



■ 冯伟年

异径工件的整体感应透热

在锻造和整体调质处理的工艺中，经常有不等截面的工件需要加热。工艺要求截面部分同时加热到相同的均匀温度。感应加热一般适应于等截面工件的加热。截面大小不同的部分同时加热到相同的温度，可以采用横向磁场调整不同截面处工件与线圈之间的间隙，从而改变线圈在不同截面处的磁场强度 H ，在大截面处产生较大的磁场强度 H_1 ，生成较大的功率密度（单位面积上的功率 kW/cm^2 ），在小截面处产生较小的磁场强度 H_2 ，生成较小的功率密度。

异径工件的横向磁场感应加热如图1所示。

图中， D 为大直径， d 为小直

径。加热温度为 T ，加热前温度为 T_0 。

1. 加热工件单位时间内所需的功率

工件大直径区段单位长度在单位时间内加热到温度 T 所需的功率

$$P_1 = \pi D^2 \gamma c (T - T_0) / \tau$$

$$= \pi D^2 \gamma c \Delta T / \tau$$

式中 γ ——密度；
 c ——热容量；
 ΔT —— $T - T_0$ ；
 τ ——加热时间。

工件小直径区段单位长度在单位时间内加热到温度 T 所需的功率

$$P_2 = \pi d^2 \gamma c \Delta T / \tau$$

两者之比：

$$P_1 / P_2 = D^2 / d^2 \quad (1)$$

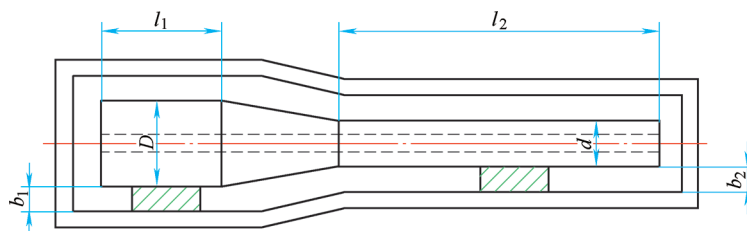


图1 异径工件的横向磁场感应加热

缺陷基本只限于表层和次表层，磁粉检测方法特别适合作用来检测这种缺陷。

磁粉检测适用于铁磁性材料的表面及近表面缺陷的检测时灵敏度很高，可以发现极细小的裂纹及其他缺陷；检测成本低，速度快；不能用于内部缺陷的检测。对铁磁性材料表面缺陷的检测灵敏度高于渗透检测。

5. 结语

磁粉检测是非常适合于感应热处理中的缺陷检验手段，目前磁粉检测已不仅用来探测和发现缺陷并测试试件的一些信息，还包括利用新技术、新设备获取更多的信息，以对试件的质量或性能作全面和准确的评价。

参考文献

[1] 沈庆通，梁文林. 现代感应热

处理技术[M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[2] 全国锅炉、压力容器标准化技术委员会. JBT4730.4—2005 磁粉检测[S]. 北京：中国标准出版社，2005.

作者简介：王博，浙江德福精密驱动制造有限公司。

MW 20161020

2. 感应加热的电磁能传输

工件加热的能源是由感应器提供的，感应线圈接入电源后，在线圈内生成电磁场（ EH ），电磁场透入工件的电磁能，其有功部分（实数）成为热源，根据坡印廷定理（Poynting），电磁能：

$$S = 1/2EH$$

式中 E ——电场强度；

H ——磁场强度。

而磁路： $\oint Hdl = El\rho$

式中 l ——磁路长度（单位长度 $l=1$ ）。

其有功部分的能流（功率）密度：

$$P_0 = kH^2 (\rho \mu f)^{1/2}$$

式中 H ——作用于工件表面的磁场强度；

ρ ——工件的电阻系数；

μ ——相对导磁率；

f ——电流的频率；

k ——系数。

大直径单位长度圆柱表面的功率：

$$P_1 = k\pi DH_1^2 (\rho \mu f)^{1/2}$$

式中 H_1 ——作用于大直径区加热所需的磁场强度。

小直径单位长度圆柱表面的功率：

$$P_2 = k\pi dH_2^2 (\rho \mu f)^{1/2}$$

式中 H_2 ——作用于小直径区加热所需的磁场强度。

两者之比：

$$P_1/P_2 = (D/d) (H_1^2/H_2^2) \quad (2)$$

从式（1）已知，同时加热到相同温度的功率（密度）之比，则

$$P_1/P_2 = D_2/d_2 = (D/d) (H_1^2/H_2^2)$$

$$\text{所以, } H_1 = H_2 (D/d)^{1/2} \quad (3)$$

3. 环形线圈的磁场强度

电流 I 通入环形线圈后，在线圈内产生磁场，磁场强度由线圈内侧向心部衰减，圆环心部的磁场强度： $H_0 = I/2\pi r$

式中 r ——圆环的半径。

由圆环线圈至圈内距离为 b 处（见图2）的磁场强度

$$H_b = I/2\pi b \quad (4)$$

b 为感应器内工件与线圈之间的间隙。磁场强度 H 与间隙成反比，间隙 b 越大，磁场强度 H 衰减越多，工件吸收的电磁能越少。

4. 调整间隙

直径大小不同的部分要同时加热到相同温度，大直径区段需要输入较大的功率密度，小直径区段需要输入较小的功率密度。已知功率密度 P_0 与磁场强度 H 的平方成正比，而磁场强度 H 与工件在感应器内的间隙成反比。为此。可以用调整间隙的方法来调整输入工件的功率密度。

若大直径区段的间隙为 b_1 ，

$$\text{磁场强度 } H_1 = I/2\pi b_1$$

若小直径区段的间隙为 b_2 ，

$$\text{磁场强度 } H_2 = I/2\pi b_2$$

代入式（3），则

$$b_2/b_1 = (D/d)^{1/2}$$

$$b_2 = b_1 (D/d)^{1/2} \quad (5)$$

由此可见，当小直径区段的线圈与工件之间的间隙 b_2 为大直径区段的 $(D/d)^{1/2}$ 倍时，大小直径区段可以同时加热到相同温度。

5. 讨论

在感应加热过程中，电流穿透层是不断变化的，而电磁能透层是不断变化的，而电磁能转化为热能后，向穿透层以外的心部传导需要一定的时间。上述推导仅考虑能源（功率）密度的需要来计算热传导时间，要使不同工件的不同断面部分的温度相等并内外均匀，应设置保温室，加热后的工件在保温室内停留一段时间，可减少温差，达到工件内外温度均匀。

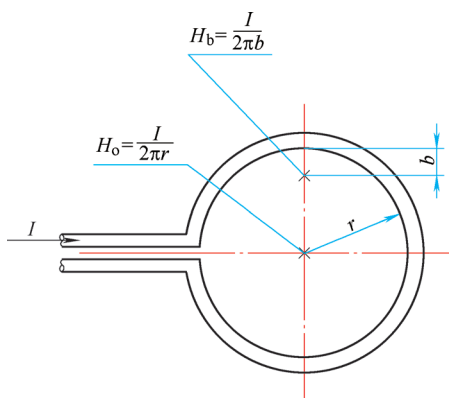


图2 环形线圈内磁场强度分布

作者简介：冯伟年，兵器总公司。

MW 20161106