



# 磁粉检测在感应淬火中的应用

■ 王博

**摘要：**随着无损检测技术的发展，无损检测的方法也越来越多，像射线、超声波、磁粉、渗透、涡流、声发射等先后出现，极大地丰富了裂纹的检测手段，使热处理的质量控制水平得到了很大的提高。在这些检测技术中磁粉检测在感应淬火中有其独特的优势。

**关键词：**感应淬火；无损检测；磁粉检测；应用优势

## 1. 概述

由于感应淬火具有节能、高效、劳动环境好、在线生产，以及便于自动化等一系列优点，因此发展异常迅速，在国内外得到了普遍的应用与推广。最初感应热处理应用于机床和纺织机制造业，随后汽车、拖拉机、坦克等制造过程中都大量采用了感应热处理技术。

随着感应淬火技术的不断发展，相对应的检测技术手段也在不断提高。除了常规的金相组织、表面硬度以及硬化层深度之外，热处理过程中还有一个重要的检测项目——裂纹缺陷的检测。裂纹的检测是热处理环节非常重要的一项工作，表层微裂纹及次表层裂纹也一直是检测的难点。破坏检测代价高，操作烦琐费时费力，还具有检测不全面的局限性，因此目前基本采用无损检测技术来检测热处理过程中的裂纹缺陷。随着无损检测技术的

发展，无损检测的方法也越来越多，像射线、超声波、磁粉、渗透、涡流及声发射等先后出现，极大地丰富了裂纹的检测手段，使热处理的质量控制水平得到了很大的提高。在这些检测技术中磁粉检测在感应淬火中有其独特的优势。

## 2. 磁粉检测的原理

铁磁性材料工件被磁化后，由于不连续的存在，使工件表面（见图1左）和近表面（见图1右）的磁力线发生局部畸变而产生漏磁场，吸附施加在工件表面的磁粉，在合适的光照下形成目视可见的磁痕，从而显示出不连续的位置、大小、形状和严重程度。

漏磁场形成的原因，是由于空气的磁导率远低于铁磁性材料的磁导率。如果在磁化了的铁磁性工件上存在着不连续性或裂纹，则磁感应线优先通过磁导率高的工件，这就迫使部分磁感应线从缺陷下面绕过，形成磁感应线的压缩。但是，工件上这部分可容纳的磁感应线数目也是有限的，又由于同性磁感应线相斥，因此一部分磁感应线从不连续性中穿过，另一部分磁感应线遵从折射定律几乎从工件表面垂直地进入空气而绕过缺陷又折回工件，形成了漏磁场。

漏磁场对磁粉的吸附可看成是磁极的作用，如果有磁粉在磁极区通过，则将被磁化，也呈现出N极和S极，并沿着磁感应线

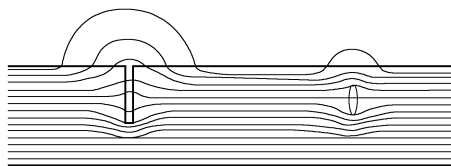


图 1

排列起来。如图2所示，当磁粉的两极与漏磁场的两极互相作用时，磁粉就会被吸附并加速移到缺陷上去。漏磁场的磁力作用在磁粉微粒上，其方向指向磁感应线最大密度区，即指向缺陷处。漏磁场的宽度要比缺陷的实际宽度大数倍至数十倍，所以磁痕对缺陷宽度具有放大作用，能将目视不可见的缺陷变成目视可见的磁痕使之容易观察出来。

### 3. 磁粉检测机

磁粉检测机种类很多，大型企业里感应淬火生产线一般采用固定式检测机（见图3）。固定式检测机组成部分包括：磁化电源、磁化线圈、工件夹持装置、指示装置、喷洒装置、照明装置及退磁装置。采用剩磁法时交流检测机应配备断电相位控制器。

### 4. 磁粉检测在感应热处理中的应用

汽车传动轴系统很多零部件是要经过中频感应淬火的，由于零部件的形状特点，许多地方存在尖角、槽等结构，这些结构在中频感应淬火过程中由于热处理相变容易产生裂纹，必须经过无损检测，使用固定式检测机易于连接生产线以实现自动化，操作也简单、快捷。首先工件经过夹持装置（见图4）固定好之后，进行轴向和周向磁化（原理见图5），磁化后喷淋磁悬液，在黑光灯的照射下裂纹处形成磁痕。

周向磁化是指给工件直接通电，或者使电流流过贯穿空心工件孔中的导体，旨在工件中建立一个环绕工件的并与工件轴垂直

的周向闭合磁场，用于发现与工件轴平行的纵向缺陷，即与电流方向平行的缺陷。

轴向磁化就是将工件放在通电线圈中，形成纵向磁场，用于发现工件的周向缺陷。

在固定式检测机的实际检测中，工件的轴向和周向磁化均可以设定好，设备自动实行工件的磁化，喷淋磁悬液也是自动进行的，操作者只需在磁痕显示后，观察磁痕的显示情况，分析热处理过程中是否存在裂纹的问题。

图6是汽车等速万向节的一个外球笼，球道采用中频感应淬火工艺，淬火完成后无损检测过程显示出很明显的磁痕，该位置也是淬火硬化的区域，可以判断感应淬火过程是否产生了裂纹。

感应热处理大多是表面热处理而非整体热处理，加热区域基本限于工件表面。高频感应淬火硬化层深一般小于2mm，中频感

应淬火硬化层一般为3~6mm，工件心部基本不受到影响，因此

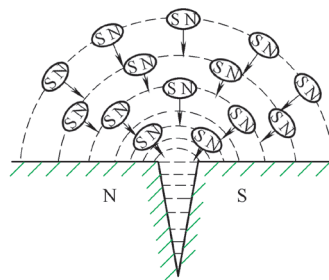


图 2



图 3

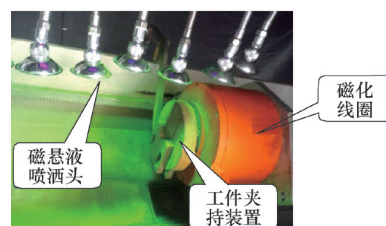


图 4

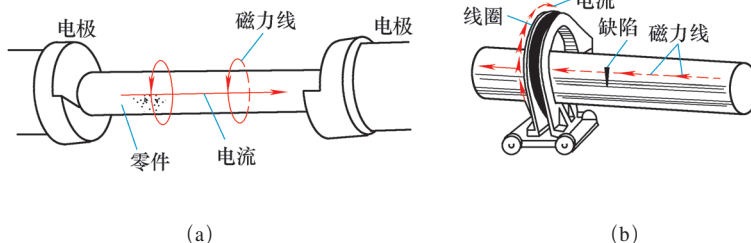
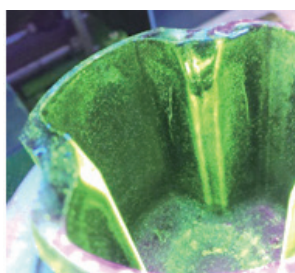
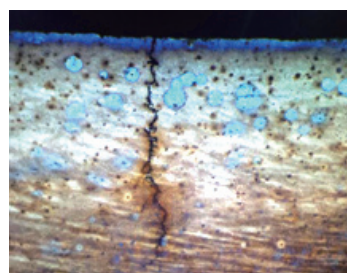


图 5



(a) 磁粉检测发现的裂纹



(b) 将磁痕显示位置切开金相显微镜观察的裂纹

图 6



■ 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 $\text{kW}/\text{cm}^2$ ），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  $\gamma$ ——密度；  
 $c$ ——热容量；  
 $\Delta T$ —— $T - T_0$ ；  
 $\tau$ ——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：

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

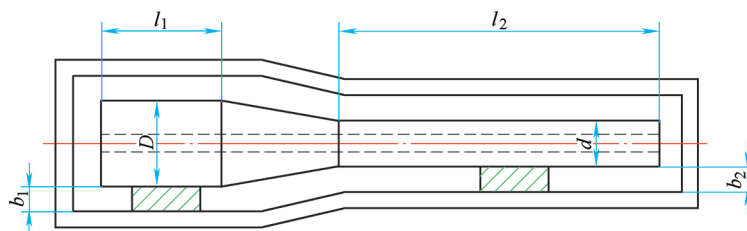


图1 异径工件的横向磁场感应加热

缺陷基本只限于表层和次表层，磁粉检测方法特别适用用来检测这种缺陷。

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