

感应淬火技术在风电增速齿轮箱内齿圈上的应用

南京高速齿轮制造有限公司 (江苏 211100) 袁 强 刘 臻

在齿轮强化的方法中,感应淬火与调质、渗碳、渗氮一起构成四大基础工艺。考虑到生产实际,在风电增速齿轮箱内齿圈的批量生产中,采用渗氮或感应淬火工艺可以获得比较高的生产效率及较低的生产成本。具体采用何种工艺主要由客户要求、自身工艺控制水平及生产效率成本等因素而定。根据 ISO 6336 标准,对于模数大于 16 的齿轮件就不再推荐使用渗氮工艺来提高表面硬度,故对模数大于 16 的内齿圈推荐采用感应淬火工艺进行加工。

1. 感应淬火工艺

风电增速齿轮箱内齿圈一般采用逐齿/隔齿沿齿沟扫描技术进行感应淬火。感应器采用仿形法设计制造,其中一种可行的方案大体结构如图 1 所示。

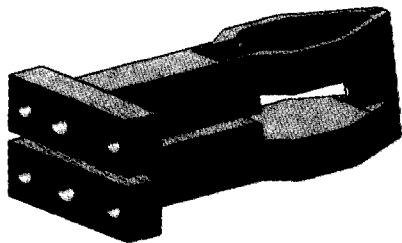


图 1 内齿圈感应淬火用感应器结构示意图

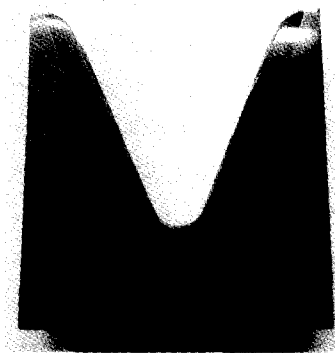
采用设计制造合理的感应器,配合精确的工艺参数控制,可以生产质量优良、稳定的感应淬火齿圈。目前,我公司内齿圈感应淬火技术已接近成熟,可加工出沿齿槽层深均匀,组织细密,深度满足设

计要求的零件。切割齿圈制样,腐蚀后热形显示如图 2 所示。

粒得到有序排列,进而增强磁性能。尤其在 500 ~ 600℃ 阶段,需缓慢降温,使晶粒有序排列充分,才能最大限度地发挥材料的性能。

整个退火过程中,操作也是一个不容忽视的问题,每个细节都应该精心考虑,比如零件的摆放位置、所用夹具的材质,以及洁净的操作空间等。

计要求的零件。切割齿圈制样,腐蚀后热形显示如图 2 所示。



2 感应淬火内齿圈齿槽截面热形图

为达到较好的感应淬火结果,生产时需根据感应淬火设计要求针对如下工艺参数进行选择。

(1) 电流频率 由感应电流透入深度计算。针对内齿圈数毫米级的工艺层深要求,一般采用中频感应电源进行加热。

(2) 感应器与零件间隙 由工艺试验确定。考虑到现场生产控制水平,机床精度限制及零件热辐射对感应器的影响,推荐各处间隙保证在 1.5mm 以上。

(3) 加热功率及扫描速度 由工艺试验确定。扫描速度影响生产效率,加热功率影响零件开裂风险,因此要综合考虑各因素后选择最合适的参数。

(4) 加热 - 淬火间隔 影响零件开裂风险。通

3. 结语

用于磁性能检测的试件与零件进行同炉热处理,其圆环平均直径与径向宽度比应 ≥ 8 。经检测,采用上述退火工艺的两种软磁材料磁性能完全满足设计要求指标。MW

(20120416)

过调节相关机构及扫描速度来控制。

2. 感应淬火质量控制

为保证产品质量的稳定性,在批量生产时,零件质量控制计划主要包含以下几点。

(1) 机床精度控制 由于采用逐齿/隔齿沿齿沟扫描技术进行感应淬火,故工艺上对机床本身精度有较高要求。目前,采用的主流办法是使用与感应器间位置可调的导向机构进行精确定位。此机构配合机床的浮动装置可部分弥补机床动作精度的不足,完成工艺上对感应器与零件间隙控制精度的要求。生产中需要定期对机床进行精度测量,对机床上起承载回转作用的支撑台尤为要注意这一点。推荐至少每班次使用百分表测量齿圈径向圆跳动,并检查机床十字浮动装置运作/报警正常。

(2) 感应器控制 风电增速齿轮箱内齿圈感应淬火的质量很大程度上取决于感应器设计的优劣。一个设计精良的感应器,本身对零件加热效率高,功率在整个齿槽表层分布合理,寿命长,发生异常概率低。而使用不满足以上特性的感应器会增加感应淬火工序的质量控制风险,降低优良品率,从而间接提高了产品成本。故感应器设计质量控制在整个感应淬火质量控制体系中尤为重要。对内齿零件进行感应淬火时采用的感应器肯定安装了导磁体,而工艺试验中如需对导磁体进行修形时,应根据导磁体种类不同而采用不同方式:硅钢片结构的导磁体应在修形后重新磷化,防止硅钢片间导通或击穿;铁氧体结构的导磁体应注意加工力度,防止粉末冶金成形的易碎裂。

另一方面,感应器在生产使用过程中受到淬火冷却介质、本身通电产生的热效应、高温零件热辐射等影响,会发生各种异常,影响其表层电流分布,从而使淬硬层深及淬火组织与新感应器所得结果产生偏离,故生产过程中对感应器状态的全程跟踪监控是质量控制体系中很重要的一环。建议针对每只感应器建立专门台账进行跟踪,对其变形情况、试样结果、修形/返修过程进行记录。对于使用寿命接近/超过一般使用寿命的感应器,要综合考虑各项成本后,采用提高代表试样淬火频次或直接报废。

(3) 水基淬火冷却介质参数控制 目前,感应淬火中通常使用 PAG 水基淬火冷却介质进行淬火。PAG 淬火冷却介质是由聚烷撑二醇 (Polyaleneglycol)

聚合物加上能获得其他辅助性能的复合添加剂并溶于水获得的水溶性淬火冷却介质。使用中,淬火冷却介质可能发生的变化主要有两类:一类是其冷却性能上的变化,另一类是其防锈和防腐等性能的变化。对 PAG 淬火冷却介质冷却性能进行监控时,由于其 PAG 组分在所有溶质中的比例及有效 PAG 聚合物在所有 PAG 聚合物中的比例在生产过程中会不断下降,故不能只通过折光仪浓度法、黏度测量法、真实浓度测量法等进行控制,还要定期使用冷却特性测试仪进行测试,并用得到的冷却特性曲线控制浓度。在成本许可的条件下,推荐每月彻底更换一次淬火冷却介质,从而杜绝因淬火冷却介质老化等问题导致的批量质量事故。

(4) 零件状态控制 由于感应淬火使用感应电流进行加热,而感应电流在工件表面分布对于工件表面状态有很高的敏感性,故感应淬火对工件表面状态的要求要高于其他热处理方式。对齿形确定的内齿圈来说,生产中主要考虑感应电流的尖角效应对其影响。一般要求工件表面无超过 0.2mm 的台阶、积屑瘤、铁屑等,倒角圆滑过渡。

3. 感应淬火的优缺点

将感应淬火技术应用于风电增速齿轮箱内齿圈上,不仅具有生产效率高,节约能源,环境污染小,以及易于实现自动化等感应淬火的共有优点,还具有以下特点。

(1) 相比于渗氮,其对基体硬度和组织要求可以适当放宽。

(2) 相比于渗碳淬火,工件不是整体加热,变形较小,故相应磨量较小,设计放磨量可减少,且后续生产加工成本较低。

(3) 批量生产时交货期短,满足客户需求。

(4) 便于机械化和自动化,设备紧凑,使用方便,劳动条件好。

但使用感应淬火技术对内齿圈进行加工,尚有以下困难及缺点待克服:①新齿形产品工艺试验周期较长,感应器设计及相关工艺参数选择需要慎之又慎。②不能实现全齿宽淬硬,目前可满足设计上 80% 齿宽高符合工艺要求,这一点也是未来需要改进的地方。③批量生产时,发生质量事故风险较大,需要企业具有严格的质量控制体系和较高的质量控制水平。MW (20120309)