cr12 和 Cr12MoV 材料,采用三方六面对模具钢进行反复墩拔改锻,将材料的表面配置在工作面上,对钢材或锻坯表面的脱碳层尽可能除尽,用磁力探伤等方法检测磨削裂纹。在模具热处理中,中温淬火及中温回火即可获得较好的强度和韧性;模具材料渗硼处理,可大大提高零件表面的耐磨性、热硬性及耐蚀性;应用电火花脉冲放电原理熔渗硬质合金,利用脉冲电流产生的高温,将硬质合金附着、沉积、扩散到模具刃表面上,形成一层薄的硬质合金层,可以提高模具的表面硬度,增加耐

磨性,从而延长模具使用寿命。目前电机制造厂大都采用 Cr12 钢材制造冲模,单式冲槽模平均寿命可达 300 万冲次,一次刃磨为 5 万冲次;复式冲槽模平均寿命为 50~100 万冲次,一次刃磨为 2~

5 万冲次。采用 YG20~30 硬质合金制作的冲模,一次刃磨为 20~50 万冲次,总寿命大大提高,可节省上下模具的时间,提高冲片质量和生产效率^[4]。Cr12 钢的淬火回火工艺曲线如图 1 所示。

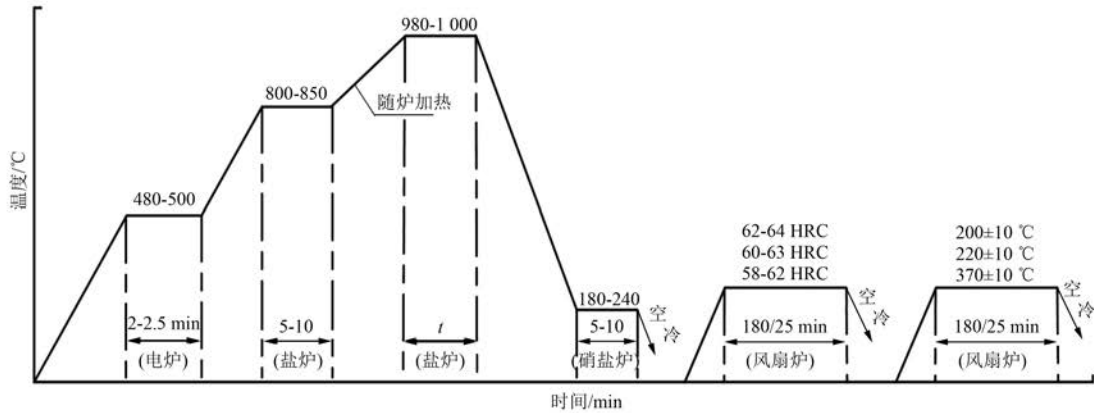


图 1 Cr12 钢的淬火回火工艺曲线

1. 2. 2 冲压设备精度控制

在冲模装配时必须保证凸、凹模的装配质量,应保证凸模的垂直度和承受侧压的刚性及整个冲模的刚性。模具安装时要保证凸、凹模的正确间隙值,并且凸、凹模在固定板上要固定牢固可靠,上下模板应与压力机工作台面保持相互平行。从模具受力情况分析,间隙小则张力大,模具磨损

加剧;间隙大则冲剪过程中产生的拉伸也较大。根据冷轧硅钢多年的加工工艺研究和总结,对于冲剪 0.5 mm 硅钢片冲模的双面间隙 Z 值控制在 0.04~0.06 mm,0.35 mm 的硅钢片控制在 0.02~0.04 mm^[5]。0.5 mm 冷轧片磁性能试样冲模的双面间隙 Z 值冲片毛刺如表 1 所示。

表 1 0.5 mm 冷轧片磁性能试样冲模的双面间隙 Z 值、冲片毛刺 mm

冲片规格	规定值	实测尺寸	模具间隙	冲片毛刺			冲片平整度	试样加工数量
				首检	抽检	终检		
30×300	30±0.20	30.06	0.05	0.02	0.02	0.02	平整	800
10×300	10±0.06	10.04	0.055	0.02	0.02	0.02		1 300
7.5×300	7.5±0.05	7.51	0.05	0.02	0.02	0.02		1 600
6×300	6±0.04	6.04	0.05	0.02	0.02	0.03		2 000
4.3×300	4.3±0.03	4.33	0.045	0.02	0.02	0.03		2 500
3×300	3±0.02	3.00	0.06	0.02	0.02	0.04		4 500
100×100	100±0.2	100.04	0.055	0.02	0.02	0.02		300
	100±0.2	100.01	0.05	0.02	0.02	0.02		300

1. 2. 3 压力机刚性和冲裁力

压力机要求刚性好,有足够的冲裁力,弹性变形小,导轨精度高以及垫板与滑块平行。

1. 2. 4 硅钢片

利用检测合格的硅钢片进行冲制。

2 定子铁心压装工艺改进

电机铁心由大量冲制好的冲片叠压而成。叠好后的铁心要求其尺寸精确、形状规则,叠压后不再进行锉槽、磨内圆等补充加工。要求叠好后的铁心紧密成一整体,经运行不会松动,铁心还具有

一定的电磁性能,片间绝缘好、铁损小等。在工艺上应保证定子铁心压装具有一定的紧密度、准确度和牢固性。

2.1 保证铁心紧密度的工艺措施

铁心压装有3个工艺参数:压力、铁心长度和铁心重量。为了使铁心压装后的长度、重量和片间紧密度均达到要求,在压装时应正确处理三者的关系。理论上,压装压力越大,压装的冲片越多,铁心越紧密。但压力过大,会破坏片间的绝缘,使铁心损耗反而增加;压力过小则铁心压不紧,不仅使励磁电流及铁心损耗增加,严重的还会引起冲片松动,造成故障。压装方法有两种:定量压装和定压压装。一般是两种方法结合进行,即以重量为主控制尺寸,而压力允许在一定范围内变动。如压力超过允许范围,可适当增减冲片片数,这样既能保证质量,又保证铁心紧密度。铁心长度在500 mm以下时,可一次加压;当铁心长度超过500 mm时,考虑到压装时摩擦力增大,采用两次加压,即铁心叠装一半便加压一次,松压后安装完另一部分冲片,再加压压紧。铁心长最终控制为 $(L+1)$ mm左右。考虑压紧时,冲片与涨胎等夹具之间的摩擦力和油压机压力解除后冲片的回弹所引起的实际压力的降低等因素,一次叠压力在2.94~3.92 MPa,二次叠压力按0.98 MPa加压。通过几家冲片生产厂家的试验验证,0.5 mm硅钢叠压系数不低于0.98,0.35 mm硅钢片确定叠压系数为0.96。

2.2 保证铁心准确性的工艺措施

(1) 用耐磨材料根据槽型制作专用的槽样棒,来保证槽型尺寸的准确度,保证槽样棒的磨损在允许的范围内。

(2) 压装时的冲片基准必须与冲制的基准一致,内缘用工装涨紧,以保证铁心内外圆的准确度。

(3) 铁心长度严格按图纸要求,两端面的平行度在压装过程中也要加以保证。铁心压装首先按硅钢片厚度0.5 mm(0.35 mm)数够铁心长度要求的片数,压装前称铁心的重量,压装好后,再测

量铁心长度看是否符合设计要求的长度,以保证铁心长度的准确性。经过试验0.35 mm硅钢片铁心叠压后的齿部弹开量比0.5 mm硅钢铁心小1~2 mm。

2.3 保证铁心牢固性的措施

扣片宽度尺寸要与鸠尾槽的尺寸相匹配,最好采用机器一次性将所有鸠尾槽里的扣片碾压到位,保证扣片边缘鸠尾槽有足够的摩擦力,然后在定子两端将扣片与压板焊牢。

3 结 语

IE4电机降耗空间小,电机受尺寸限制,不能单纯依靠增加材料的投入,包括增加铁心长、增加用铜量、采用材质更好的硅钢片来提高效率,工艺水平的提高才是电机成功的重要保障。

经过铁心冲片厂对YE4电机定转子冲片冲剪、铁心压装的试制,高牌号的硅钢冲片毛刺高度可控制在0.03 mm以内,个别点高度不高于0.05 mm。样机试验表明,铁心精度提高可降低电机损耗,提升效率和功率因数,为YE4开发减薄绝缘工艺的实施奠定了基础。根据研究结果制定了YE4电机铁心制造工艺规范,对冲片毛刺、叠压力、铁心齿部弹开量等参数进行了规定,为YE4电机开发提供了基础。

【参考文献】

- [1] 黄坚.三相异步电动机的能效分级[J].电机与控制应用,2018,45(1): 1-6.
- [2] 黄坚,姚丙雷,顾德军.IE4超超高效率电动机系列产品开发[J].电机与控制应用,2018,45(2): 56-61.
- [3] 黄国治,傅丰理.Y2系列三相异步电动机技术手册[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 蒋小新,张定夷.Cr12钢电机硅钢片冲裁模的热处理研究[J].上海大中型电机,2000(1): 36-41.
- [5] 黄磊,黄力明.Y3系列三相异步电动机设计——冷轧硅钢片冲模模具间隙的选取[J].中小型电机,2004,31(5): 60-62.

收稿日期: 2018-03-28