

15-5PH 不锈钢固溶处理失效浅析

王洲¹ 刘宝剑²

(1 保定向阳航空精密机械有限公司 河北 保定 071064; 2 青岛兰石重型机械设备有限公司 山东 青岛 266426)

摘要: 15-5PH 不锈钢棒材在固溶处理后, 工件表面发现裂纹, 对裂纹进行金相组织及硬度检测及分析。结果表明: 工件局部过热会引起残余奥氏体组织增加, 强度降低, 在工件内应力作用下, 工件表面承受较大的拉应力, 当超过了该区域的抗拉强度时, 工件表面产生裂纹, 并向工件内部延伸。

关键词: 15-5PH 不锈钢; 固溶; 裂纹; 残余奥氏体; 硬度

0 引言

15-5PH 不锈钢是一种低碳马氏体沉淀硬化不锈钢, 在工程中主要用于精密部件和重要承力件等重要部位, 广泛应用于航空、航天以及核电等尖端领域, 固溶处理 + 时效 (沉淀硬化处理) 为这类钢的热处理主要方式。15-5PH 不锈钢作为一种马氏体沉淀硬化不锈钢, 马氏体组织具备了高硬度、脆性大的特, 马氏体转变温度 M_s 通常在 200℃ 以下, 相变点低, 开裂倾向大。

某工程项目 15-5PH 不锈钢棒材在固溶处理后, 部分工件表面发生开裂, 通过对裂纹进行分析, 避免类似失效发生。

1 裂纹分析

此次热处理的 15-5PH 不锈钢规格为 $\phi 100\text{mm}$, 化学成分如表所示; 工件固溶热处理前已进行无损检测合格, 工件固溶热处理后工件表面发现裂纹, 工件横截面裂纹形貌如图 1 所示。

表 15-5PH 不锈钢化学成分

元素	C	Cr	Ni	Cu	Si	Mn	Mo	Nb	S
含量	0.032	14.6	4.12	3.10	0.39	0.6	0.30	0.15	0.0018

15-5PH 不锈钢工件在空气炉进行固溶热处理, 具体热处理工艺规范: 保温温度为 1040℃, 保温时间为 2h, 出炉空冷散放。

对工件裂纹观察, 发现裂纹由工件表面向工件中心部位延伸, 裂纹较深且较大, 裂纹断面呈暗白色, 未发现深褐色或发现氧皮出现, 且工件固溶热处理前已无损检测合格, 因此该裂纹不是固溶热处理前就存在的裂纹, 而是在马氏体转变温度 M_s 点以下时形成的裂

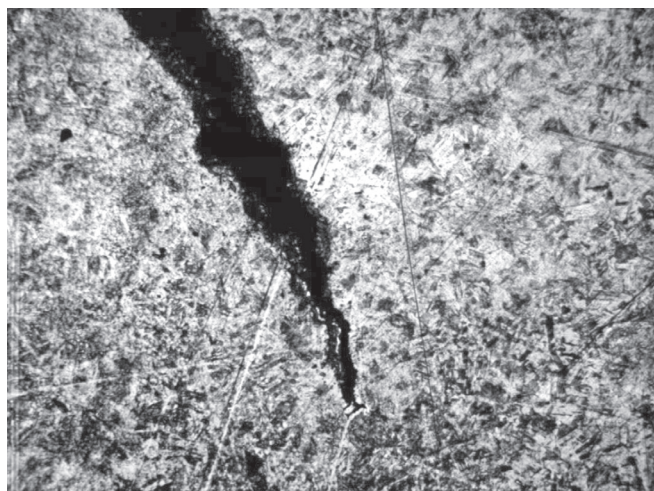


图 1 裂纹形貌

纹, 即该裂纹属于淬火裂纹。

淬火裂纹形成的条件是淬火时存在较大拉应力, 且拉应力超过了材料的抗拉强度。马氏体不锈钢在固溶热处理过程中会产生很大的内应力, 当这些应力超过钢的屈服强度时, 会引起零件的变形; 当应力更大, 超过钢的抗拉强度时, 则会造成零件的开裂而失效。15-5PH 不锈钢作为一种马氏体沉淀硬化不锈钢, 在固溶过程中, 马氏体转变速度极快, 马氏体转变时工件体积产生膨胀, 在工件内部形成很大的内应力。

对发现裂纹的工件进行金相检测, 在金相显微镜下观察如图 2 所示。工件中心部位金相组织 (图 2a) 为马氏体 + 沉淀硬化相组织, 工件表面及近表面发现该区域部分区域组织 (图 2b) 为亮白色组织, 为残余奥氏体组织, 奥氏体的硬度较马氏体硬度低很多。因此, 工件表面及近表面硬度低于工件中心部位, 材料硬度与强度成正比, 即工件表面及近表面的强度要低于工件中心强度。

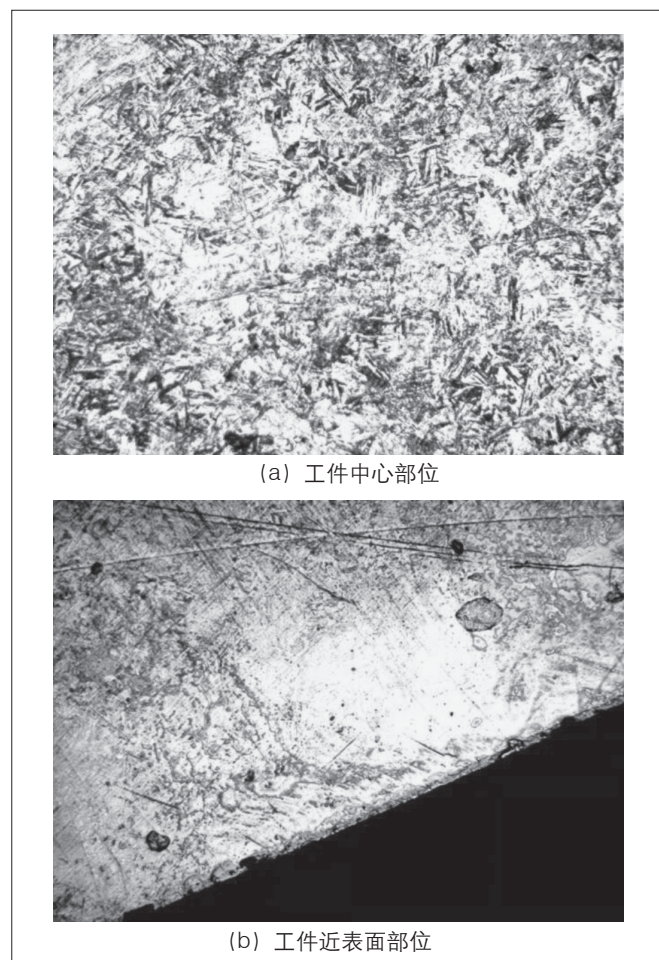


图2 金相组织

因此,对工件裂纹附近、工件近表面处和工件中心部位进行硬度检测,检测位置如图3所示。检测结果为:工件裂纹附近硬度(图3a)结果为305HV0.2,工件除裂纹处外其他近表面硬度(图3b)结果为355HV0.2,工件中心部位硬度(图3c)结果为378HV0.2。

由硬度检测结果可知,工件中心部位硬度高于工件表面及近表面硬度,说明工件中部位抗拉强度高于工件表面及近表面;工件裂纹附近区域硬度低于工件

其他部位硬度,说明工件裂纹处抗拉强度为工件最低部位。硬度检测结果与金相组织分析结果一致。

通过上述分析可知,工件表面裂纹的形成原因为工件表面局部区域残余奥氏体组织较多,导致该区域硬度低于工件其他部位,特别是远低于工件中心部位,即该区域强度远低于工件中心部位;工件在固溶过程中,马氏体转变速度极快,工件体积产生膨胀,在工件内部形成很大的内应力,工件表面承受较大的拉应力,拉应力超过了该区域的抗拉强度,从而导致工件表面产生裂纹,并向工件内部延伸。

15-5PH 不锈钢在固溶过程中,温度过高会导致较多的合金元素熔入到奥氏体组织中,增强了奥氏体组织的稳定性,同时温度过高会引起 δ -铁素体增多,马氏体转变温度 M_s 降低,固溶冷却至室温时,奥氏体不能完全转变为马氏体而残留在基体组织中,形成大量的残余奥氏体,这种残余奥氏体的分布和尺寸不均匀,导致工件力学性能不均匀,降低了工件的局部强度。

张书雄、曹慧等人的研究表明,当固溶温度超过1100℃时,马氏体转变温度 M_s 降低,残余奥氏体显著增加。因此,15-5PH 马氏体沉淀硬化不锈钢工件在固溶过程中,工件局部过热会引起局部残余奥氏体组织增加,强度降低,在工件内应力作用下,工件表面承受较大拉应力,当超过了该区域的抗拉强度,导致工件表面产生裂纹。

2 结语

15-5PH 马氏体沉淀硬化不锈钢工件在固溶过程中,需避免过热而产生淬火裂纹,因此在热处理工程中要采取避免工件过热的措施,主要措施包括:选择合适的加热温度和加热方法,保证加热温度充分且均匀,工件应远离炉内加热体,以免引起局部过热;对测温设备要定期检查校对,保证仪表控温准确;热处理过程中实时观

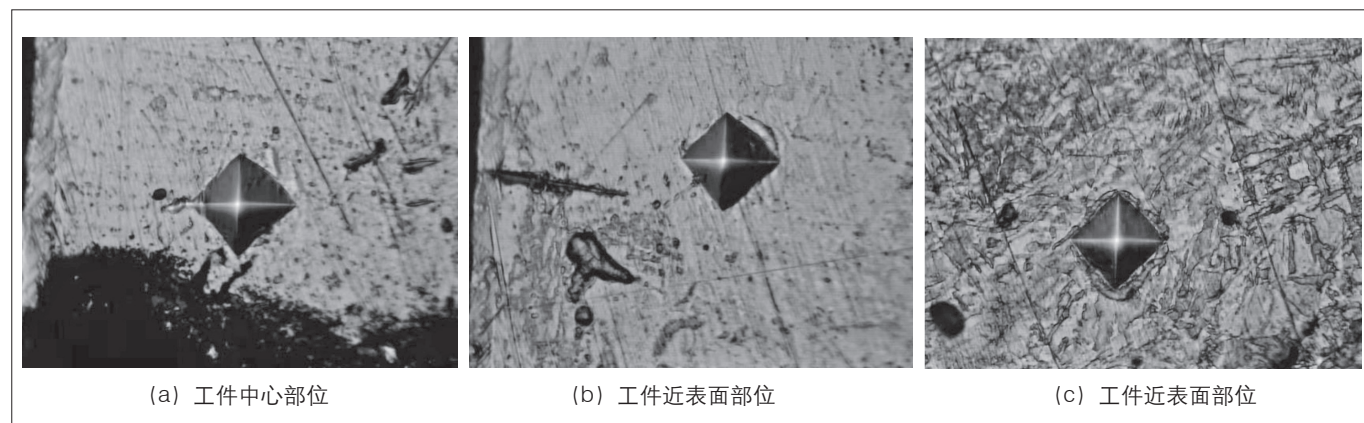


图3 硬度检测位置图

察炉温的变化,如发现炉温异常应及时解决。除此之外,工件热处理前应进行裂纹等缺陷检查,避免热处理过程中引起工件失效。

参考文献:

- [1] 管真,孙永庆,李莉,等.15-5PH 不锈钢的氢脆敏感性[J].金属热处理,2019,44(12):226-232.
- [2] 高晓婷,任卫斌.15-5PH 马氏体沉淀硬化不锈钢的最佳固溶保温时间[J].金属热处理,2013,38(02):119-123.
- [3] 李树梁,周贤良,华小珍,等.15-5PH 不锈钢时效时间对组织和力学性能的影响[J].失效分析与预防,2013,8(06):331-336+355.
- [4] 彭新元,周贤良,华小珍.15-5PH 不锈钢的时效硬化行为及耐蚀性能[J].中国有色金属学报,2017,27(05):988-996.
- [5] 余强,范云鹰,刘振宝,等.时效处理对 15-

5PH 沉淀硬化不锈钢组织及性能的影响[J].金属热处理,2013,38(09):16-21.

[6] 张秀丽,陈明昕,刘振宝,等.热处理工艺对 15-5PH 沉淀硬化不锈钢的力学性能与耐蚀性的影响[J].钢铁,2014,49(08):70-75.

[7] 张书雄.热处理对 15-5PH 不锈钢组织与性能的影响[D].镇江:江苏科技大学,2012.

[8] 黄鑫.15-5PH 马氏体沉淀硬化不锈钢高温抗氧化行为的研究[D].扬州:扬州大学,2013.

[9] 史利三.17-4PH 马氏体沉淀硬化不锈钢锻造开裂问题的解决措施[J].价值工程,2015,34(19):148-149.

[10] 曹慧,郭玉利,张发.热处理工艺对 15-5PH 沉淀硬化不锈钢组织性能研究[J].内蒙古科技与经济,2017(18):74-75.

作者简介:王洲(1989.10-),男,汉族,河北保定人,本科,工程师,研究方向:理化分析及无损检测等。

(上接第 75 页)

5 结语

综上所述,按单列车 28 个高清摄像头每天存储工作 18h,采用 Wi-Fi 6 方案组网,按最低传输速度 1.1Gbps (约 59min 完成上传)计算,可满足列车回库后视频回传需求。随着 WIFI 技术的发展及芯片处理能力的不断提升,未来 Wi-Fi 6 方案传输速度将不断提升,传输时间将进一步降低。

参考文献:

- [1] 谢益民,魏骏,曹顺良.城市轨道交通 Wi-Fi 网络建设探究[J].计算机应用与软件,2015,32(7):129-

132.

[2] 田伟.WLAN 技术在地铁通信领域中的应用研究[J].科技信息,2014(10):155-156.

[3] 凌毓.WIFI6 技术解读及其对 5G 发展的影响分析[J].信息通信,2020(2):268-269.

[4] 郑磊.WiFi6 与 5G 技术的性能对比与应用分析[J].科技创新导报,2019,16(16):144-151.

[5] 黄宇,李雨汝.WiFi 6 技术现状综述[J].中国无线电,2021(5):90-91.

作者简介:康有余(1987.01-),男,汉族,四川岳池人,本科,中级职称,研究方向:轨道交通设备。