

磁粉检验

1 范围

本标准规定了航空制件湿法磁粉检验的一般技术和要求,系指导性技术文件,也是制订具体磁粉检验工艺的依据。

本标准适用于铁磁性材料航空制件(包括原材料、毛坯、半成品、零件、返修件和大修检查件等)表面和近表面缺陷的磁粉检验。磁粉检验可发现的主要缺陷有:各种裂纹、夹杂(含发纹)、夹渣、折叠、白点、分层、气孔、未焊透、疏松、冷隔等。

本标准不适用于最大相对磁导率 μ_{max} 低于 40 的材料。

2 引用标准

下列标准包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。在标准出版时,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 261—83	石油产品闪点测定法(闭口杯法)
GB 265—88	石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法
GB 3555—83	石油产品赛波特颜色测定法(赛波特比色计法)
GB 3721—83	磁粉探伤机
GB/T 12604.5—90	无损检测术语磁粉检测
GJB 2029—94	磁粉检验显示图谱
BB 5357—1997	航空无损检验人员的资格鉴定与认证
HB 5370—87	磁粉探伤—橡胶铸型法
JB/T 6063—92	磁粉探伤用磁粉技术条件
JB/T 6065—92	磁粉探伤用标准试片
JB/T 6066—92	磁粉探伤用标准试块

3 术语

3.1 高磁导率材料 high permeability material

最大相对磁导率 μ_{m} 值大于或等于 200 的铁磁性材料。

3.2 较低磁导率材料 low permeability material

最大相对磁导率 μ_{m} 值小于 200 的铁磁性材料。

3.3 不连续性 discontinuity

制件正常组织结构或外形的任何间断,这种间断可能会、也可能不会影响制件的可用性。

3.4 缺陷 defect

尺寸、取向、位置或性质对制件的有效使用会造成损害、或不满足规定验收要求的不连续性。

本标准所使用的其它术语及定义见 GB/T 12604.5 的规定。

4 磁粉检验原理

铁磁性材料制件被磁化后,由于有不连续性的存在而导致磁力线的局部畸变,当不连续性位于制件的表面或近表面时,其磁力线局部畸变会造成部分磁力线泄漏出制件表面而形成漏磁场。漏磁场吸聚施加在制件表面的磁粉,形成在合适光照下目视可见的磁痕,显示出不连续性的位置、形状、和大小。磁粉检验原理见图 1 所示。

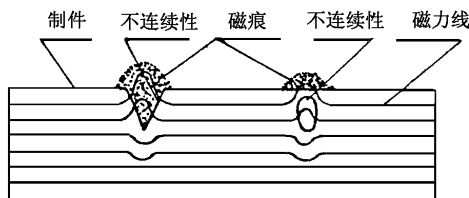


图 1 磁粉检验原理图

5 一般要求

5.1 环境条件

5.1.1 磁粉检验间应为单独的有顶棚的房间。其面积一般应不小于 30m^2 。地面宜为水磨石。墙壁应平整并刷 1.5m 高油漆。房间内应有良好通风,室内温度应不低于 15°C 。

5.1.2 采用非荧光磁粉检验时,检验地点应有充足的白光照明度;采用荧光磁粉检验时,要有合适的暗室或暗区,暗室或暗区的环境白光照明度应不大于 $20\text{l}x$ 。

5.2 检验设备及辅助设备

5.2.1 磁粉检验设备有固定式、移动式、便携式几种类型。设备所提供的电流强度和安匝数应适合于受检制件磁化和退磁的要求,接触夹头宜采用铜编织衬垫并给制件提供足够的夹持力,固定式设备应配备有良好搅拌装置的磁悬液槽,使用浇注法应有可调节压力的喷嘴和软管。

5.2.2 采用剩磁法时,交流探伤机应配备断电相位控制器。

5.2.3 探伤机上应具有高低档双量程指针式电流表或数字表,小型的磁化设备,也可以使用一个低量程电流表。

5.2.4 为了检查大型和重型制件,宜安装吊车。

5.2.5 退磁设备应能对全部受检制件进行良好的退磁。在任何情况下退磁线圈中心磁场强度不应低于制件磁化时的磁场强度。

5.2.6 探伤机上最好采用日光灯照明,在受检制件表面白光照明度至少应达到 $1000\text{l}x$ 。用白光照明计测量白光照明度,每周一次。

5.2.7 采用荧光磁粉探伤时,应有能产生波长在 $320\sim 400\text{nm}$ 范围内,中心波长为 365nm 的紫外线灯。在距紫外线灯滤光板表面 380mm 处,紫外线辐射照度应不低于 $1000\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 。紫外线灯电源线路电压波动超过 $\pm 10\%$ 时,应装稳压电源,采用紫外线辐照计测量紫外辐照度,每周至少一次。

5.2.8 直流或整流电磁化设备用定时装置控制制件磁化的通电时间,通电的持续时间为 $0.5\sim 1\text{s}$,间隔时间不应超过 5s 。

5.2.9 磁粉检验设备的其它要求应符合 GB 3721 的规定。

5.2.10 为了防止通电法磁化形状复杂制件时因电流分布不均而烧伤制件,或因其它需要,应根据实际情况设计、加工和使用探伤用夹具。

5.2.11 应备有以下辅助设备:

- (1)毫特斯拉计 采用 CT-5 型或其它类似的毫特斯拉计测定磁粉检验时所施加的磁场强度及磁化方向。毫特斯拉计每年试验一次。
- (2)袖珍式磁强计 可采用 X CJ 型或其它类似的袖珍式磁强计快速测定制件退磁后剩磁的大小。袖珍式磁强计每年校验一次。
- (3)弱磁场测量仪 采用弱磁场测量仪测定制件退磁后的极弱剩磁值。弱磁场测量仪每年校验一次。
- (4)白光照度计 可采用 ST-85 型或其它类似的照度计测量检验制件区域的白光照度。白光照度计每年校验一次。
- (5)紫外辐射 可采用 UV-A 型或其它类似的紫外辐照计测量紫外线发射装置的紫外辐射能量。紫外辐照计每年校验一次。
- (6)标准试片 采用各种型号的标准试片估计受检制件磁化时的表面磁场强度大小和方向。标准试片应符合 JB/T 6065 的规定。
- (7)标准试块 采用交、直流环形标准试块校验磁粉检验系统的灵敏度。标准试块应符合 JB/T 66 的规定。标准试块在购买时检定。
- (8)沉淀试管 采用 100ml 梨形玻璃试管测定磁悬液浓度,以及检查磁悬液是否受污染等。试管的刻度要准确清晰,最小刻度为 0.05ml。
- (9)工业内窥镜 检验制件各种内壁表面缺陷时用来观察、测量磁痕等。
- (10)标准筛 测定磁粉粒度时用。
- (11)放大镜 观察和解释磁痕时采用 2 至 10 倍放大镜或体视显微镜。
所采用的探伤器材见附录 E(提示的附录)。

5.3 材料

5.3.1 磁粉

5.3.1.1 磁粉分为荧光磁粉和非荧光磁粉。荧光磁粉在紫外光照射下,一般发黄绿色荧光。非荧光磁粉常用黑色 Fe_3O_4 和红褐色 $\gamma\text{-e}_2\text{O}_3$ 磁粉。磁粉应具有高磁导率和低矫顽力、合适的粒度分布及与被检制件表面颜色有较高的对比度。磁粉的性能应符合 JB/T 6063 的规定。

5.3.1.2 购买磁粉时,应对其性能进行检定,合格者方能入库使用。

5.3.1.3 库存磁粉应放在密闭容器内保存。如果受潮,应在 $80\sim 95^\circ\text{C}$ 温度下烘干。

5.3.2 载液

5.3.2.1 磁粉检验用载液分为油基载液、水载液和乙醇载液。

5.3.2.2 油基载液 磁粉检验用油基载液应满足下列技术要求:

- a. 闪点 按 GB261 测定时应不低于 94°C 。
- b. 粘度 按 GB265 测定,在 38°C 时应不大于 $3.0\text{mm}^2/\text{s}$,在使用温度下应不大于 $5.0\text{mm}^2/\text{s}$ 。
- c. 荧光 按 GB3555 测定,不应超过 0.1mol/L 硫酸中含 0.2ppm (质量) 二水硫酸奎宁溶液所发出的荧光。
- d. 气味 不应有令人讨厌或不愉快的气味。
- e. 毒性 无毒性,应有毒性检验证明。

5.3.2.3 水载液 采用水作载液时,应在水中加润湿剂、防锈剂,必要时可加入消泡剂,保证具有良好的润湿性和防锈性能。

5.3.2.4 乙醇载液 乙醇载液应按 HB 5370 的要求使用。

5.3.3 磁悬液

5.3.3.1 磁悬液浓度应符合表1规定。磁悬液浓度值应以浓度测定值为准,配制浓度值仅供参考。

5.3.3.2 水磁悬液配方举例见附录D(提示的附录)。

表1 磁悬液浓度

磁粉类型	配制浓度, g/L	浓度测定值(固体含量, ml/100ml)
非荧光磁粉	10~25	1.0~2.5
荧光磁粉	0.5~2.0	0.1~0.4

5.4 检验人员

磁粉检验工作应由专业人员完成。所有从事磁粉检验的人员均应按 HB 5357 进行技术培训和资格鉴定。

5.5 工序安排

5.5.1 磁粉检验一般安排在锻造、铸造、热处理、冷变形、焊接、机加工、磨削、矫正、加载试验等可能产生表面和近表面缺陷的工序之后进行。

5.5.2 喷丸强化将使缺陷难于查出,应在喷丸前进行磁粉检验。

5.5.3 凡覆盖有机涂层的制件,应在涂覆之前进行磁粉检验。

5.5.4 磁粉检验一般应在发蓝、磷化之前进行。特殊情况下,也可在发蓝、磷化之后进行。

5.5.5 磁粉检验可以在电镀工序之后进行。对于镀铬、镀镍层厚度大于 $50\mu\text{m}$ 的超高强度钢(拉伸强度极限等于或超过 1240MPa)制件,在电镀前后均应进行磁粉检验。

5.6 磁化电流

5.6.1 用于磁粉探伤的磁化电流有交流电、脉动电流(本标准系指单相半波、单相全波、三相半波)、三相全波整流电和直流电。

5.6.2 本标准中要求的磁化电流值为电流峰值。峰值、有效值和平均值的换算关系见附录A(标准的附录)。

5.7 文件与资料

5.7.1 磁粉检验工艺图表

5.7.1.1 受检制件应按磁粉检验工艺图表进行检验。

5.7.1.2 工艺图表应根据检验目录、质量验收标准及本标准的要求编制,一般包括以下内容:

a. 制件名称、图号、工序号、材料牌号及热处理状态;b. 检验方法(剩磁法或连续法);c. 磁化方法(应附草图);d. 磁化电流类型和电流数值、安匝数(或磁场强度);e. 检验设备;f. 检验用材料(磁粉类型、载液种类等);g. 验收标准;h. 退磁要求;i. 磁痕记录及验收标志的方法;j. 工艺图表编号及编写日期;k. 其它事项。

5.7.1.3 工艺图表应经磁粉检验Ⅲ级人员或主管工程师审校,经有关部门批准后生效。

5.7.1.4 工艺图表的更改应按工厂有关规定办理更改手续。

5.7.2 检验和检验记录

5.7.2.1 检验记录应能准确反映检验过程,符合检验工艺说明书(包括图表)的要求,并具有可追溯性。其内容应包括:检验日期、制件名称、图号、工序号、编号或炉批号(批次号)、送检数量、合格数量、不合格数量、缺陷特征和检验者等。

5.7.2.2 本标准附录B(标准的附录)所要求的设备、仪表及材料校验均要作好原始记录。记录内容应包括:校验项目、校验结果、校验日期、有效日期(下次校验日期)、校验者等。

5.7.2.3 检验和校验记录应装订编号保存备查。保存期限按有关规定执行。

5.8 质量控制

5.8.1 受检件都应编制检验工艺图表。

5.8.2 设备和仪表应有校验合格证,合格证应注明校验日期、有效期和检查者。不合格者应标上停用或待修等标记。磁粉检验现场不允许使用未经检验合格或超过检定有效期的设备和仪表。

5.8.3 精密、关键和贵重的设备和仪表,应建立履历本。

5.8.4 检验设备的性能校验

5.8.4.1 电流载荷试验 每月一次。

试验方法:将一根长 500mm,直径 25mm 的铜棒或铝棒夹紧在两接触板之间。然后,把探伤机的磁化回路调节到设备的(或经常使用的)最大和最小电流值。接通电源时,电流表的指示应为所要求的电流值。探伤机上应挂标签标明设备的(或经常使用的)最大电流和最小电流值。

5.8.4.2 设备内部短路检验 每月一次。

检查方法:将磁化电流调节到设备的(或经常使用的)最大电流,当设备的两接触板之间不夹持任何导体时,通电后电流表的指针应无指示。

5.8.4.3 直流磁粉探伤机定时装置的试验 应调整在 0.5~1s 之间,每六个月试验一次。

5.8.4.4 电流表、电流表一互感器(电流表一分流器)的组合校验 每 6 个月一次。

5.8.4.5 快速断电试验 每 6 个月一次。对有快速断电装置的直流磁粉探伤设备,可采用合适的示波器或采用由设备生产厂家规定的方法试验。

5.8.5 磁悬液浓度的测定 配制或调整补充磁悬液之后以及每班开始工作之前,均要测定其浓度,若不符合表 1 的规定值,要重新调整。

浓度测定方法:将磁悬液搅拌均匀,取 100ml 注入沉淀试管中,将试管中磁悬液试样进行退磁(新配磁悬液除外)。然后,把磁悬液试管竖直静置至少 30min,使磁粉沉淀到管底。从试管刻度上读出磁粉沉淀量(毫升数)。

5.8.6 磁悬液污染检查 每周应检查一次磁悬液是否混浊、变色或有其它杂质。检查方法如下:

- a. 充分搅拌磁悬液;
- b. 在沉淀试管中注入 100ml 磁悬液;
- c. 将磁悬液试样退磁并竖直静置 30min;
- d. 用紫外光检查沉淀物之上的液体,该液体不应发荧光(非荧光磁粉不作此项检查);
- e. 检查沉淀物,若能看出沉淀物有两个明显的分层,则读测每分层的量,上层量(污染物)不得超过下层量(磁粉)的 50%,否则,要进行更换。

5.8.7 水磁悬液要用“水断法”检查其润湿性。方法是水磁悬液施加在制件表面,停止浇注后,如果制件表面的磁悬液薄膜是连续的,说明润湿性能良好;如果制件表面的磁悬液薄膜断开,说明润湿性能不良,应添加润湿剂,使之达到完全润湿。

5.8.8 水磁悬液的 pH 值应控制在 6.0~10.0 范围内。

5.8.9 磁粉检验系统灵敏度校验应在初次使用检验设备及此后每班开始工作前进行。

5.8.9.1 交流电流和脉动电流探伤机系统灵敏度用 E 形标准试块进行校验,试验方法按 JB/T 6066 规定,通以 1000A(峰值)的电流进行周向磁化,用湿连续法检查,交流探伤机应能清晰地显示出试块一个人工孔,脉动电流探伤机应能清晰地显示出试块三个人工孔,否则说明磁悬液不合格、或设备处于不正常状态、或检验人员操作不当。

注:经工厂主管部门批准,也可采用带自然缺陷样件和其它相应的试片、试块、试件对交流(或脉动电流)探伤机系统灵敏度进行校验。但该样件自然缺陷被检测出的难易程度应与 E 形试块一个(或三个)人工孔被检测出来的难易程度相当。

5.8.9.2 直流或三相全波整流探伤机系统灵敏度用 B 形标准试块进行校验,试验方法按 JB/T 6066 的规定,将直流试块穿在直径 30mm 的铜棒上进行周向磁化,用湿连续法检验时,在试块外环面上要求看见的孔的最少数量如表 2 所示。

表 2 B 形标准试块磁痕显示

方法	电流, A	所显示出孔的最少数量
非荧光湿法	1400	3
	2500	5
和荧光湿法	3400	6

5.8.10 检验过程中发现失控影响探伤质量时,探伤人员应及时报告本专业 III 级人员或主管工程师,由 III 级人员或主管工程师分析失控原因,制定纠正措施,凡在失控过程中检验过的制件均应重新检验,以保证该过程中接收的产品符合要求。

5.9 安全防护

5.9.1 使用通电法和触头法磁化时,电接触要良好,电接触部位不应有锈蚀和氧化皮,防止产生电弧伤人。

5.9.2 使用紫外灯时,人眼应避免直接注视紫外源。应检查滤光板,不允许有任何裂纹。

5.9.3 使用水磁悬液时,设备接地应良好。

5.9.4 由于磁粉检验人员经常接触紫外光、化学试剂、石油溶剂和强磁场等,所以应享受国家规定的保健待遇,并应定期检查身体。

5.9.5 检验人员连续工作时,工间应适当休息,避免眼睛疲劳。当需要矫正视力才能满足要求时,应配备适用眼镜。使用荧光磁粉检验时,检验人员不准戴有色眼镜或装有限光或光敏镜片的眼镜,但可以配戴防护黑光的专用眼镜。

5.9.6 检验人员应着工作服、耐油绝缘性皮鞋、耐油塑胶手套、围裙和套袖进行工作。

6 详细要求

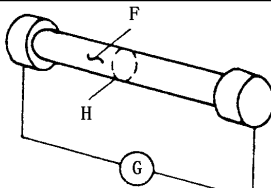
6.1 磁化方法

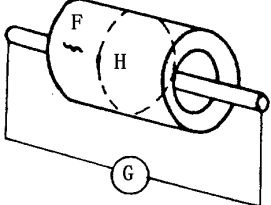
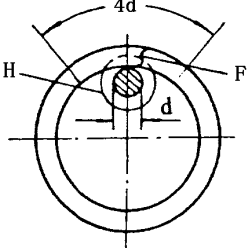
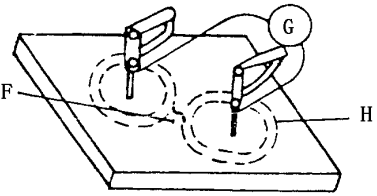
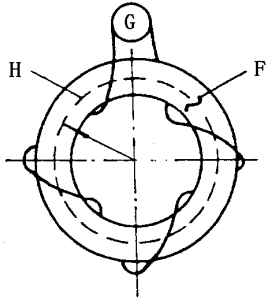
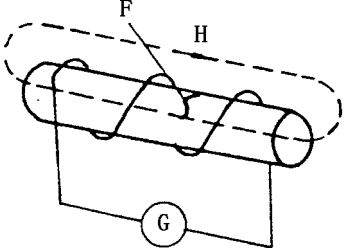
6.1.1 当缺陷方向与磁力线方向垂直时,缺陷显示最为清晰;其夹角小于 45° 时,灵敏度明显降低;方向平行,则缺陷可能显示不出来。因此,要尽可能选择有利于发现缺陷的方向磁化。对于形状复杂的制件,往往需要综合采用各种磁化方法。为了检测出制件上所有方向的缺陷,应至少对制件的同一检验部位在互相垂直的两个方向上分别实施磁化和检验。

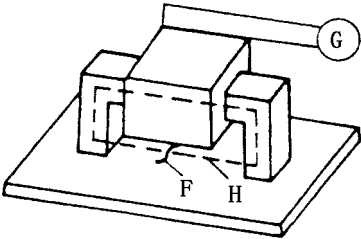
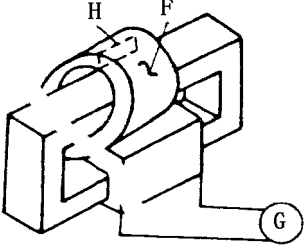
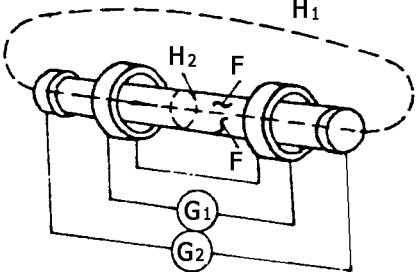
6.1.2 必要时可采用标准试片确定磁场的方向。

6.1.3 各种磁化方法见表 3。

表 3 各种磁化方法

磁化方法	特点	示意图 G——电源 H——磁场 F——不连续性
通电法	将制件夹于探伤机两夹头之间,电流从制件上通过,形成周向磁场,可发现与电流方向平行的不连续性。	

磁化方法	特点	示意图G——电源 H——磁场 F——不连续性
正中心导体法	将导体穿入空心制件的孔中,并置于孔的中心轴线上,电流从导体上通过,形成周向磁场,用于检验空心制件内、外表面与电流方向平行的不连续性及端头径向不连续性。	
偏置中心导体	将导体穿入空心制件的孔中,并偏离孔的中心轴线,电流从导体上流过,形成周向磁场。可发现空心制件的内、外表面与电流方向平行的不连续性及端头径向不连续性。	
触头法	用支杆触头接触制件表面,通电磁化,在接近两触头的部位形成周向磁场,在两触头连线的中间部位形成不规则周向磁场,可发现与两触头连线平行方向的不连续性,适用于焊缝或大型部件的局部检查。	
环形件绕电缆法	用软电缆穿绕环件,通电磁化,形成周向磁场,用于检验与电流方向平行的不连续性。	
线圈法	制件放于通电线圈中,或用软电缆绕在制件上磁化,形成纵向磁场,有利于发现与线圈轴线方向垂直的不连续性。	

磁化方法	特点	示意图G——电源 H——磁场 F——不连续性
磁轭法	将制件夹于电磁铁的两极之间磁化,或用马蹄形磁铁对制件局部磁化。可发现与两磁极连线方向垂直的不连续性。	
感应电流法	由于磁通变化,在制件上产生感应电流,适用于检查薄壁环形件、盘件、轴承、座圈等。可发现与感应电流方向平行的不连续性	
多向磁化法	制件上的磁化方向连续地变化,一次磁化可发现不同方向的不连续性	

6.2 磁化规范

6.2.1 磁场强度

6.2.1.1 磁粉检验所需施加磁场的强弱取决于检查所需灵敏度要求、制件几何因素与磁导率、缺陷类型与位置、磁化技术及磁悬液等。

6.2.1.2 确定所施加的磁场强度的方法有：

- 由本标准 6.2.2~6.2.3 给出的公式计算所需施加的磁化电流值(安匝数)；
- 用本标准 6.2.4 规定的标准试片估计法估计所施加的磁场强度的大小；
- 由毫特斯拉计测定所施加的磁场强度。

必要时,可将以上几种方法综合运用。

磁粉检验所需施加的磁场强度沿制件表面的切向分量最小值分别为 2.4kA/m(连续法)和 8kA/m(剩磁法),应确保磁化时制件受检部位的磁场强度均不小于最小值。

6.2.2 周向磁化规范

6.2.2.1 通电法周向磁化规范按表 4 进行计算,当制件当量直径变化大于 30%时应分段选用磁化规范。

6.2.2.2 中心导体法周向磁化可分为正中心导体法和偏置中心导体法两种。

表4 通电法周向磁化规范

检验方法	电流峰值大小	用途
连续法	$I=12D\sim 20D$	检验高磁导率材料制件的开口性缺陷
	$I=20D\sim 32D$	① 检验高磁导率材料制件的夹杂物等非开口性缺陷。 ② 检验较低磁导率材料(如沉淀硬化钢类)制件的开口性缺陷。
	$I=32D\sim 40D$	检验较低磁导率材料制件的夹杂物等非开口性缺陷。
剩磁法	$I=30D\sim 45D$	检验矫顽力 $H_c \geq 1\text{kA/m}$, 剩磁 $B_r \geq 0.8\text{T}$ 材料的开口性缺陷。

注: I = 电流, A; D = 制件直径, mm, 对非圆柱形制件 $D = \frac{\text{周长}}{\pi}$

a. 正中心导体法 当中心导体的轴线与制件的中心轴线近于重合时, 应采用表4给定的磁化规范;

b. 偏置中心导体法 当中心导体贴紧制件内壁时, 应采用表4给出的磁化规范, 但表4中的制件直径 D 应为中心导体直径 d 加两倍制件壁厚。沿周长的有效磁化长度是中心导体直径的4倍(见表3), 绕中心导体转动制件检测其全部周长, 每次应有大10%的有效磁化重叠区。

6.2.2.3 触头法周向磁化: 其磁场强度与所采用的磁化电流大小成正比, 并随触头间距和被检件截面厚度的改变而变化。连续法检验磁化规范按表5进行计算。一般推荐触头间距为150~200mm。触头法因为容易引起制件烧伤, 需经主管部门批准, 方能采用。

表5 触头法周向磁化规范

板厚 δ , mm	磁化电流计算公式 (I = 电流, A; L = 两触头间距, mm)
<19	$I=3.5L\sim 4.5L$
≥ 19	$I=4.0L\sim 5.0L$

6.2.2.4 环形件绕电缆法磁化时, 按表4公式计算磁化电流, 但要求用安匝数 LN 代替电流 I (N 为穿过零件空腔的软电缆匝数)。

6.2.3 纵向磁化规范

6.2.3.1 填充系数(r)计算方法: r = 线圈横截面积与制件横截面积之比。

6.2.3.2 连续法纵向磁化规范

6.2.3.2.1 低填充系数($r \geq 10$)线圈纵向磁化

a. 当制件贴紧线圈内壁放置时, 线圈安匝数为:

$$IN = \frac{45000}{L/D} \dots\dots\dots (1)$$

式中: L —— 制件长度, mm; D —— 制件直径或横截面上任意两点间的最大距离, mm。

b. 当制件置于线圈中心时, 安匝数为:

$$I/N = \frac{1690R}{(6L/D) - 5} \dots\dots\dots (2)$$

式中: R —— 线圈半径, mm;

L —— 制件长度, mm;

D ——制件直径或横截面上任意两点间的最大距离, mm。

6.2.3.2.2 高填充系数线圈($r \leq 2$)或电缆缠绕纵向磁化时,线圈安匝数为:

$$I/N = \frac{35000}{(L/D) + 2} \dots\dots\dots (3)$$

式中: L ——制件长度, mm;

D ——制件直径或横截面上任意两点间的最大距离, mm。

6.2.3.2.3 中填充系数线圈($2 \leq r < 10$)纵向磁化时,线圈安匝数为:

$$I/N = (IN)_h \frac{10-r}{8} + (IN)_l \left(\frac{r-2}{8}\right) \dots\dots\dots (4)$$

式中: $(IN)_l$ ——由公式(1)或(2)计算出的安匝数;

$(IN)_h$ ——由公式(3)计算出的安匝数。

注:①公式(1)、(2)、(3)、(4)} $L/D > 2$ 时有效。若 $L/D < 2$ 时,应在制件两端连接与被检制件材料接近的磁极块,使 $U/D > 2$;若 $L/D > 15$ 时,仍按15计算。

②若制件为空心件,则用6.2.3.2.4给出的 D_{eff} 代替公式(1)~(4)中的 D 计算。

③公式(1)、(2)、(3)、(4)中的电流 I 为放入制件后的电流值。

6.2.3.2.4 空心或圆筒形制件 L/D 值计算,此时 D 应由有效直径 D_{eff} 代替, D_{eff} 的计算如下:

$$D_{eff} = 2[(A_t - A_h)/\pi]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

式中: A_t ——制件总的横截面积, mm^2 ;

A_h ——制件空心部分横截面积, mm^2 。

对于圆筒形制件,公式(5)等同于(6)式:

$$D_{eff} = 2[(OD)^2 - (ID)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

式中: OD ——圆筒外直径, mm;

ID ——圆筒内直径, mm。

6.2.3.3 剩磁法纵向磁化规范

进行剩磁法检验时,考虑 L/D 的影响,空载线圈中心磁场强度应分别不小于表6中所列出的数值:

表6 最小磁场强度数值

L/D	磁场强度, kA/m
圆盘形制件	36
>2~5	24
>5~10	16
>10	12

6.2.3.4 线圈外离线圈每端的有效磁化长度为200mm。

磁化长制件时,长度超过有效磁化长度的制件要分段磁化,分段检查。

磁化短制件时,可将制件彼此衔接起来磁化,或在制件两端连接与被检制件材料相近的磁极块。

6.2.3.5 磁轭法磁化规范

6.2.3.5.1 采用磁轭法技术磁化制件时,可采用标准试片检查其磁场强度是否符合要求,方法同6.2.

4,也可采用毫特斯拉计测量,其正切磁场应至少为2.4kA/m。

6.2.3.5.2 磁轭(当允许使用时)应最长6个月校验一次静负荷,两极靴间距离为50~100mm的交流磁轭应有不小于45N的提升力,而两极靴间距离为50~100mm的直流磁轭应有不小于135N的提升力,两极靴间距离为100~150mm的直流磁轭应有不小于225N的提升力。

6.2.4 形状复杂的制件磁化时,制件表面的磁场强度分布很不均匀,不能够用算法求得磁化电流值,

可用毫特斯拉计测量制件磁化时的磁场强弱,也可用相应灵敏度级别标准试片估计,标准试片使用方法按 JB/T 6065 的规定。

下列制件某些部位磁场强度较低:

- a. 工字形、丁字形、凹形零件,用通电法进行周向磁化时,由于磁场的向量叠加,内角表面磁场强度较低。
- b. 齿轮通电进行周向磁化时,由于退磁场的影响,齿尖上磁场强度较低。
- c. 带肋的制件通电周向磁化时,由于肋上退磁因子大,磁场强度较低。

6.3 操作方法

6.3.1 制件检查前的准备

- 6.3.1.1 送检制件应清除油污、铁锈、毛刺、纤维、砂粒、氧化皮、金属屑及有机涂层等。
- 6.3.1.2 采用通电法磁化时,应把制件上与电极接触区域的任何不导电涂层去掉。
- 6.3.1.3 组合件凡能分解的,要分解为单个制件进行检查。
- 6.3.1.4 如果先前的操作产生的剩磁可能干扰检验,磁化前应对制件退磁。
- 6.3.1.5 对制件上的小开口和导向内腔的输油孔等应加以堵塞。

6.3.2 连续法

- 6.3.2.1 适用于所有铁磁性材料和制件的磁粉检验。
- 6.3.2.2 连续法检验由以下几道工序组成:

- a. 将磁悬液充分搅拌,并用磁悬液将制件表面润湿。
- b. 磁化与施加磁悬液同时进行,在浇注磁悬液的同时通电 $1\sim 3\text{s}$;停止浇注磁悬液后再通电数次。
- c. 制件退磁。

6.3.3 剩磁法

6.3.3.1 凡经过热处理(淬火、回火、渗碳、渗氮及局部正火)的高碳钢和合金结构钢,矫顽力在 1kA/m 以上,剩余磁感应强度在 0.8T 以上者,可进行剩磁法检验。常用钢材磁特性参见附录 C(标准的附录)。

6.3.3.2 剩磁法检验也可以作为一种辅助手段用来复验由连续法检验发现的磁痕,还可用于制件因几何形状限制连续法运用的检验部位(如螺纹根部等)。

- 6.3.3.3 剩磁法检验由以下几道工序组成:

- a. 制件磁化,瞬时通电不短于 0.5s 。
- b. 将磁悬液充分搅拌,往制件上浇注磁悬液 $2\sim 3$ 遍,每次间隔约 10s ,液压应当微弱,制件表面要均匀润湿,或将制件浸入磁悬液槽中约 10s 后取出。
- c. 停放 $1\sim 2\text{min}$ 后检查制件表面。
- d. 制件退磁。

6.3.4 磁粉检验——橡胶铸型法

检测制件孔壁的表面缺陷可采用磁粉探伤—橡胶铸型法,具体运用方法按 HB 5370 的规定。

6.4 退磁

- 6.4.1 检查完毕的合格制件均需退磁。检查完毕后尚需加热到 700℃ 以上的制件可不退磁。

6.4.2 磁化电流为交流电时,两次磁化工序之间可不退磁。若磁化电流为直流电,而第二次磁化不能克服第一次磁化的影响时,中间应退磁。

- 6.4.3 退磁时使用不低于磁化时所采用的磁场强度。

- 6.4.4 交流电退磁常用方法:

- a. 交流线圈通过法退磁 即将制件置于线圈前 0.3m 处,使制件长度方向与线圈轴向平行,短制件应衔

接起来,然后使制件缓慢地通过并离开退磁线圈 1~1.5m 后切断电源。如果需要,应重复此过程。当复杂制件通过线圈时,应将制件转动或滚动;

b. 交流电衰减退磁 即将交流电直接通过制件或通过线圈并逐步将电流衰减到零。

6.4.5 用整流电或直流电磁化过的制件可采用超低频交流电进行退磁,退磁方法与交流电衰减退磁方法相同。

6.4.6 制件退磁后,一般可用 X CJ 型袖珍式磁强计对制件进行剩磁测定。制件任何部位的剩磁应不大于 0.3mT(相当于 240A/m)。

6.5 检验结果的分析

对于所显示的磁痕,按 GJB 2029 进行分类和解释,并按有关文件和验收标准进行评定处理。

6.6 缺陷磁痕记录方法

6.6.1 照相 用照相法记录缺陷磁痕时,应将计量标尺和缺陷的特征部位一起拍下来。

6.6.2 透明胶带 先轻轻漂洗制件,待磁痕干燥后,用透明胶带贴印磁痕后再贴到被批准的表格中,连同表明磁痕在制件位置的资料一起保存。

6.6.3 磁粉检验—橡胶铸型法 用橡胶铸型复印缺陷磁痕。

6.6.4 可剥薄膜 将液态可剥薄膜喷涂在磁痕上,固化后取下有磁痕的薄膜连同表明磁痕在制件上位置的资料一起保存。

6.6.5 书面描述 在草图上或表格中记录磁痕的位置、长度、方向和数量。

6.7 合格制件的标志

磁粉检验合格的制件应根据有关图样和生产说明书要求进行标志,标志方式和位置应对制件无害,标志应具有永久性。标志的方式如下:

6.7.1 打钢印或振动刻印 图样或工艺图表要求且制件表面允许时才可采用,印记应标志在制件号附近或指定区域。

6.7.2 电化学标印 禁止打钢印或振动刻印时,可采用电化学蚀刻标志,蚀刻方法和位置应对制件的功用没有损害。

6.7.3 盖胶印 图样或工艺图表要求时采用,标志应不会被随后的搬运擦掉或弄模糊。

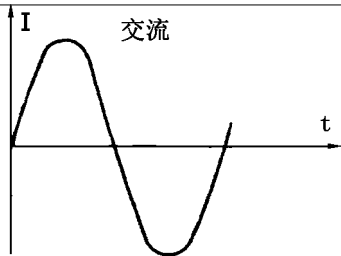

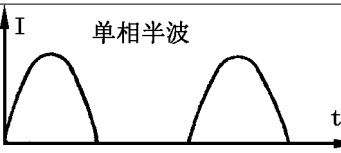
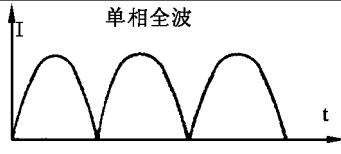
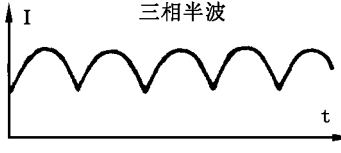
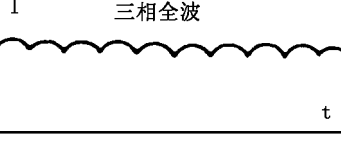
6.7.4 其它标志当 制件的结构、精度或性能要求都不允许用上述方法标志时,可采用挂标签、装纸袋等方法。

6.8 带缺陷制件的返修

经磁粉检验发现存在超标缺陷的制件,经有关部门批准,按各个具体制件的具体加工规范及制件的技术条件要求进行返修。制件返修后应按本标准规定重新进行磁粉检验。

附录 A
(标准的附录)
各种电流值与峰值的换算

表 A1 各种电流值与峰值的换算

电流波形	电流表指示	换算关系	峰值为 100A 时的 电流表读数
 <p style="text-align: center;">交流</p>	有效值	$I_{\text{峰值}} = \sqrt{2} I_{\text{有效值}}$	70A
 <p style="text-align: center;">直流</p>	平均值	$I_{\text{峰值}} = I_{\text{平均值}}$	100A
 <p style="text-align: center;">单相半波</p>	平均值 两倍平均值	$I_{\text{峰值}} = \pi I_{\text{平均值}}$ $I_{\text{峰值}} = \frac{\pi}{2} I_{\text{平均值}}$	32A 65A
 <p style="text-align: center;">单相全波</p>	平均值	$I_{\text{峰值}} = \frac{\pi}{2} I_{\text{平均值}}$	65A
 <p style="text-align: center;">三相半波</p>	平均值	$I_{\text{峰值}} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} I_{\text{平均值}}$	83A
 <p style="text-align: center;">三相全波</p>	平均值	$I_{\text{峰值}} = \frac{\pi}{3} I_{\text{平均值}}$	95A

附录 B
(标准的附录)
常规项目的检验周期表

检验项目	最长检验周期	相关章、条	检验单位
电流载荷试验	1 个月	5.8.4.1	自 检
设备内部短路检查	1 个月	5.8.4.2	自 检
定时装置试验	6 个月	5.8.4.3	自 检
电流表、电流表—互感器(电 流表—分流器)组合校验	6 个月	5.8.4.4	计量部门
快速断电试验	6 个月	5.8.4.5	自 检
磁轭试验	6 个月	6.2.3.5.2	自 测
白光照度测定	1 周	5.2.6	自 测
紫外辐照度测定	1 周	5.2.7	自 测
毫特斯拉计校验	1 年	5.2.11	国家计量院
袖珍式磁强计校验	1 年	5.2.11	北京航空材料研究院
白光照度计校验	1 年	5.2.11	国家计量院
紫外辐射计校验	1 年	5.2.11	北京航空材料研究院
pH 值测定	配制时	5.8.8	自 测
水断试验	配制时	5.8.7	自 验
磁悬液浓度测定	每班	5.8.5	自 测
磁悬液污染检查	1 周	5.8.6	自 检
系统灵敏度检验	每班	5.8.9	自 检

常用钢材磁性参数
表 C1 常用钢材磁性参数

钢材牌号	拉伸强度 σ 或硬度、 或热处理状态	矫顽力 H_c A/m	剩余磁感 Br T	最大相对 磁导率 μ_m
30CrMnSiA	原材料 BB 197	584	1.28	755
	$\sigma_b = 785\text{MPa}$	832	1.49	695
	$\sigma_b = 980\text{MPa}$	1040	1.57	704
	$\sigma_b = 1175\text{MPa}$	840	1.48	683
	$\sigma_b = 1275\text{MPa}$	1056	1.33	593
	$\sigma_b = 1665\text{MPa}$	1872	1.05	282
30CrMnSiNi2A	原材料 HB 207	904	1.11	575
	$\sigma_b = 1470\text{MPa}$	2280	0.72	159
	$\sigma_b = 1665\text{MPa}$	2352	0.97	217
QT5 - 02	$\sigma_b = 6851\text{VIPa}$	256	0.78	689
ZG35CrMnSi	正火 HB 207	888	1.11	495
	$\sigma_b = 1080\text{MPa}$	1024	1.51	599
	$\sigma_b = 880\text{MPa}$	1136	1.49	563

ZG22CrMnMo	正火 HB 165	496	1.2	801
	$\sigma_b = 1370\text{MPa}$	1504	0.93	293
	$\sigma_b = 1570\text{MPa}$	2080	1.01	278
40CrNiSiWA	回火 HB 269	976	1.43	737
	$\sigma_b = 1960\text{MPa}$	2360	1.04	215
Cr16Ni6	退火 HB 293	3112	0.14	26
	$\sigma_b = 1080\text{MPa}$	3120	0.41	67
38Cr2MoVA	退火 HB 187	1016	1.40	593
	$\sigma_b = 1275\text{MPa}$	1448	1.32	437
A3	原材料 HB 130	144	0.82	1300
15	910℃ 渗碳, 8001℃ 水淬、 250℃ 回火	224	1.02	1450
20	原材料 HB 138	432	0.90	1150
25	原材料 HRC 19	856	0.61	381
45	原材料 HB 156	640	1.27	896
	850℃ 水淬, 390℃ 回火、 HRC 40	1040	1.49	676
2Gr13	原材料 HB 163	504	0.75	547
	$\sigma_b \leq 835\text{MPa}$	1640	0.70	184
	$\sigma_b = 835 \sim 1080\text{MPa}$	1140	1.1	514
18CrNi4WA	原材料 HB 217	584	1.29	687
	$\sigma_b = 1125\text{MPa}$	1936	0.83	210
	HRC 55~60	2280	0.88	203
18Cr2NiWA	原材料 HB 255	1200	1.06	426
	HRC 38	1560	0.96	295
	HRC 41	1800	0.81	204
	HRC 56	1920	0.79	188
Cr17Ni2	原材料 HB 285	1864	0.80	237
	$\sigma_b = 1125\text{MPa}$	3872	0.59	88
GCr15	原材料 HB 302	1528	0.76	215
	HRC 61	3120	0.75	107
12CrNi3A	原材料 HB 149	368	1.23	1119
	原材料 HB 167	320	1.31	1290
	$\sigma_b \geq 880\text{MPa}$	1470	0.95	289
	HRC 60	1744	0.96	263
	930℃ 渗碳, 800℃ 油淬、 160℃ 回火 HRC 60	1477	0.96	263

60Si2MnA	原材料 HB 255	520	0.91	609
	$\sigma_b = 1665\text{MPa}$	976	1.47	761
50CrVA	原材料 HB 197	848	1.0	450
	$\sigma_b = 1275\text{MPa}$	1200	1.59	641
300M	原材料 HRC 20	780	1.41	610
	HRC 51	2841	1.02	192
CrWMn	材料供应状态 HB 217	768	1.23	676
	820℃油淬、-70~-80℃冷处理、170℃回火、120℃时效	2720	1.04	206
40CrNiMoA	850℃油淬、600℃回火	1280	1.56	650
	850℃炉冷	800	0.78	560
	850℃油淬、200℃回火	2480	1.00	197
50CrVA	$\sigma_b = 1470\text{MPa}$	1448	1.34	533
12Cr2Ni4A	材料供应状态 HB 217	744	1.25	642
38CrMoALA	材料供应状态 HRC 21	640	0.85	471
	940℃油淬、650℃回火 HRC 31	920	1.43	487
	940℃热水淬、650℃回火、第一次氮化 510℃, 12 小时, 第二次氮化, 550℃, 50 小时, HVB 81	1344	1.36	450
	中模段	1360	0.69	—
1Cr11NiW2MoV (3 μ 961)	1000℃油淬、590℃回火	1408	0.75	—

水磁悬液配方举例

D1 非荧光磁粉可用下述水磁悬液配方：

100# 浓乳	10g
亚硝酸钠	5g
三乙醇胺	5g
水	1L
非荧光磁粉	10~25g

配制方法：将 10g100# 浓乳加入到 1L50r, 的温水中, 搅拌至完全溶解, 再加入 15g 亚硝酸钠、5g 三乙醇胺、15~25g 磁粉, 每加入一种成分后要搅拌均匀。

D2 荧光磁粉水磁悬液可试用下述配方：

乳化剂	5g
亚硝酸钠	15g
消泡剂	15g

YC-2 型荧光磁粉 0.5~2.0g
 水 1L

配制方法:将乳化剂与消泡剂搅拌均匀,用少许水冲淡,加入磁粉,再加入余量水,然后加亚硝酸钠使溶解。

任何添加剂均不应影响荧光磁粉的使用性能。

附录 E

(标准的附录)

探 伤 器 材

E1 下列探伤器材在购买及使用时,需按本标准及其它相关标准进行鉴定,合格者方能被用于航空制件的磁粉检验。

E2 可采用的部分探伤器材名称及型号表 E1

表 E1

器材名称	型号
荧光磁粉	YC-2
黑色磁粉	HK-1
磁粉检验油基载液	LP-W-3
工业内窥镜	DGN-1
照度计	ST-85
紫外辐照计	UV-A
磁粉探伤仪	CY-500、CY-1000、CY-2000
多用磁粉探伤仪	CYD-3000、CYD-5000
断电相位控制器	XKQ-3、XK1-3A
直流探伤——超低频退磁机	CJW-2000D、CJW-4000B、 CDG-6000D、CDG-600E
磁粉探伤机	CT-350
微机控制荧光磁粉探伤机	CDG-2000、CDG-2000A
退磁机	CT-350
DD _E 交直流深伤——超低频退磁机	CEQ-100~2000A
DD _E 直流探伤——超低频退磁机	CZQ-600~2000A
DD _E 标准件(螺栓)磁粉探伤机	CXW-500~1000A
DD _E 通用移动式床式磁粉探伤机	CEW-2000~9000A
MT-4X 系列磁粉探伤机电脑控制仪	MT-4B、MT-4D、MT-4 I、MT-4B I
MT-2X 系列固定磁粉探伤仪	MT-2B、MT-2D、MT-21
MT-3X 系列移动式磁粉探伤仪式	MT-3B、MT-3C、MT-3E