

一种 X4CrNiMo16-5-1 材质的销轴磁粉检测纵向磁痕初探

周广俊

(上海电气凯士比核电泵阀有限公司 上海 201306)

摘要: 笔者对多批次的大量销轴进行荧光磁粉检测, 在多根轴身上发现纵向磁痕显示, 通过对磁痕形貌分析, 可疑部位渗透复验, 超声波检测, 排除是危险性的裂纹缺陷, 判定是由于非金属夹杂物、发达的带状组织偏析引起的磁痕显示, 再通过金相组织显微观察, 进一步验证了这种判定。

关键词: 磁粉检测; 金相组织; 发纹; 偏析; 相关显示; 非相关显示

0 引言

铁磁性材料工件被磁化后, 由于不连续的存在导致磁导率发生变化, 使工件表面和近表面的磁感应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, 在适当的光照条件下形成目视可见磁痕, 从而检测出工件不连续的位置、大小、形状和严重程度, 这就是磁粉检测的基本原理^[1]。一般而言, 磁粉检测比渗透检测灵敏度高, 效率高, 环境污染小, 重复性好, 在许多行业常常作为表面检测的首选检测方法。

X4CrNiMo16-5-1 是欧标 EN 10088-3:2005 里的材料, 编号 1.4418, 属于新型低碳马氏体不锈钢材质, 且组织中一般含有少量的铁素体和奥氏体, 具有高强度、高韧性、优良的抗疲劳性, 比大多数传统马氏体不锈钢具有更好的耐腐蚀性能, 实现了耐腐蚀性能和综合机械性能之间的良好平衡; 具有磁性, 易被磁化, 可进行磁粉检测。

1 实例分析

1.1 实例说明

对多批次大量的某种销轴进行荧光磁粉检测, 其材质为 X4CrNiMo16-5-1+QT900, 规格尺寸见图 1。按照标准 NB/T 47013.4-2015《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》进行荧光磁粉检测, 使用 CDG-3000A 多功能磁粉探伤机, 线圈 N=5 匝, 半径 200mm。磁化方法采用连续法轴向通电法+线圈中心磁化法, 把两根轴对接在一起夹紧在探伤机上同时进行磁化检测, 既满足长径比的要求, 又能提高检测效率。先周向(交流 600A)

后纵向(交流 1400A/2500A)磁化, 磁悬液沉淀浓度 0.2mL/100mL, 磁化规范经 A1-30/100 标准试片验证, 其人工伤清晰显示。实际检测中在多根销轴轴身上发现纵向磁痕显示, 磁痕长短不一, 长度 15 ~ 100mm 不等, 有的连续有的断断续续呈直线分布; 位置随机, 有的在螺纹部分(图 2), 有的在轴身中间(图 3), 有的靠近轴头端(图 4)。这些磁痕的共同点是都沿纵向延伸, 平行于纵轴线; 比较平直, 无锯齿状无分叉无尖端特征。

1.2 磁痕形貌分析

磁痕都沿金属流线纵向分布, 呈连续或断续的细直线, 无锯齿形无分叉, 长短不一; 磁痕清晰但不浓密,

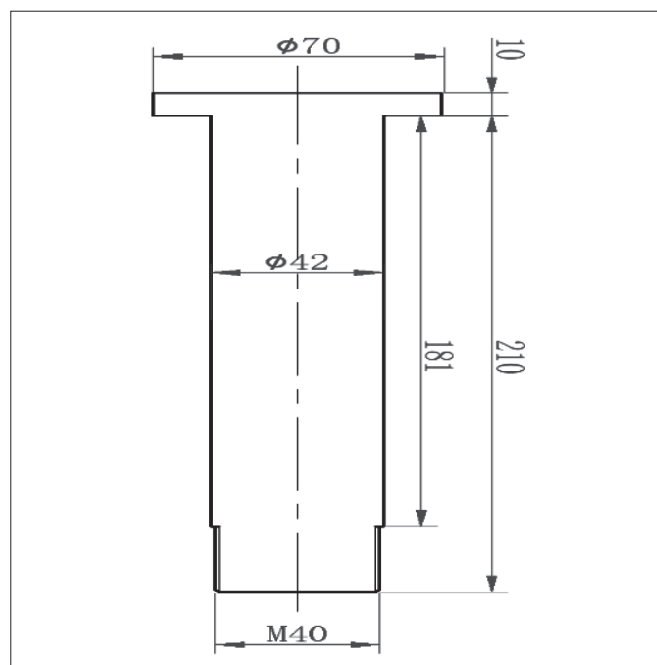


图 1 销轴示意图

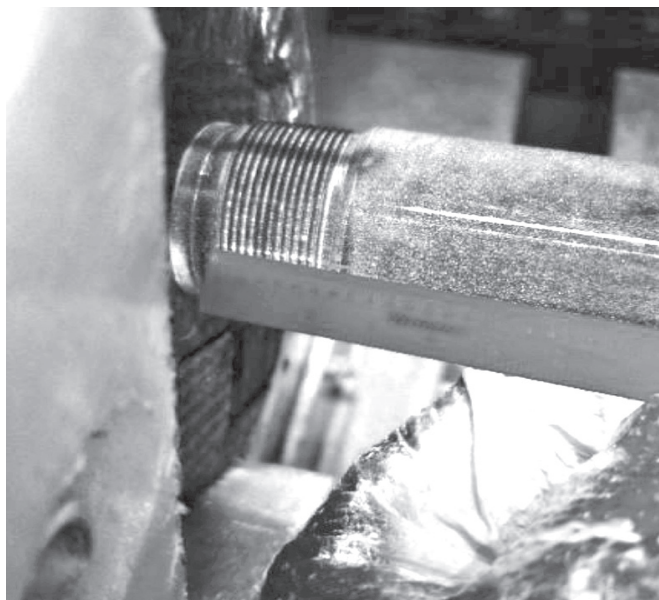


图2 螺纹部位磁痕

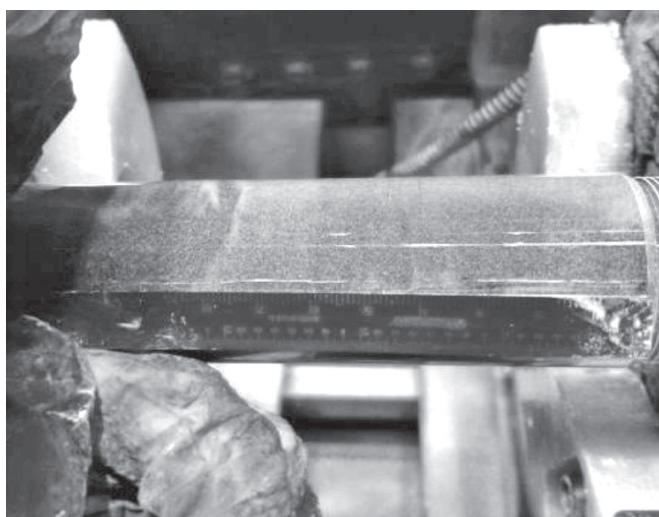


图3 轴身部位磁痕

两头呈圆角无尖端；擦掉磁痕，在合适的白光下目视该区域金属致密一致无异常痕迹；用2~10倍放大镜观察仍未见异常。由此分析可见，上述磁痕不具备裂纹特征，磁痕不是由危险性的裂纹引起的，而非常符合发纹和偏析的磁痕特征。

1.3 磁痕复探

1.3.1 渗透检测

对磁痕显示部位进行高灵敏度着色渗透检测，特别注意预清洗时要用清洗剂把轴身表面彻底清洗干净，去除油基磁悬液，防止降低渗透检测灵敏度。采用ARDROX溶剂去除型渗透剂（型号9VF2）+溶剂型清洗剂（型号9PR5）+溶剂悬浮显像剂（型号

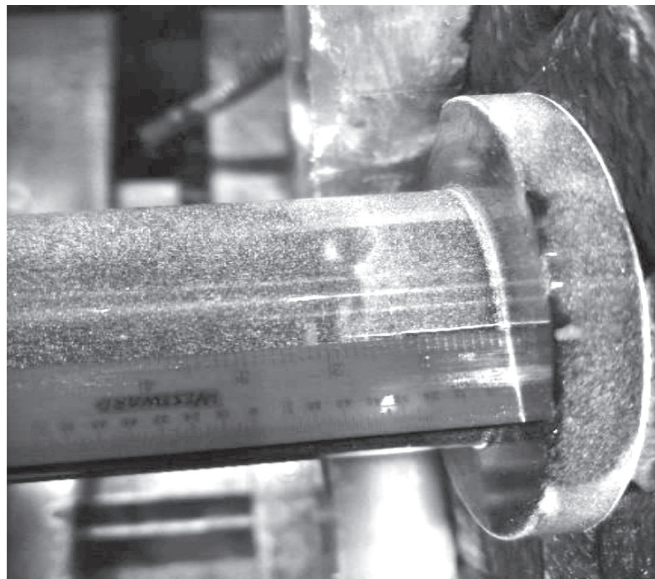


图4 轴头部位磁痕

NQ1)，渗透检测剂灵敏度符合GB/T 18851.2-2008《无损检测 渗透检测 第2部分：渗透材料的检验》规定的2级水平（高灵敏度）。检测地点在恒温车间，温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，工件表面白光照度1700Lux，渗透时间30min，期间多次喷涂渗透剂，保证检测面始终处于润湿状态，自然干燥5min，显像时间30min。检测系统灵敏度经GB/T 18851.3-2008《无损检测 渗透检测 第3部分：参考试块》规定的2型参考试块验证5点可清晰显示。磁痕显示部位经渗透检测，未见相关显示，证明该部位不存在表面开口型缺陷。

1.3.2 超声波检测

在光杆部位对有磁痕显示的区域进行脉冲反射超声波径向扫查，探头型号是5P10Z，对比试块采用同曲率不同深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔试块，依次测试一组不同深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔制作距离-波幅曲线，以此作为基准灵敏度，扫查时再提高10dB。经检测，未见异常反射信号。

1.4 磁痕判定与解释

根据磁痕形貌特征分析和渗透、超声波检测结果，判定销轴荧光磁粉检测所见纵向磁痕是发纹或偏析，属于材料冶金缺陷，是非相关显示。

此种细长的纵向非金属夹杂物缺陷应定义为发纹，在标准GB/T 15711-2018《钢中非金属夹杂物的检验塔形发纹酸浸法》中，对发纹给出了明确的定义，即钢中非金属夹杂物在加工变形过程中沿锻轧方向延伸所形成的条纹。发纹^[1]是钢中最常见的缺陷，分布在工件截面的不同深度上，呈连续或断

续直线状,长短不一,磁粉检测时磁痕清晰而不浓密,两头呈圆角,擦掉磁痕,发纹目视不可见。国内对发纹的检验有磁粉检测法和酸浸法,均采用塔形试样,在某些重要领域的产品标准或采购技术规范中会对发纹的检验和验收提出明确要求,在一定程度上是允许存在的。西方国家标准中无“发纹”的概念,我国的发纹检查概念相当于西方标准中的非金属夹杂物宏观测量方法或者钢的“纯洁度”低倍检查方法。这种宏观测量方法也是采用磁粉检测方法,表征“发纹”严重程度的参数是磁痕(夹杂物)的数量、长度或者厚度^[2]。应该明确,发纹不是裂纹,发纹处的夹杂物与母材金属的结合是致密的,即使采用高灵敏度的渗透检测都未必能检测出来。

偏析是指合金中各组成元素在结晶时分布不均匀的现象。偏析是难以完全避免的,会导致金相组织不均匀^[2],尤其是马氏体不锈钢和沉淀硬化型不锈钢,偏析严重程度必须加以控制。金相组织不均匀会导致材料磁导率变化而产生漏磁场。发达的纵向组织偏析会对扭转性能等综合性能有影响,但对纵向力学性能、横向剪切性能影响不敏感。美国标准 ASTM A275/A275M-2018 版相较于 ASTM A275/A275M-2015 版专门增加了附录 X1,指出化学成分显微偏析是非相关显示。

依据标准 NB/T 47013.4-2015《承压设备无损检测第4部分磁粉检测》,由缺陷产生的漏磁场吸附磁粉而形成的磁痕显示称为相关显示;由截面变化或材料磁导率改变等产生的漏磁场吸附磁粉而形成的磁痕显示称为非相关显示。

综上所述,严格来讲由发纹引起的磁痕是相关显示,属于原材料缺陷经热加工成形显示出来;由偏析引起的磁痕是非相关显示,由于材料磁导率改变引起。但是发纹和带状偏析的磁痕特征相似,仅通过无损检测很难定性区分,实际工作中在某些重要领域如航空航天^[3]、核工业和特种设备重要安全部件,本着保守、质疑的工作态度,此类磁痕都按相关显示评判。

2 金相验证

随机选取 A、B 两根有代表性的销轴进行金相分析,结果显示 A、B 两根销轴磁粉检测所见磁粉堆积现象分别与非金属夹杂物、发达的组织偏析有关,磁粉堆积处并未形成裂纹。

A 轴组织相对均匀,在近外圆表面的纵向截面上,可见磁粉堆积与纵向分布的非金属夹杂物相对应,该

区域组织为回火马氏体+少量铁素体,见图5;在相应横截面上,原磁粉堆积区域未见由表及里的微细裂纹,见图6;心部组织为回火马氏体+少量铁素体,如图7所示。

B 轴在磁粉堆积区域的横截面上,可见组织呈枝晶状偏析分布,组织为:回火马氏体+淬火马氏体+残留奥氏体+少量铁素体,见图8;在相应区域的纵向截面上,可见磁粉堆积区域的组织呈带状偏析分布,未见由表及里的微细裂纹,组织为:回火马氏体+淬火马氏体+残留奥氏体+少量铁素体,见图9。

3 应对措施

(1) 对后续荧光磁粉检测出来的纵向磁痕,要对材料特性、磁痕特征进行分析,并结合目视检测、渗透检测和超声波检测,对磁痕做出正确的评判和解释。

(2) 向公司技术人员和质保工程师反馈,由其决定能否接收照用。

(3) 向采购部门反馈,对此类重要部件在采购技术规范中增加无损检测的具体技术要求、记录标准和验收准则。

(4) 新采购销轴入厂接收检验时,可按炉批次随机抽检部分销轴进行无损检测。

4 结语

无损检测是质量控制和设备安全运行的重要手段,适用于检测宏观缺陷,而且每种无损检测方法都有其适用性和局限性,并不是万能的。作为无损检测人员,务必结合零部件技术特点,严格执

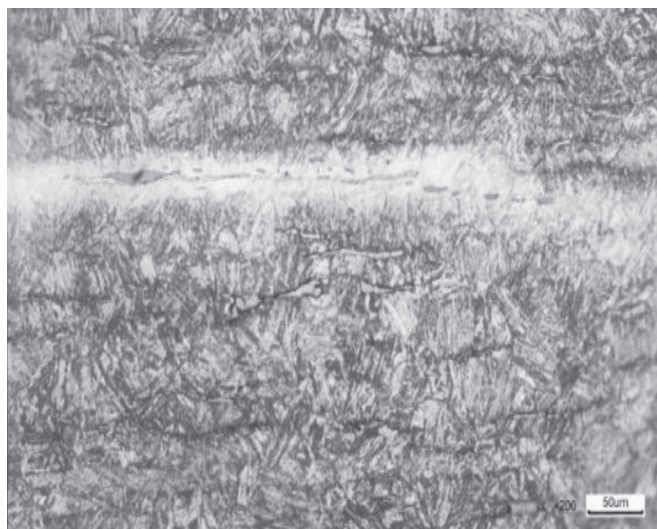


图5 A轴表面磁痕堆积处纵向截面组织



图 6 A 轴表面磁痕堆积处横向截面组织

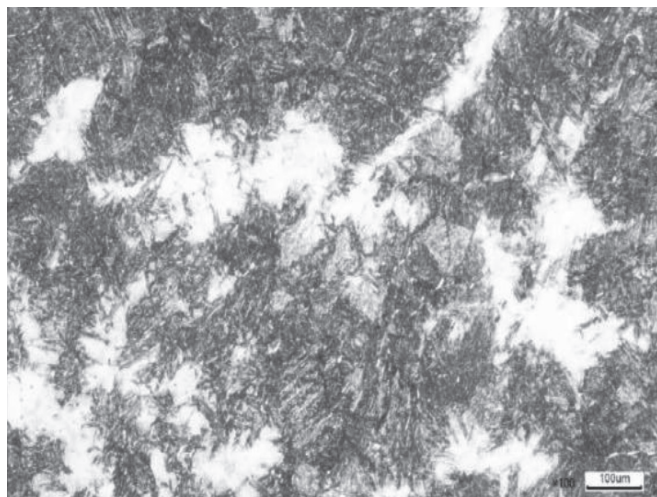


图 8 B 轴表面磁痕堆积处横向截面组织

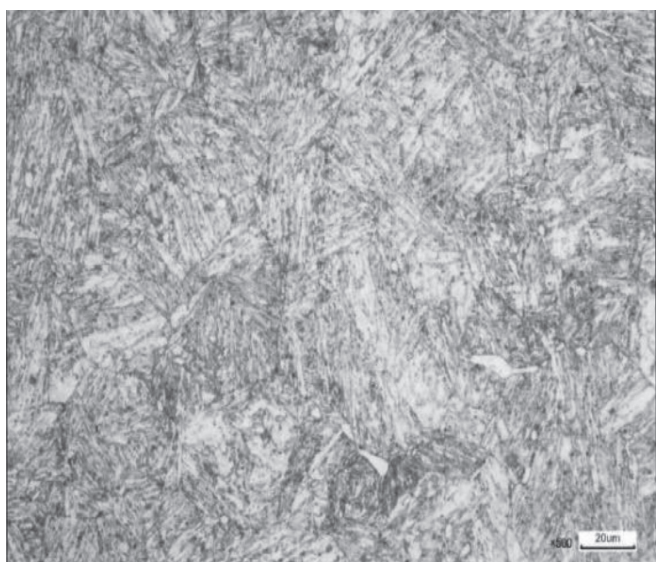


图 7 A 轴心部组织

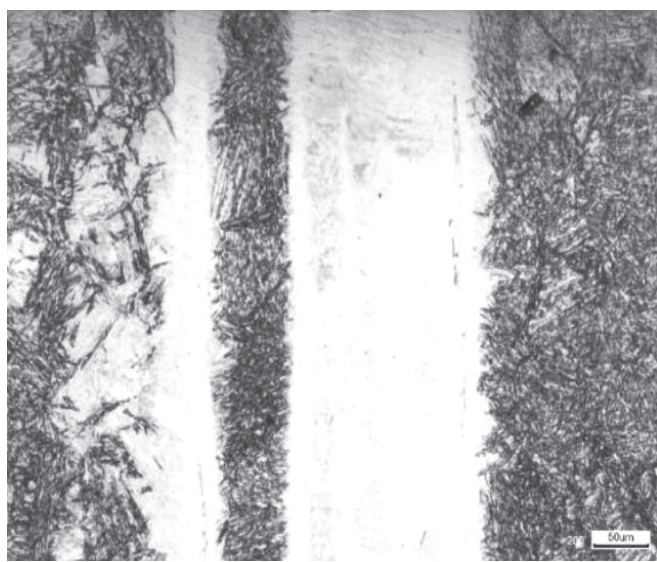


图 9 B 轴表面磁痕堆积处纵向截面组织

行检测规程和工艺方法，正确理解和使用标准，不得弄虚作假，不得违规操作，实事求是地记录原始数据，以科学严谨的工作态度保证检测结果的正确性和可追溯性。

参考文献：

[1] 宋志哲. 磁粉检测：第2版 [M]. 北京：中国劳动社会保障

出版社，2007.

[2] 袁文明. 航空用钢发纹检验与评定标准综述 [J]. 航空标准化与质量, 2010(6):43-46.

[3] 李家伟. 无损检测手册：第2版 [M]. 北京：机械工业出版社，2011.

作者简介：周广俊（1989.04-），男，汉族，山东济宁人，本科，工程师，研究方向：机械制造和无损检测。