

# 塞焊叶轮磁粉检测异常磁痕显示分析

张 勇,王 艳,赵艺喆,王转萍,解江涛

(西安陕鼓动力股份有限公司,西安 710611)

**摘要:**采用四大常规无损检测方法,并结合显微观察、金相分析以及机械性能检测等方法,对塞焊叶轮异常磁痕的性质、产生机理进行分析,并制定了判定磁痕显示性质的工艺流程,可提高塞焊叶轮焊缝的磁粉检测效率。

**关键词:**磁粉检测;渗透检测;金相组织;异常磁痕显示;非相关显示

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号:1000-6656(2023)03-0045-04

## Analysis of abnormal magnetic particle indications in magnetic particle testing of plug welded impeller

ZHANG Yong, WANG Yan, ZHAO Yizhe, WANG Zhanping, XIE Jiangtao

(Xi'an Shaangu Power Co., Ltd., Xi'an 710611, China)

**Abstract:** Four conventional nondestructive testing methods, combined with microscopic observation, metallographic analysis and mechanical property testing, are used to analyze the character and generation mechanism of abnormal magnetic particle indications on plug welded impeller. The technological process for determining the display properties of magnetic particle indications is developed, which can improve the magnetic particle testing efficiency of plug welded impeller welds.

**Key words:** magnetic particle testing; penetrant testing; metallographic structure; abnormal magnetic particle indication; non-relevant indication

塞焊叶轮是一种比较常见的叶轮,作为离心式风机的核心零部件,其焊接质量至关重要。由于叶轮结构的特殊性,对其进行无损检测时通常采用磁粉检测方法。

在日常检测中发现,相比其他焊接形式成型的叶轮,塞焊叶轮产生磁痕的几率要大得多,并且,磁痕显示特征与常规缺陷磁痕特征有一定的区别,处理时需要多次修磨或补焊后复检<sup>[1]</sup>,大大降低了磁粉检测效率。通过分析塞焊叶轮磁痕性质和产生机理,制定有效的检测及判定方法,以提高检测效率与检测可靠性,可保证产品质量、降低成本。

## 1 试验方案

据统计,塞焊叶轮异常磁痕显示可分为两类,一

收稿日期:2022-07-19

作者简介:张 勇(1988—),男,工程师,主要从事无损检测工作

通信作者:张 勇,1803237747@qq.com

类是叶轮材料为 1Ni9,焊条材料为 ENiCrMo-3 时,磁痕一般沿焊缝与母材熔合线连续分布,显示非常浓密(见图 1);一类是叶轮材料为 FV520B,焊条材料亦为 FV520B 时,磁痕分布具有随机性,但多位于熔合线及起弧、收弧处,显示为线状,与裂纹显示类似(见图 2)。



图 1 叶轮材料为 1Ni9 的磁痕显示

擦去磁痕,用 5 倍放大镜进行观察或进行渗透检测,一般无开口性缺陷显示<sup>[2]</sup>。

进一步对塞焊叶轮材料、焊条材料、焊接工艺、



图 2 叶轮材料为 FV520B 的磁痕显示

热处理工艺以及磁粉检测工艺等多方面进行深入分析,初步考虑异常磁痕显示可能是异性材料或母材热影响区与焊缝金相组织差异产生的非相关磁痕显示。

单纯依据无损检测技术,从宏观显示角度无法准确判定此类磁痕显示的性质和产生机理。通过制作焊接试板,结合材料机械性能试验、显微观察、金相分析等微观角度,制定了以下试验方案。

### 1.1 制作焊接试板

锻件制备:模拟焊接叶轮生产过程,选取形状为盘状的试板(FV520B、1Ni9 材料各一个),在每个试板上刻槽(每个盘 6 个槽,确保能制备存在理想磁痕显示的试板,同时,存在磁痕显示的焊缝可当做等同条件,以便于试验研究)。对试板实施塞焊,焊接电流、打磨工具、热处理工艺等各工序均与真实叶轮的生产工艺相同。

### 1.2 排除试验干扰因素

对焊接试板进行射线检测和超声检测,确保试板内部无大面积或规格较大的缺陷。

### 1.3 试验流程

对试板上的焊缝进行标记,并对焊缝进行磁粉检测,发现磁痕时进行标记,取其中一条焊缝进行渗透附加检测,打磨后再进行磁粉检测+渗透检测,共打磨两次,每次打磨 1 mm 进行观察。在焊缝典型磁痕显示处取样,并在电镜下观察是否存在缺陷,在焊缝周围母材处取样,进行金相分析,确定组织类型。对焊缝进行拉伸、冲击等破坏性试验,确定磁痕是否影响材料的机械性能。依据试验数据进行性质判定和磁痕产生机理分析,并制定塞焊叶轮焊缝磁痕显示性质判定流程。

## 2 试验过程与磁痕性质的确定

对焊接试板进行射线检测和超声检测,未发现缺陷显示,确保试板内部无大面积或尺寸较大的缺陷,排除试验干扰因素。两试板的射线检测结果如图 3,4 所示(使用 HR-2000C450 X 型射线探伤机,每个试



图 3 1Ni9 试板的射线检测结果

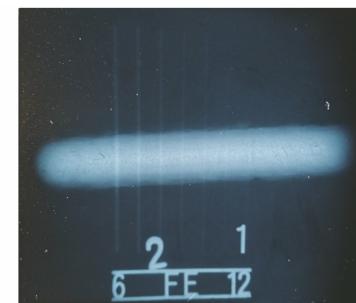


图 4 FV520B 试板的射线检测结果

板上有 6 条焊缝,此处只分别显示了其中一条)。

对焊件进行磁粉检测,两种材料均出现前文所述异常磁痕显示。两试板磁痕打磨前后磁粉检测结果对比如图 5,6 所示(检测设备为 12000 型磁粉探伤机),擦去磁痕进行渗透附加检测,均未发现开口性缺陷。



(a) 打磨前磁痕显示

(b) 打磨后复检

图 5 1Ni9 试板磁痕打磨前后磁粉检测结果对比



(a) 打磨前磁痕显示

(b) 打磨后复检

图 6 FV520B 试板磁痕打磨前后磁粉检测结果对比

对磁痕部位进行打磨、复检后,1Ni9 试板磁痕未消除,甚至越发清晰,仍与未打磨处连续显示;FV520B 试板打磨后磁痕消除。前者基本确定磁痕

属于非相关显示, 后者可能是缺陷显示, 也可能是非相关显示, 无法得出结论。

为确定磁痕显示是否由缺陷形成, 对两个试板磁痕显示部位进行取样, 在电镜下观察(设备为GX51型金相分析仪)。观察发现, 1Ni9试板母材与焊缝存在明显的分界线, 但未见缺陷(见图7); FV520B试板也未发现缺陷, 但发现条状铁素体(见图8)。说明两种材料磁痕显示都不是由缺陷形成, 均为非相关显示。1Ni9试板的显示可能是母材与焊缝材料异性所致, FV520B试板的显示可能是焊缝组织内金相组织不均匀所致, 具体性质需进一步通过金相分析确定。



图7 1Ni9试板电镜观察照片(50×)

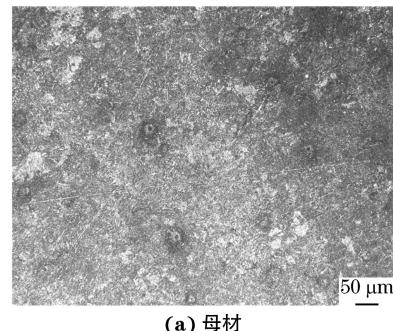


图8 FV520B试板电镜观察照片(50×)

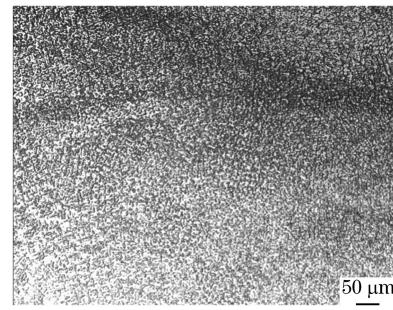
对试板进行打磨、抛光、腐蚀, 在金相显微镜下观察, 1Ni9试板母材为索氏体组织, 焊缝为奥氏体组织(见图9); FV520B试板母材为索氏体组织, 焊缝为回火索氏体+板条马氏体+1%左右 $\delta$ 铁素体组织(见图10)。

奥氏体为非铁磁性材料, 与索氏体磁导率差异非常大, 导致1Ni9试板熔合线上磁痕连续显示。FV520B母材与焊缝金相组织基本一致, 故熔合线上无磁痕堆积, 但焊缝组织内部存在少量铁素体, 其与索氏体基体的磁导率存在差异, 故铁素体所在部位出现磁痕显示。

进一步研究两种磁痕显示是否对材料的机械性能造成影响, 需进行破坏性试验。由于FV520B叶轮生产过程中需要进行热处理, 故对FV520B试板

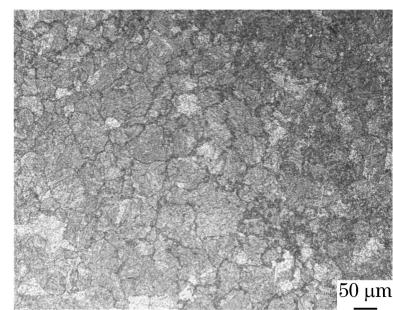


(a) 母材

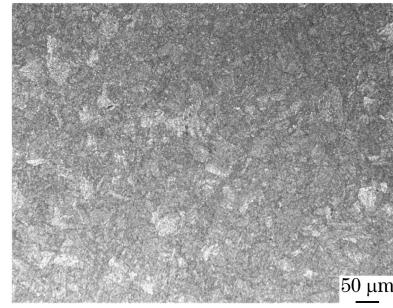


(b) 焊缝

图9 1Ni9试板的金相照片(200×)



(a) 母材



(b) 焊缝

图10 FV520B的金相照片(200×)

采用同样的热处理方法。最后对两个试板的异常磁痕显示部位进行取样, 做拉伸、冲击试验(试验设备为4505D型微机控制电液伺服万能试验机、JBS-300型数显式冲击试验机), 1Ni9试板抗拉强度为723.4 MPa(标准要求为680~820 MPa), 冲击功为93.1 J(标准要求不小于70 J); FV520B试板抗拉强度为942.0 MPa(标准要求不小于880 MPa), 冲击功为150.5 J(标准要求不小于80 J)。

结果表明磁痕对材料的机械性能无影响, 即在检测过程中发现该类磁痕显示可以忽略。

### 3 磁痕显示机理分析及性质判定流程

#### 3.1 磁痕显示产生机理分析

1Ni9 叶轮采用的焊条材料为 ENiCrMo-3, 该焊条属于镍基焊条, 金属合金体系为 Ni-Cr-Mo 系<sup>[3]</sup>, 其组织由奥氏体相和析出相构成。奥氏体相在熔敷金属中主要作为基体相存在, 焊缝最终形成奥氏体组织。

众所周知, 奥氏体组织是钢铁材料中典型的非磁性材料, 磁粉检测方法不适用于此类材料。在磁粉检测时, 母材与焊缝材料磁导率差异非常大, 因此在两种材料的分界处(及熔合线部位)会产生漏磁场, 从而形成异常磁痕显示, 即该磁痕属于异性材料

交界处形成的非相关显示。

FV520B 试板母材与焊条属于同种材料, 最终形成的焊缝与母材金相组织基本一致, 但塞焊时叶轮盖盘厚度较大, 焊槽深而窄, 热量不易散失, 进行表面填充时, 热量的大量积累会使得组织内形成少量的高温条状铁素体, 铁素体的磁导率与周围基体索氏体磁导率存在一定的差异, 从而形成条状异常磁痕显示, 即该磁痕属于金相组织不均匀形成的非相关显示。

#### 3.2 磁痕性质判定流程

为保证磁粉检测的可靠性, 在制定检测工艺时, 工艺部门应首先确定待检测工件是否属于铁磁性材料。在保证磁粉检测适用的条件下, 制定如图 11 所示的磁痕性质判定流程图(图中 MT 为磁粉检测, PT 为渗透检测)。

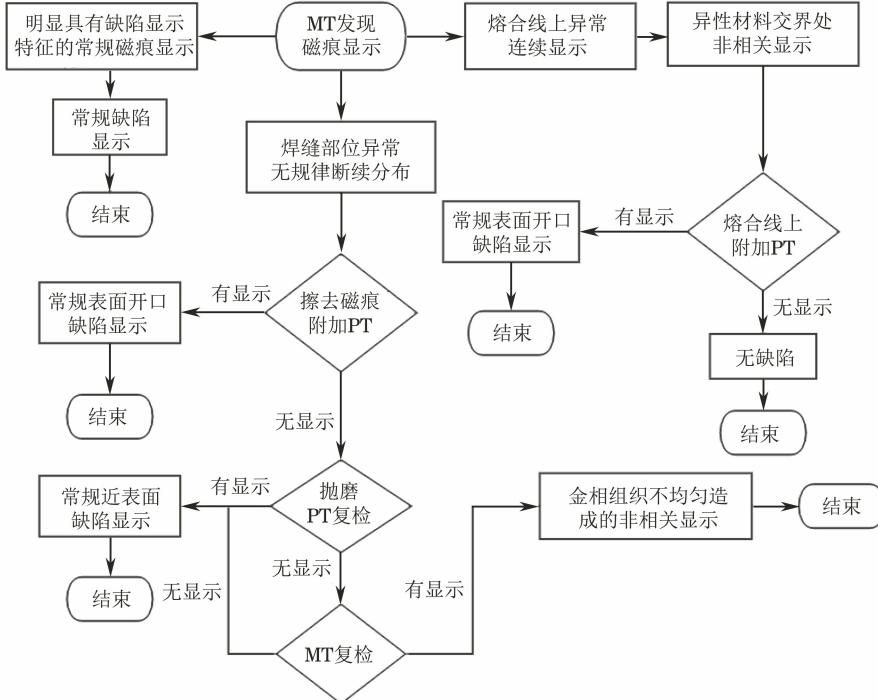


图 11 塞焊叶轮磁痕性质判定流程图

### 4 结语

(1) 1Ni9 叶轮熔合线连续型磁痕显示属于母材与焊缝异性材料交界处形成的非相关显示; 焊缝属于奥氏体组织, 不适合采用磁粉检测方法, 可采用渗透检测代替。

(2) FV520B 叶轮焊缝异常磁痕显示属于金相组织不均匀形成的非相关显示。

(3) 1Ni9, FV520B 叶轮焊缝异常磁痕显示都属于非相关显示, 对材料机械性能无影响, 在无损检测范围内合格。

(4) 塞焊叶轮焊缝在磁粉检测时可按照所制定的磁痕判定流程进行确定, 以提高磁粉检测可靠性与检测效率。

#### 参考文献:

- [1] 谭云华, 钱熙源. 同种钢焊缝磁粉检测非相关显示的鉴别[J]. 无损探伤, 2018, 42(5): 46-47.
- [2] 于明明, 刘洪杰. 贝氏体钢焊缝熔合线磁粉非相关显示试验分析及处理[J]. 机械, 2018, 45(增刊 2): 78-79.
- [3] 王凌宇, 邹家生, 朱治愿. 层间温度对 ENiCrMo-3 镍基焊条熔敷金属组织及性能的影响[J]. 江苏科技大学学报, 2021, 35(6): 24-25.