

## 锻钢件磁粉检验方法

### 1 范围

本标准规定了锻钢件的磁粉检验方法和磁痕缺陷的评定。  
本标准适用于检测锻钢件表面或近表面的裂纹及其他缺陷。

### 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 9445—88 无损检测人员技术资格鉴定通则

GB/T 12604.5—90 无损检测术语 磁粉检测

### 3 定义

根据 GB/T 12604.5 采用下列定义:

#### 3.1 磁痕

缺陷或其他因素引起的漏磁而形成磁粉的积聚。

#### 3.2 磁粉检验方法

利用漏磁和合适的检验介质发现试件表面和近表面的不连续性的无损检测方法。

#### 3.3 非相关指示

不是由于不连续性引起的指示。

#### 3.4 线状磁痕

长度不小于三倍宽度而且不小于 1.6mm 的磁痕。

注:此定义译自 ASTM A275/A275M—90 中的 3.1.2。

### 4 应用依据

4.1 供需双方按合同或技术条件要求应作磁粉检验的锻件就下列各项达成协议:

a) 锻件上需要磁粉检验的部位; b) 认为是缺陷所显示的磁痕的类型、大小、数量、部位及方向; c) 电流类型、磁粉施加方法、退磁要求及磁场强度等。

4.2 验收标准。

### 5 检验人员要求

5.1 锻钢件磁粉检验人员应按 GB 9445 规定取得技术资格证书。

5.2 锻钢件磁粉检验人员应具有锻钢材料、锻钢工艺、锻钢缺陷等基础知识。

5.3 检验人员应能正确理解和使用本标准。

### 6 实施检验的时期

锻件的验收检验应在锻件表面精加工和最终热处理状态下进行,也可在精加工至 0.8mm 余量范围内的

状态下进行。

## 7 磁化装置

7.1 可以采用交流、半波或全波整流或直流电源。如果要让电流通过锻件,则设备中应有接触面和夹紧力都足够大的紧固装置,以便使所要求的电流通过而又不烧坏所检验的锻件。

7.2 如果能够证明采用手提式电磁轭(交流或直流)探测裂纹类缺陷的灵敏度至少相当于采用直接通电磁化法的灵敏度,则可以把电磁轭作为磁化设备。

## 8 磁粉

8.1 检验介质应是细小分散的铁磁性粉末,它可以悬浮在合适的液体介质中使用,也可以在干粉的状态下使用。

8.2 磁粉的大小和形状,以及磁粉的磁性能,这些(不论是单项的还是综合的)都是重要的参数(见第 11 章)。

## 9 受检表面的制备

9.1 磁粉检验的灵敏度同受检锻件表面状态有很大关系,在用喷丸或其他方法清理过的锻件表面上,缺陷可以很好地显示出来。在有少量热处理氧化皮而又未作任何专门表面处理的锻件表面上,缺陷也能显示,但是疏松的氧化皮必须去掉。为了能探测出细小的缺陷,受检表面的表面粗糙度( $R_a$ )一般不得大于  $6.3\mu\text{m}$ 。

9.2 受检锻件表面上不得有油、脂或其他可能粘附磁粉的物质。

9.3 粗糙的受检表面会妨碍磁粉流动,有时会造成伪指示。粗糙的表面应打磨。如果不允许打磨,可以在表面粗糙处覆盖一纸带(见 13.2)以解决磁粉流动问题。

## 10 磁化方法

10.1 可以在工件上直接通以电流,使锻件磁化;也可以用中心导体或线圈在工件上产生感应磁场,使锻件磁化。探测表面缺陷,可以用交流电作磁化电源,也可以用直流电作磁化电源。在周向磁化中,由于交流电的“集肤效应”会降低探测缺陷的最大深度,所以在主要是探测表层以下的缺陷时应采用直流电。

### 10.1.1 连续法

在磁化电流不中断、外加磁场起作用的同时,在受检锻件的表面施加磁粉进行检查。电源产生脉冲时间不超过  $1\text{s}$  的高电流强度的脉冲电流,在  $1\text{s}$  内至少应有三个电流脉冲,或者说,在设备提供连续电流的情况下,最短的通电持续时间应为  $0.2\sim 0.5\text{s}$ 。

### 10.1.2 冲击法

本方法仅限于采用直流电磁化。先施以较高的磁化力,然后把磁化力降至较低值,并在保持这一较低的磁化力值的条件下施加磁粉。

### 10.1.3 剩磁法

在切断磁化电流、移去外加磁场后施加磁粉,利用工件上的剩磁进行检查。这种方法有效性取决于磁化强度及锻件的剩磁性。这种方法一般不用来检验锻件,如果要用,必须取得需方同意。

10.2 对每个检验部位,至少应分别检验两次。第二次检验的磁化方向,应同第一次检验的大致垂直。第二次检验可以采用不同的磁化方法。

10.3 磁化可以按方向分为纵向磁化和周向磁化两类。

### 10.3.1 纵向磁化

经纵向磁化的锻件,磁力线一般平行于锻件轴线。具有确定的磁极,很容易用罗盘或磁强计测出。纵向

磁化通常是将锻件放在螺线管内实现的,螺线管用电缆线缠绕而成(图 1)。在满足 7.2 要求的情况下,也可以用专用磁轭作纵向磁化设备(图 2)。

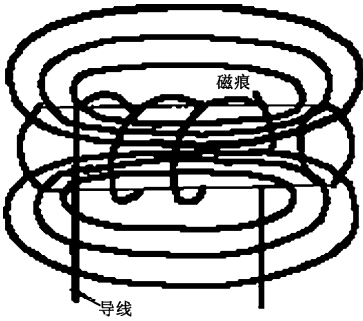


图 1 纵向磁化

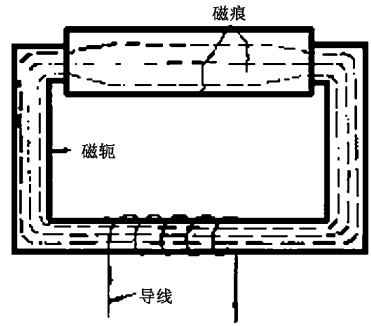


图 2 纵向磁化(使用磁轭)

### 10.3.2 周向磁化

使电流直接通过锻件(图 3),或者通过导体来产生感应磁场(图 4),或者使导线穿过锻件孔洞来产生感应磁场(图 5),都可以实现周向磁化。用触头使电流通过锻件的局部区域,可获得局部周向磁化(图 6)。

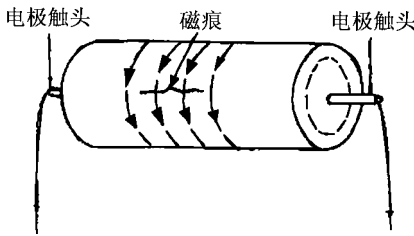


图 3 周向磁化  
(电流直接通过锻件)

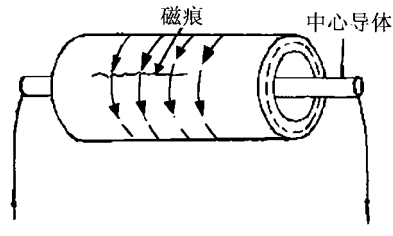


图 4 周向磁化  
(电流通过中心导体)

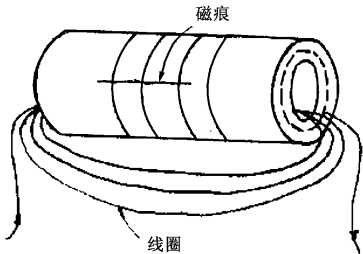


图 5 周向磁化(电流通过穿过锻件孔洞的导体)

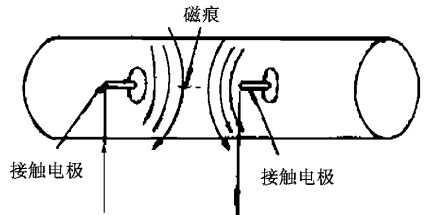


图 6 局部周向磁化(使用“触头”式电极)

10.4 如果磁场几乎完全驻留在工件内,可能看不到磁化状态的外部表现。在垂直于磁场的方向,磁痕最明显。

### 10.5 磁场强度

采用的最小磁场强度,应能显示有争议的缺陷磁痕并对它们加以区分。最大的磁场强度,应恰好低于磁粉在工件表面开始产生过度吸附这一临界点。

#### 10.5.1 线圈磁化

当采用线圈磁化时,磁场强度同电流(如果使用线圈或螺线管,则同安匝数)成正比,而同受检截面的厚度成反比。

### 10.5.1.1 纵向磁化

对于缠绕线圈(图 1),应采用直流电流或整流电流,线圈各匝应紧靠在一起。磁场强度随着离开线圈的距离增大而降低,因而长的锻件应分段磁化。如果被检部位超出线圈任一侧 150 mm 以上,就必须采用磁场指示器来验证是否有足够磁场强度(见 10.5.6)。

10.5.1.1.1 小工件的磁化电流应当用下式求得:

$$I \cdot N = \frac{35000}{(L/D) + 2} \text{ (安匝)}$$

式中:  $I$  线圈电流, A;

$N$ ——线圈或电缆圈的匝数, 匝;

$L$ ——工件长度, mm;

$D$ ——工件直径, mm。

上式适用于  $L/D \geq 4$  的锻件。对于  $L/D < 4$  的锻件,应当采用磁场指示器来校验是否有足够的磁场强度(见 10.5.6)。图 7 所示的曲线可以用来确定的同每一个  $L/D$  相对应的安匝数。

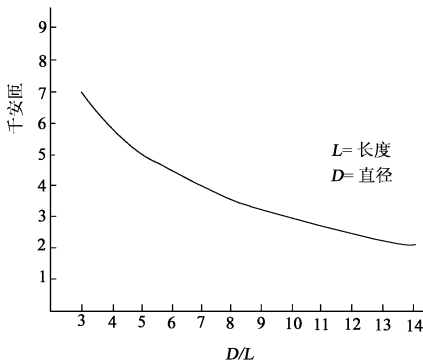


图 7 纵向磁化时所用磁化电流的安匝数随  $L/D$  而变化的曲线

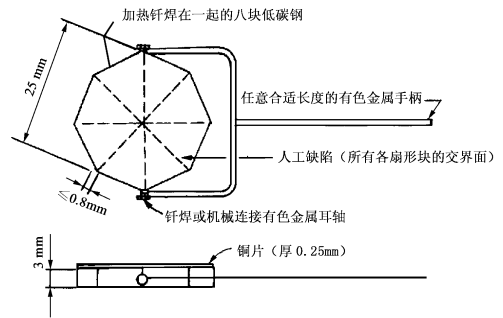


图 8 磁粉磁场指示器

10.5.1.1.2 对于大锻件,磁化电流应当在 1200~4500 安匝范围内。应当采用磁场指示器来校验被检区域是否有足够的磁场强度(见 10.5.6)。

### 10.5.1.2 周向磁化

对于采用穿过工件的线圈进行周向磁化(图 5),所用电流应是 10.5.2 给定的安培数除以线圈匝数所得商。

### 10.5.2 直接磁化

如果电流直接通过受检锻件进行磁化,则每毫米直径(或同电流相垂直的横截面的最大宽度)所使用的交流和直流或整流电流强度值  $I$  建议如下:

工件直径 $D$ (mm)	交流电流值 $I$ (A)	直流或整流电流值 $I$ (A)
$\leq 125$	12.5~17.5	25~35
$> 125 \sim 250$	7.5~12.5	15~25
$> 250$	2~7.5	4~15

对于空心工件,如果导线是直接夹紧在工件壁上,则所用电流强度值应按工件壁厚计算。如果直径大于

250mm 的工件,其所需的电流达不到,则采用磁场指示器测定适合的磁场强度实际值。在上述各种情况下,都可以使用磁场指示器来确定磁化力是否合适(见 10.5.6)。

### 10.5.3 触头磁化

用触头产生局部周向磁化时,磁场强度同所采用的电流强度成正比,但也随着两触头的间距和被检截面的厚度的不同而变化。

10.5.3.1 材料厚度不到 20mm 时,每 25mm 触头间距应采用 75~100A 的磁化力。材料厚度等于或大于 20mm 时,每 25mm 的间距应采用 100~125A 的磁化力。

10.5.3.2 触头间距应不超过 200mm。触头间距一般不得小于 75mm,以免触头周围出现磁粉堆积。要注意防止被检表面出现局部过热或烧伤。当断路(接触不良)磁化电压超过 25V 时,推荐使用钢触点触头、铝触点触头或铜刷型触头而不要用整体铜触点触头,以免铜渗入工件表面。可以成对地使用永久磁铁吸盘,也可以把它同触头一起使用。磁铁不得用于电流超过 1500A 的情况,因为这会产生磁化损失。

10.5.3.3 可以采用安置在触头手柄中的遥控开关。此开关应在电极触头定位妥当后才许开启通电。取下电极时,要先关闭此开关,以免产生电弧。

### 10.5.3.4 检验覆盖区

检验时应当有足够的重叠,以保证在规定的灵敏度下检验表面有 100% 的覆盖率。

### 10.5.3.5 磁化方向

每个检验区域至少要检验两次,触头放置应使得后一次检验时的磁力线大体上垂直于前一次检验时的磁力线。

10.5.4 对于轴类锻件内孔内通电的周向磁化(图 4),应采用每 25mm 孔径 100~125A 的电流(4~5A/mm)。

10.5.5 应使用电流表之类的合适的度量工具,对规定的或双方商定的电流进行测定。

10.5.6 必要时应使用磁场指示器(图 8)来确定磁场是否合适。所用的磁化电流,应能在指示器上产生清晰的图像。

10.5.6.1 使用磁场指示器时,先把指示器放在待检锻件上,然后施加所需要的电流和磁粉。当磁粉产生出可辨认的图像(通常为“+”字线)时,即表明待检锻件内已产生足够的磁场强度。

### 10.5.7 轭铁磁化

用电磁轭来磁化局部区域时,在两极之间形成纵向磁场。

#### 10.5.7.1 设备

磁轭可以是固定式的或铰接式的。

#### 10.5.7.2 磁轭检定

交流电磁轭,当两极间距为 75~150mm 时,至少应有 45N 的提升力。直流电磁轭,当两极间距为 75~150mm 时,至少应有 180N 的提升力。

#### 10.5.7.3 磁化方向

每个检验区域至少要检验两次,前后两次检验时的磁力线应大体上相互垂直。

10.5.7.4 磁极间距应限定在 50~200mm 的范围内。

#### 10.5.7.5 检验区域

检验区域限定在两磁极连线两侧最大等于 1/4 磁极间距的范围内。磁极间距每次应有 25mm 以上的重叠。

## 11 磁粉的应用

当锻件得到适当磁化时,可以采用下述方法之一施加磁粉。

## 11.1 干法

11.1.1 用干粉法时,可以使用手动筛、机械筛、喷粉器或机械喷粉器等施加磁粉。筛子只能用于朝上平放的或近似平放的表面,喷粉器可用于立面和朝下的表面。磁粉应均匀地施加到锻件表面上。干粉的颜色应有适当的对比度。磁粉施加不宜过多,因为它会遮盖磁痕。

11.1.2 在吹去多余的磁粉时,应细心操作,不要破坏磁痕。

## 11.2 湿法

### 11.2.1 油剂

推荐采用具有高闪点低粘度轻质精制煤油作为磁悬液的载液。

一般应使用磁粉体积占1%~2%的磁悬液。油磁悬液被喷洒在被检表面上,应选用使其具有适当的对比度的磁粉颜色。

### 11.2.2 水剂

将磁粉悬浮在清水或加有适当润湿剂的清水中,配成磁悬液。磁悬液的磁粉体积一般应占2%~2.5%。

## 11.3 荧光法

11.3.1 荧光磁粉检验是湿法的改进。所用的磁悬液同湿法用的相类似,但磁粉颗粒外面有一层荧光物质,这种物质在黑光或紫外线光激发下能发出荧光。

11.3.2 磁悬液的调制方法和湿法的相同。荧光磁粉在磁悬液中的体积应占0.1%~0.7%。

11.3.3 载液不得具有荧光性。

11.3.4 如果采用荧光磁粉,检验应当在暗处用"黑光灯"进行,而且工作时至少应有970 lx的光照度。"黑光灯"应辐射出波长为33~39 $\mu\text{m}$ 的紫外线,使受照射的磁粉发出明亮的荧光。灯管在检验前至少预热5min。

## 12 退磁

12.1 如有规定,锻件在检查后应充分退磁,退磁后的残余磁场强度不大于240A/m。

12.2 当采用直流电时,通常是反复改变电流方向并逐步降低磁化电流强度的方法来达到退磁的目的。退磁时采用的起始磁场强度,应等于或大于原有的磁化力。当电流降低到零时,工件实际上已经退磁。大型锻件推荐采用直流电退磁。

12.3 当采用交流电时,只需要以小的递减断续地降低磁化电流,或者连续降低磁化电流到某个很低的数值,即可退磁。

12.4 如果工件在使用或机加工前要作奥氏体化处理,这样的工件就不需要退磁。

## 13 缺陷记录

13.1 用示意图标出所有磁痕的尺寸、数量及所在位置。

### 13.2 磁痕的永久性记录

13.2.1 小心地将透明玻璃胶纸带覆盖在磁痕表面,让磁粉痕迹粘上后,将纸带揭下,贴在白纸或卡片上,用照相或其他办法复制。

13.2.2 如需复制更精确的缺陷磁痕,可采用下述方法:

当用常规方法检验发现有磁痕后,将集聚的磁粉清除掉,用一张表面光洁、背面涂有树脂粘合胶的白纸带覆盖在显示过磁痕的部位。再次通电并施加磁粉,这时,磁粉会在纸面上显示出缺陷痕迹。在继续通电的情况下,往纸带表面喷涂一层丙烯酸漆。然后断开电流,揭下纸带,就可以得到一个磁痕在正面的精确复制品。

## 14 磁痕的辨认和评定

下述各条不得作为锻件验收标准,但有助于对得到的磁痕进行辨认和评定。

14.1 在解释某个磁痕的形成原因时,必须考虑下列因素:

a) 磁痕的外观; b) 磁痕的方向和形状; c) 制造锻件的材料的种类; d) 锻件的生产过程、加工类型和热处理等; e) 从以往生产同类锻件进行诸如解剖、腐蚀、破断、切削、磨削等破坏性试验取得的经验。

14.2 磁痕可以分成三大类:

14.2.1 表面缺陷的磁痕

这类磁痕轮廓清晰而且磁粉紧密集聚、附着良好。各种表面缺陷可以从下述特征进行辨认:

a) 分层,其磁痕粗浓而且平行于表面; b) 重皮和折叠,其磁痕可能不很浓,而且不直,是沿着金属流线分布的; c) 白点,可能出现在已经机加工的部位,其磁痕不规则而且分散; d) 热处理裂纹,其磁痕粗浓,常常出现在拐角、沟槽和截面变化的部位; e) 收缩裂纹,其磁痕非常粗浓而且清晰,一般是连续的而且有几个分枝,出现在截面变化的部位; f) 磨削裂纹,其磁痕往往成群出现,而且同磨削方向相垂直; g) 腐蚀或电镀裂纹,其磁痕粗浓而且同残余应力方向相垂直。

14.2.2 表皮下缺陷的磁痕

这类磁痕比较宽,轮廓模糊不清,磁粉附着不良。各种表皮下缺陷一般具有下列特征:

a) 线状非金属夹杂物,其磁痕类似表面皱纹,往往比较粗浓,但通常是间断的或者比较短的,成群出现,沿着金属流线分布,而且只当缺陷位于表面附近时才出现; b) 大的非金属夹杂物,其磁痕可以在锻件的任何部位出现,从清晰到分散分布; c) 焊道下裂纹,其磁痕宽而分散; d) 锻造裂纹,其磁痕分散而且不规则。

14.2.3 非相关指示或伪指示

这类指示常混淆不清,但一般可按下述进行辨认:

a) 磁写指示,其指示模糊不清,而且能随退磁而破坏,是磁化时同别的钢件和磁性体接触引起的;  
b) 截面变化指示,其指示宽而模糊,是由于磁场强度在齿轮齿部、零件圆角过渡或倒角处、键槽等部位增大引起的;  
c) 焊缝边缘指示,其指示磁粉附着不良,是由于扩散导致磁性改变而引起的;  
d) 流线指示,其磁痕呈大片分布而且相互平行,易于在磁化电流过大时出现。

14.3 所有有疑义的指示,直到通过表面修整可以消除或者用相同的或其他非破坏性试验手段复查证实是非相关指示时,才可以当作非相关指示。

## 15 检验报告

探伤报告应包括以下内容:

- 锻件名称、生产编号、材质、尺寸简图;
- 委托检验的日期、单位、编号;
- 检验标准、条件、部位;
- 检验结果、结论;
- 检验日期、检验员和审核员签名及资格证号。