

一种值得推广的内孔感应淬火工艺调试方法

谢文¹, 许刚²

1. 十堰天舒感应设备有限公司 湖北十堰 442002

2. 湖北工业职业技术学院 湖北十堰 442001

摘要: 对比常规内孔扫描淬火与改进之后的内孔扫描淬火方法, 着重论述改进之后的淬火方法的适用性, 值得在生产中推广应用。

关键词: 高淬透性; 内孔; 感应器; 喷水盒; 淬火冷却介质

1 零件结构和技术要求

某零件内孔直径为31.7mm, 外径为48mm, 长94.5mm, 结构如图1所示。

技术要求: 材料为40CrB钢, 内孔感应淬火, 表面硬度52~59HRC, 淬硬层深 $D_s = 1.5 \sim 3.0\text{mm}$ (45HRC)。

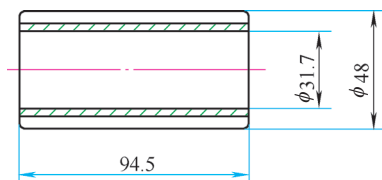


图1 零件结构

2 技术分析

感应加热表面淬火是利用电磁感应原理, 在工件表面层产生密度很高的感应电流, 将零件表层迅速加热至奥氏体状态, 随后以大于临界冷速快速冷却得到马氏体组织的淬火方法。

高频电流流过环状导体时, 最大电流密度分布在环状导体内侧, 这种现象称之为圆环效应, 如图2所示。

圆环效应使感应器上的电流密集到感应器内侧, 对加热零件外表面十分有利, 但在加热零件内孔时, 此效应使感应器电流远离加热零件表面, 这是有害的, 如图3所示^[1]。

为了提高感应器的加热效率, 根据感应加热的槽口效应, 需要添加门形导磁体。

感应器的有效圈上装了门形导磁体, 就能使高

频电流从导磁体开口一侧的表面流过 (见图4), 这就是有磁路存在时的集肤效应, 也称为导磁体的驱流作用, 也称之为槽口效应。

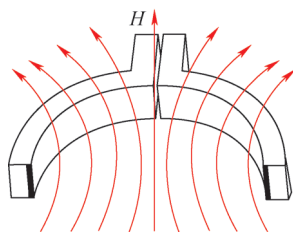


图2 圆环效应

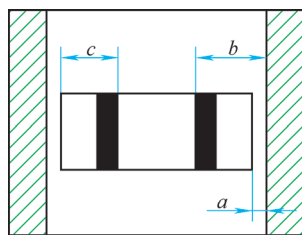


图3 电流远离加热零件表面 (一般取 $a = 1.5\text{mm}$)

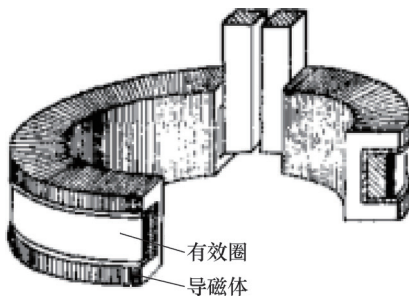


图4 感应器有效圈装上了门形导磁体

根据以上理论, 设计如下2种感应器, 分别从感应器结构、功率和扫描速度、淬火层深及感应器寿命进行比对分析。

3 常规内孔扫描加热喷水淬火方式

常规内孔加热、喷水扫描淬火感应器结构如图5所示。淬火参数见表1，检测结果见表2。

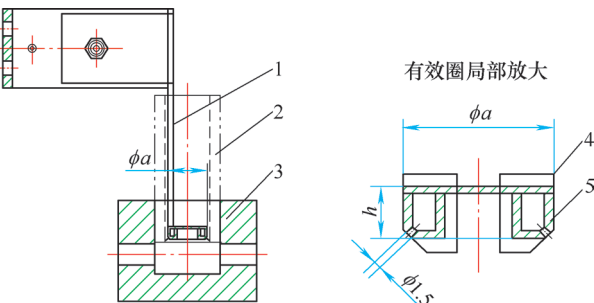


图5 常规内孔加热、喷水扫描淬火感应器结构

1.感应器 2.零件 3.工装 4.硅钢片 5.有效圈

表1 常规内孔加热、喷水扫描淬火参数

项目	参数值
感应器外径 ϕa /mm	26.5
感应器高度 h /mm	12
频率/kHz	26
功率/kW	69
水流量/L·min ⁻¹	9
淬火冷却介质	5%PAG水基淬火剂
扫描速度/mm·min ⁻¹	300

表2 常规内孔加热、喷水扫描淬火检测结果

样块照片		
检测结果	表面硬度HRC	57~59
	层深/mm (450HV1)	1.9

这种感应器的优点是制作、调试方便，缺点是由于内孔直径很小，感应器所用铜管也很小，因此没有充足的空间布置喷水盒。此类型感应器的有效圈是靠淬火水冷却的，但是为了保证工件的淬火质量，使工件淬火后不易开裂，淬火冷却介质为在蒸馏水中添加了浓度5%的APG水基淬火液，以降低工件的冷却速度，这样也就同时降低了淬火水对感应器的冷却能力。另外，在淬火过程中，为了保证加热正常进行，淬火液的压力又不能过大，必须确保“不反水”而影响加热，这就进一步降低了淬火水对感应器的冷却能力。生产中如果出现喷水孔堵塞的情况，淬火水对感应器的冷却能力会再一次下降，稍有不慎感应器就很容易烧毁。

为了解决感应器使用寿命的问题，提高生产效率，我们对感应器结构和淬火方式进行进一步研究和改进。

4 内孔加热、外圆喷水淬火的方式

经查阅相关文献[2]，40CrB钢的淬透性在24~26mm，如图6所示。

零件内径为31.7mm、外径为48mm、壁厚为8.15mm，而40CrB的淬透性为24~26mm，远超过零件的壁厚8.15mm，因此做出如下设想：内孔感应器加热，外圆喷水冷却淬火，设计制作出的新型感应器如图7所示。改进淬火参数见表3，检测结果见表4。

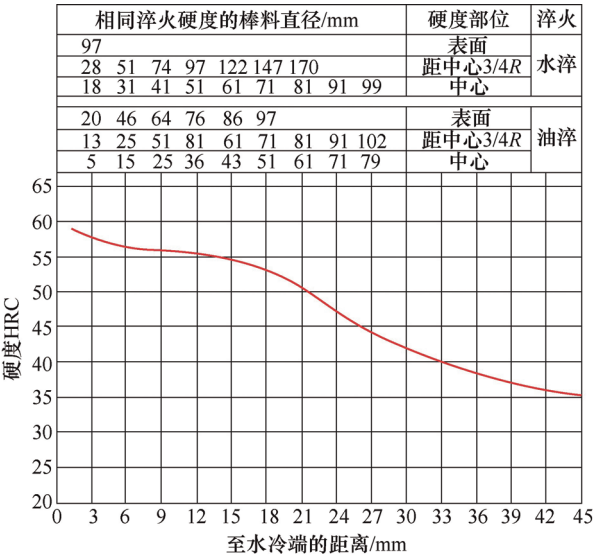


图6 40CrB钢的淬透性曲线

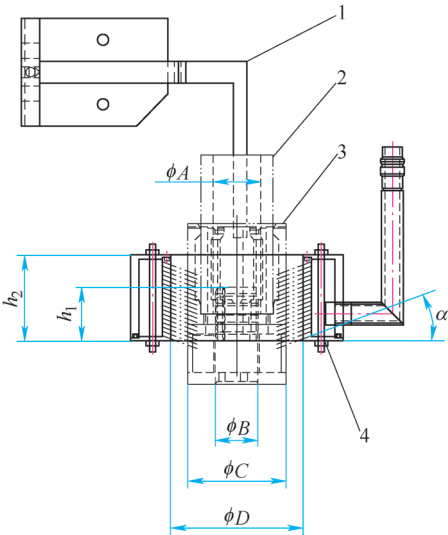


图7 内孔加热、外圆喷水淬火的方式

1.内孔加热感应器 2.工件 3.工装 4.外喷水盒

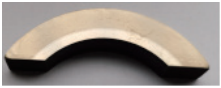
表3 内孔加热、外圆喷水淬火参数

项目	参数值
感应器外径 B/mm	26.5
感应器高度 h_1/mm	50
频率/ kHz	22
功率/ kW	87
感应器冷却水流量/ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	9.5
淬火水流量/ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	85
淬火冷却介质	5%PAG水基淬火剂
扫描速度/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	430

注：感应器所用纯铜管为外径6mm、内径4mm，匝数 $n=5$ 匝。

根据参考文献[1]，当感应器的设计满足 $5 < \text{长}/\text{高} < 10$ 时，认为感应器设计是良好的，此时感应器效率较高。对于本文所设计的新型感应器，由 $5 < 26.5 \pi n/h_1 < 10$ ，得出 $0.06 < n/h_1 < 0.12$ ，即认为此感应器设计良好、效率较高。根据图7和表3的设计参数， $n=5$ ， $h_1=50\text{mm}$ ，那么 $n/h_1=0.1$ ，则感应器设计合理，效率较高。

表4 内孔加热、外圆喷水淬火检测结果

样块照片		
检测结果	表面硬度HRC	58~59
	层深/mm (450HV1)	2.2

根据表4检测结果，此种内孔扫描加热、外圆喷水完成内孔淬火的方式是合理的，且效率比常规的内孔扫描喷水淬火的方式速度提高了40%，产能相应增加了40%。

另外，由于内孔无需喷水，感应器可以通高压冷却水，所以感应器的使用寿命大幅提高。

该感应器的不足之处是对工装要求较高，如果

工装设计或喷水盒位置调整不合理，会出现淬火起始位有8~10mm没有淬火层深，如图8所示。工装设计改进之后，喷水盒位置与感应器内孔加热位置调整合适，淬火起始位置可达到图9所示的效果。

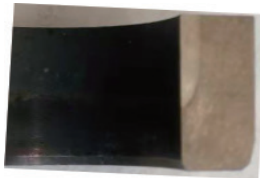


图8 下侧起始淬火位置

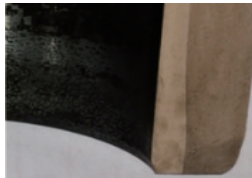


图9 工装改进后下侧切样照片

此外由于感应器是多匝的，因此无法按常规感应器添加硅钢片，内孔必须添加导磁泥，且导磁泥、灌封胶、凝固剂的比例必须合适（导磁泥：灌封胶A：凝固剂B=6.5：5：1），且单次只能按比例调配1~2个进行灌装。如果配方不合适，或者一次灌装多个，在导磁粉灌装时会因固化先后顺序不一致而导致流动性变差，出现填充不饱满的情况（见图10），如此会造成感应器效率不一致。



图10 导磁粉灌装没有填充饱满

5 两种淬火方式对比

两种淬火方式对比见表5。

表5 两种淬火方式对比

项目	常规内孔加热、喷水扫描淬火	内孔加热、外圆喷水淬火方式
适用性	淬透性和淬硬性满足淬硬层深、硬度的材料都可以	材料的淬透性必须远远大于零件的壁厚，否则无法使用此种方式，适用性受零件材料的淬透性限制
感应器设计及制作难度	设计、制作难度较小	设计、制作难度较大
喷水盒设计与制作难度	无需单独喷水盒，有效圈上直接钻喷水孔	设计、制作比较复杂
工装设计及加工难度	设计难度较小，常规的孔轴配合，下部镂空排水	由于是外圆喷水，依靠材料的淬透性保证内孔的冷却效果，工装必须尽量少的面积与零件接触，保证工件外圆喷水面足够充分，因此工装的设计及制作难度较大
扫描速度（生产效率）/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	300	430（比常规方式提高40%以上）
感应器寿命	感应器依靠淬火水冷却，容易烧毁	感应器通高压冷却水，使用寿命较长
导磁材质的要求	硅钢片，重复性好	内孔必须添加导磁粉，导磁粉灌装配方必须保持一致，且单次调配1~2个进行灌装，从而保证感应器的效率、加热效果一致

参考文献：

[1] 沈庆通. 感应热处理问答[M]. 北京：机械工业出版社，1990.

[2] 刘学勤. 常用钢淬透性图册[M]. 北京：化学工业出版社，2011.