

PT检测及分析不锈钢加工表面缺陷

王丽萍¹, 张守伟¹, 周佩超², 姜文勇¹, 冯义成¹, 郭二军¹

(1. 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨电机厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

摘要: 用着色渗透检测法对 ZG04Cr13Ni4Mo 不锈钢铸件加工表面进行质量检验时, 得到圆形斑点. 为研究此类显示斑点是否表明存在缺陷, 及其所对应的缺陷类型, 对 ZG04Cr13Ni4Mo 不锈钢试样加工表面进行着色渗透检测, 并应用金相显微镜和扫描电镜对显像斑点处观察分析. 结果表明: 被检试样表面确定有圆形显像斑点, 尺寸在 0.07 ~ 1.2 mm 范围内, 清洗后用扫描电子显微镜对显像位置进行观察分析, 确定加工的试样表面存在缺陷, 缺陷类型为富含 O、Si、Al 和 Ca 四种元素的复合夹杂物, 尺寸在 0.07 ~ 1.2 mm 范围内.

关键词: 不锈钢; 渗透检测; 显示斑点; 缺陷类型

中图分类号: TG142.71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)01-0099-04

Penetration Testing and Analyzing Defects on the Surface of Processed Stainless Steels

WANG Li-ping¹, ZHANG Shou-wei¹, ZHOU Pei-chao², JIANG Wen-yong¹, FENG Yi-cheng¹, GUO Er-jun¹

(1. School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China;

2. Harbin Electric Machinery Company Limited, Harbin 150060, China)

Abstract: When dye penetrant testing method is used to detect ZG04Cr13Ni4Mo stainless steel castings machined surface quality, we are able to observe round spots. In order to study whether such displayed dots indicate the presence of defect on machined surface, and which defect types they correspond to, penetrant testing methods have been adopted to detect machined surface defects of ZG04Cr13Ni4Mo stainless steel samples, and scanning electron microscope and metallurgical microscope are used to observe and analyze displayed dots. Test results show that displayed dots were observed on the sample surface. Dot size is in the range of 0.07 ~ 1.2 mm. After the samples are cleaned, scanning electron microscope was used to observe and analyze the imaging areas on sample surface. Defects are found on sample surface, which belong to inclusion defects. Defect size is in the range of 0.07 ~ 1.2 mm. These inclusions are rich in O, Si, Al, and Ca four elements.

Key words: stainless steel; penetration testing; displayed dots; defect types

收稿日期: 2013-10-15

基金项目: 2012 年黑龙江省研究生创新科研项目(YJSCX2012-117HLJ).

作者简介: 王丽萍(1962—), 女, 教授, 博士研究生导师.

周佩超(1963—), 男, 高级工程师.

通讯作者: 张守伟(1987—), 男, 硕士研究生, E-mail: bookbooy@163.com;

0 引言

渗透检测(penetration testing, PT), 又称渗透探伤, 是一种以毛细作用原理为基础用于检测金属和非金属试件表面开口缺陷的无损检测方法, 属于无损检测五大常规方法之一^[1]. 渗透检测几乎不受备件形状、大小、组织结构、化学成分和缺陷方位的限制, 可广泛适用于焊接件、铸件、锻件等各种加工工艺的质量检验^[2-3]. 同超声波检测、射线检测、涡流检测以及磁粉检测相比, 渗透检测具有检测设备简单, 操作简便, 缺陷显示直观, 检测灵敏度高, 检测费用低等特点, 已被广泛的用于工业的很多领域, 是评价工程材料完整性、连续性的重要手段, 是产品的制造和维修中不可缺少的检测方法^[6-7].

某电机厂生产的 ZG04Cr13Ni4Mo 马氏体不锈钢半成品铸件, 部分铸件加工表面经 PT 检测有近圆形显像斑点, 这些缺陷的存在, 严重影响该厂不锈钢铸件的正常生产, 降低了厂家不锈钢铸件质量和经济效益. 因此, 找出显像斑点的缺陷类型, 分析产生缺陷原因, 有助于生产工艺的改进, 这对改善铸件质量, 提高厂家经济效益具有重要的现实意义.

1 实验过程

1.1 材料准备

实验用的不锈钢铸件为电机厂生产 $\Phi 30\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 圆饼 8 个, 成分如表 1 所示, 将每个圆饼两端面依次用砂轮和 $13\text{ }\mu\text{m}$ 砂纸磨平, 然后用超声波清洗.

表 1 ZG04Cr13Ni4Mo 主要元素化学成分 / %

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	残余元素			Fe
									Cu	V	W	
成分	0.045	0.80	1.5	0.03	0.01	13.0	4.5	0.80	0.500	0.05	0.1	余量

检测所用的试剂为吴江市宏达探伤器材有限公司生产的, 着色渗透探伤剂 HR-ST 型无损检测探伤剂, 分别为清洗剂、渗透剂和显像剂, 三种试剂组合使用, 使用前均需上下摇晃 3~5 次.

1.2 检测过程

将超声波清洗后的试样放在桌面白纸上, 待干燥后用红色渗透剂喷嘴正对试样端面, 距离试样 30 mm 左右喷涂, 至端面全部被渗透剂覆盖, 10 min

后, 用纸巾擦拭去除端面的渗透剂, 然后再用喷罐的清洗剂喷涂清洗, 直至端面红色的渗透剂被去除为止(注意过度去除而使检测质量下降, 以及去处不足而造成对缺陷显示识别困难). 去除端面红色的渗透剂后试样放在空气中干燥 5 min, 然后喷涂白色显像剂, 喷涂方式与渗透剂相同. 显像剂喷涂结束, 将试样放在光线明亮处, 6 min 后观察显像结果, 若端面出现红色斑点, 则说明端面有缺陷, 将显像位置用记号笔标记. 若 1 h 后无显像结果则说明该端面无缺陷. 最后将检测的试样用清洗剂去除显像剂^[8-10].

1.3 缺陷分析

将被检测出有缺陷的试样放在扫描电子显微镜下, 对标记部位进行观察分析, 根据缺陷的形貌, 以及对缺陷处点、面扫描, 分析缺陷处的化学元素相对含量, 对缺陷类型进行判定^[11-12].

2 检测结果及分析

被检测的 8 个试样, 发现 4 处缺陷显示, 均为红色独立斑点, 直径小于 2 mm. 对缺陷处进行清理, 烘干, 依次编号, 放在扫描电镜下观察分析, 缺陷 1# 如图 1 所示. 从图 1(a) 中可以看出, 缺陷 1# 显像斑点为圆形, 直径约为 0.2 mm; 清理后扫描观察如图 1(b), 可以看到, 该缺陷为圆形夹杂物, 直径接近 0.07 mm; 对夹杂物表面进行能谱点分析, 发现 Si、O 和 Al 元素含量较多, 综合该处缺陷的位置(铸件内部), 形貌及能谱分析结果, 判定该处缺陷为 Si、O 和 Al 的化合物夹杂^[13-15].

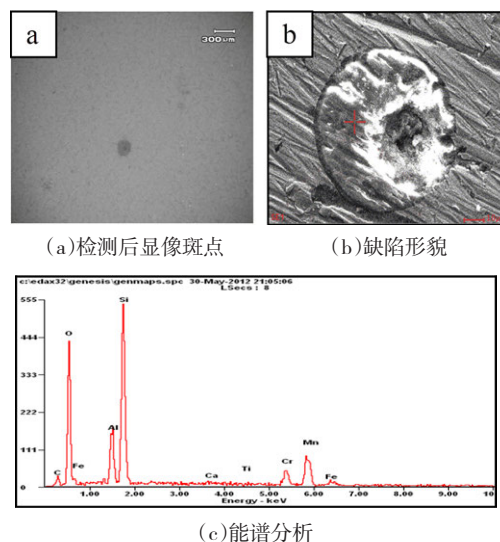


图 1 缺陷 1# 的显像斑点、形貌及能谱分析结果

缺陷 2#如图 2 所示,从图 2(a) 可以看出,缺陷 4#显像斑点为近似圆形,直径约为 0.45 mm;清理后扫描观察如图 2(b),可以看到,缺陷凹坑内部仍粘连部分未脱落夹杂物,凹坑直径接近 0.12 mm;对夹杂物表面进行能谱点分析,发现 C、O、Si、Ca、Cr 和 Mn 含量较高,判断该处缺陷为富含上述元素的化合物复合夹杂物^[13-14,1d]。

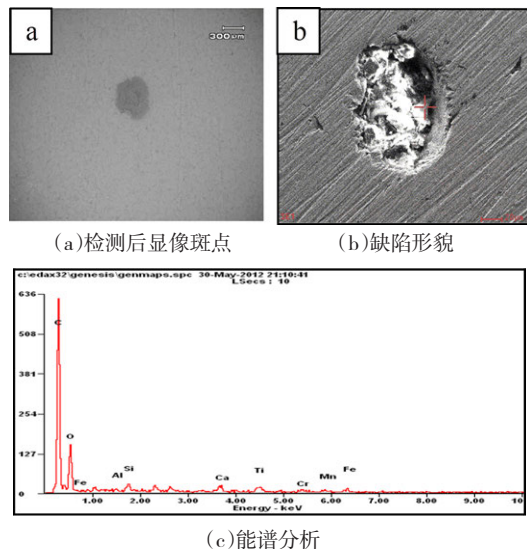


图 2 缺陷 2#显像斑点形貌及能谱分析结果

缺陷 3#如图 3 所示,从图 3(a) 中可以看出,缺陷 3#显像斑点为圆形,直径约为 0.6 mm,清理后扫描观察如图 3(b) 可以看到,该缺陷为圆形,直径接近 0.15 mm,内壁粗糙,有掉碴、起皮和钎渣迹象;对内壁表面粘连物进行能谱点分析,发现 O、Al 和 Si 三种元素含量较多,综合该处缺陷的位置(铸件内部),形貌及能谱分析结果,判定该处有杂物脱落^[4,17],该夹杂物富含 O、Al 和 Si 三种元素,大小接近 0.15 mm。

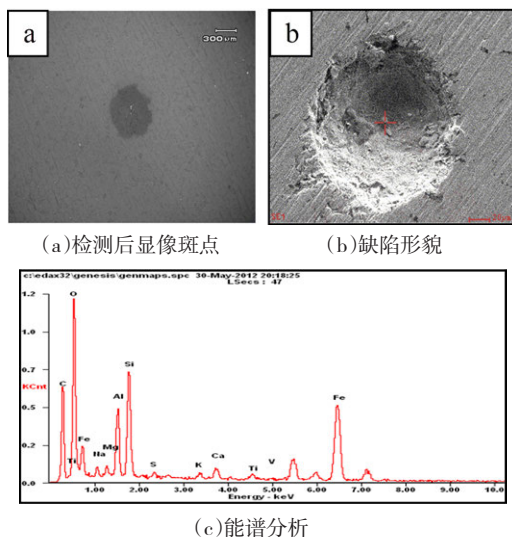


图 3 缺陷 3#显像斑点形貌及能谱分析结果

缺陷 4#如图 4 所示,从图 4(a) 中可以看出,缺陷 4#显像斑点为圆形,直径约为 1.2 mm;清理后扫描观察如图 4(b),可以看到,该缺陷形状接近圆形,直径约为 0.2 mm,缺陷表面有不规则隆起和凹陷,同时伴有掉碴和钎渣,缺陷心部嵌有块状夹杂物,直径接近 0.08 mm;对夹杂物表面进行能谱点分析,发现 Si 元素含量较多,综合分析,该处缺陷为 Si 含量较高的夹杂物,缺陷边缘部分小块夹杂很可能在清洗时脱落^[4,18-2d]。

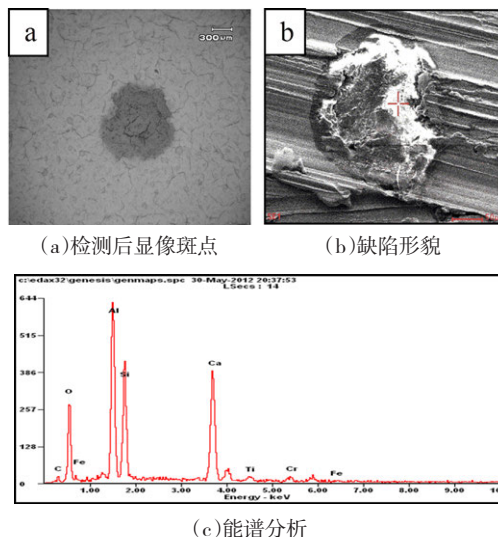


图 4 缺陷 4#显像斑点形貌及能谱分析结果

对缺陷 1#、2#、3#、4#进行综合分析, ZG04Cr13Ni4Mo 马氏体不锈钢试样加工表面在渗透检测时出现的显像斑点为夹杂物缺陷,粒度在 0.07 ~ 0.25 mm 之间,经能谱分析,夹杂物富含 O、Si、Al 和 Ca 四种元素,经推断可能是 $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 复合夹杂物,部分夹杂还含有 Cr 和 Mn 两种元素,则可能是硅酸盐内包裹 Cr、Mn 氧化物的复合夹杂物^[13,15,19-2d]。夹杂物是否由上述化合物组成仍需通过有效手段进一步分析。

3 结 论

用着色渗透检测方法,对某电机厂生产的 ZG04Cr13Ni4Mo 马氏体不锈钢半成品铸件试样的加工表面进行检测,得到独立分布的斑点显像,对斑点显像及其缺陷类型进行分析得到以下结论:

1) ZG04Cr13Ni4Mo 马氏体不锈钢试样的加工表面,在渗透检测时出现显像斑点,显像斑点尺寸在 3 ~ 4.1 mm 之间,该显像斑点对应的缺陷类型为夹杂物缺陷,缺陷尺寸在 0.07 ~ 0.2 mm 之间。

2) ZG04Cr13Ni4Mo 马氏体不锈钢试样的加工表面存在缺陷,缺陷类型为富含 Si、O、Al 和 Ca 元素的夹杂物。

参 考 文 献:

- [1] 傅洋. 磁粉、渗透检测技术的发展——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立三十周年 [J]. 无损检测, 2008(9): 561-564.
- [2] 于春和, 樊景云, 万国庆. 奥氏体耐热钢气阀涡流检测技术的研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2001, 6(6): 84-86, 91.
- [3] 张强, 江向华. 抽水蓄能电站水轮机叶轮渗透检测工艺 [J]. 无损检测, 2009(5): 402-403.
- [4] 周同磊, 潘明春. 着色渗透探伤法在焊接检测中的应用 [J]. 现代零部件, 2006(9): 97-98.
- [5] 胡学知. 渗透检验技术综述 [C] // 陕西省第九届无损检测年会陕西省机械工程学会无损检测分布论文集, 2004: 43-45.
- [6] 任学冬, 丛长林. 国内渗透检测材料分析 [J]. 航空制造技术, 2009(S1): 104-107.
- [7] 王益洲. 渗透检测操作的方法和环境对结果的影响 [J]. 广州化工, 2013, 15: 143-144.
- [8] 胡侃. 渗透检测表面处理前工件温度的变化对检测灵敏度的影响 [J]. 中国外资, 2012(2): 209.
- [9] 杨志伟. 低温环境下渗透检测灵敏度的提高 [J]. 无损检测, 2006(8): 423-430.
- [10] 王宏霞, 马正伟, 张正法. 扫描电镜在不锈钢产品缺陷分析研究中的应用 [J]. 中国重型装备, 2012(3): 49-52.
- [11] 许宏飞, 陈新力, 张永信, 等. 不锈钢制品表面缺陷的 SEM 分析 [J]. 物理测试, 2005(2): 55-59.
- [12] 谷万里, 盛文斌. 304 不锈钢精铸件点缺陷的形成与控制 [J]. 热加工工艺, 2007(1): 56-58.
- [13] 张波, 胡青松, 金龙. SUS301 不锈钢生产过程中点状缺陷和裂纹防范探究 [C] // 2007 中国钢铁年会论文集, 2007: 2.
- [14] 茅卫东. SUS304 不锈钢表面抛光缺陷原因分析及改进措施 [J]. 上海金属, 2011(2): 58-62.
- [15] 王贵平, 李保明. 304 不锈钢连铸坯表面缺陷分析 [J]. 山西冶金, 2012(5): 6-9.
- [16] 刘承志, 王贵平, 张寿禄. 奥氏体不锈钢连铸坯表面缺陷分析 [J]. 连铸, 2011(S1): 353-357.
- [17] 郑宏光, 陈伟庆, 徐芳泓. 321 不锈钢板表面缺陷的物相及形成原因 [J]. 上海金属, 2005(2): 7-10, 43.
- [18] 杨世伟, 吴锦维, 崔李萃. 奥氏体钢热浸镀铝抗高温氧化腐蚀性能的研究 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003(2): 198-200.
- [19] 范光伟, 王贵平, 李志斌. 0Cr18Ni9 不锈钢中非金属夹杂物来源 [J]. 北京科技大学学报, 2007(8): 776-780.
- [20] 李道明. 不锈钢中非金属夹杂物的危害及去除 [J]. 山西冶金, 2008(4): 24-26, 55.

(编辑: 温泽宇)