

# 应力对 20 号冷轧钢试件磁性特征的影响

任尚坤, 林天华, 杨雅玲, 任吉林

(南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063)

**摘要:**测量了 20 号冷轧钢在不同拉应力作用后, 试件端点表面磁感应强度随拉应力的变化关系曲线, 并对端点表面剩余磁感应强度和矫顽力随拉应力的关系进行了分析。当外作用拉应力小于试件的拉伸屈服点应力时, 残余应力对端点表面剩余磁感应强度和矫顽力的影响很小; 当外拉应力大于试件的屈服点应力时, 端点表面剩余磁感应强度和矫顽力将急剧增加发生跃变。以此可以利用端点表面剩余磁感应强度和矫顽力在屈服点发生突变的性质对材料所受的应力状况进行探测, 能够对试件负载是否已超出屈服点作出有效判断, 为磁性检测方法的研究提供了新的思路。

**关键词:**无损检测; 应力集中; 磁学特征; 铁磁试件; 冷轧钢

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)03-0171-03

## Effects of Stress on Magnetic Characteristics for 20 Cold Rolled Steel Component

REN Shang-Kun, LIN Tian-Hua, YANG Ya-Ling, REN Ji-Lin

(Key Laboratory of Nondestructive Test (Ministry of Education), Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** The relationships of magnetization of end surface with different stresses of 20 cold rolled steel items were measured and residual magnetization of end surface and coercive force with different stresses were analyzed. It was indicated that when stresses were smaller than bend point of materials, residual magnetization of end surface and coercive force of materials produced by the fatigues and residual stresses for different stresses almost remained constant. However, when stresses were greater than bend point of the materials, residual magnetization of end surface and coercive force increased sharply. It showed that the properties of mutation for residual magnetization of end surface and coercive force could be used to detect stress concentration and load condition, providing a new research thought for magnetic nondestructive testing method.

**Keywords:** Nondestructive testing; Stress concentration; Magnetic characteristic; Ferromagnetic items; Cold rolled steel

20 号冷轧钢属于碳素结构钢, 由于其生产工艺简单、价格低廉、工艺性能良好, 在机械制造业中得到广泛的应用。在使用过程中, 由于试件承受各种载荷的作用, 其内部形成应力集中, 易产生位错和滑移变形, 诱发裂纹, 导致蠕变、疲劳和腐蚀的加速, 从而导致金属构件或机械设备失效甚至发生重大事

故。因此, 尽早发现机械承力构件的应力集中区域和损伤区域, 对于早期预防构件的断裂故障和防止重大恶性事故的发生具有重要意义。

目前许多传统的磁性无损检测方法(如漏磁检测法、磁记忆检测法和扰动磁场检测法<sup>[1-4]</sup>)等和新近研究的新方法(如磁-光法拉第效应检测法<sup>[5]</sup>、巨磁电阻效应点阵技术测量法<sup>[6]</sup>等)都与铁磁试件的磁性特征有关。但目前对应力作用的磁性特征还存在许多问题, 需要深入地研究和探索。

笔者主要研究与铁磁试件的剩余磁化强度和矫顽力等相关的磁学特征量随应力集中和疲劳状态的变化关系, 探索利用磁学特征量的变化规律进行无

收稿日期: 2006-12-26

**基金项目:**航空科学基金资助项目(06ZF56009); 无损检测技术教育部重点实验室基金资助项目(ZD200629001); 南昌航院科研基金资助项目(EA200508146)

**作者简介:**任尚坤(1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事磁性材料和电磁检测方面的研究工作。

损检测的可行性。

## 1 试验设计

材料的拉伸试验使用 WDW-E100D 型电子程控试验机,磁性特征量测量使用日本 NF 公司生产的双极性直流电源和美国 LakeShore 公司生产的磁场测量系统。测量方法是:在室温下把等速率拉伸处理后的 20 号冷轧钢试件放入通电螺线管中,由通电流控制磁场的大小,在试件端点测量试件磁化所产生的漏磁场(端点表面磁场)。漏磁场的变化规律即能反映试件由于应力作用产生的磁化强度的变化规律。不同应力作用后的试件,在高达 40 kA/m 磁场磁化后,撤去外磁场,端点漏磁场的大小反映了不同应力作用后试件剩余磁化强度的变化关系,剩余磁化强度越大表面漏磁场也越大。将剩余磁化强度对应的端点漏磁场表述为端点表面剩余磁感应强度,即当外磁场为零时,由剩余磁化强度所产生的端点表面磁感应强度;试件端点的漏磁场为零时,根据磁感应强度在界面法向方向的连续性,对应试件内部的磁感应强度也为零,此时的外磁场强度称之为试件的矫顽力  $H_c$ 。

图 1 为 20 号冷轧钢试件结构外形图,为了便于测量,增加测量数据的稳定性,试件两端加工成平顶锥形,在不同的拉应力作用下测定试件端点处磁感应强度  $B$  随应力的变化关系。

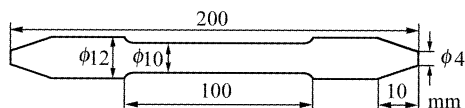


图 1 试件结构外形图

## 2 试验结果与讨论

图 2 是 20 号冷轧钢试件的拉应力随位移的变化关系曲线。图 2 可见,该试件的屈服点在 526 MPa 处,最大抗拉应力为 619 MPa。526 MPa 是个重要的临界点,一些重要的磁学物理量都在此发生跃变。

图 3 是试件在 535 MPa 应力作用后,卸载后在最大磁场 40 kA/m 作用下,测得的端点表面磁感应强度随外磁场的关系曲线。图 3 可见,20 号冷轧钢属于软磁材料,矫顽力和端点表面剩余磁感应强度都很小。

图 4 是在不同拉应力作用下试件端点表面磁感应强度随外磁场关系曲线的低磁场磁化部分,最大

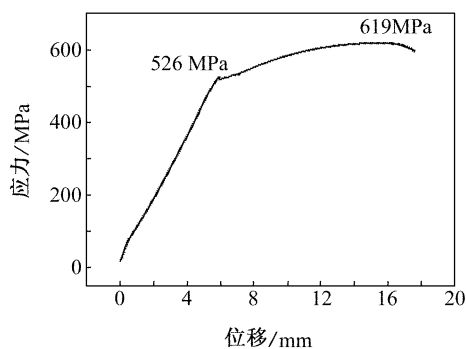


图 2 拉应力随拉伸位移的变化关系

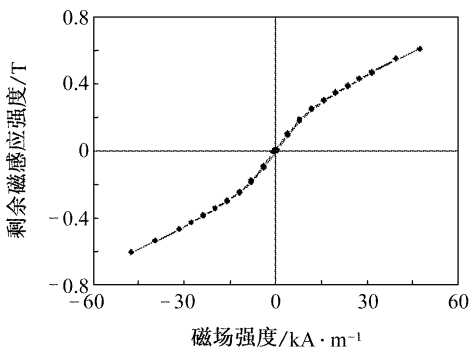


图 3 端点表面磁感应强度随外磁场的变化关系

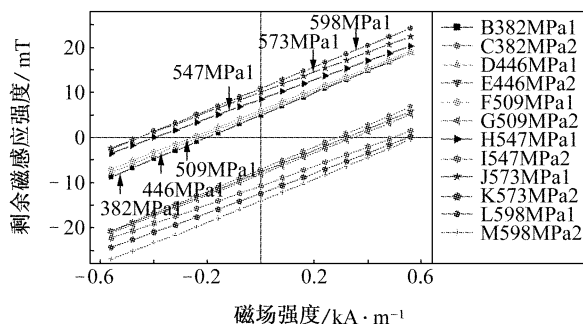
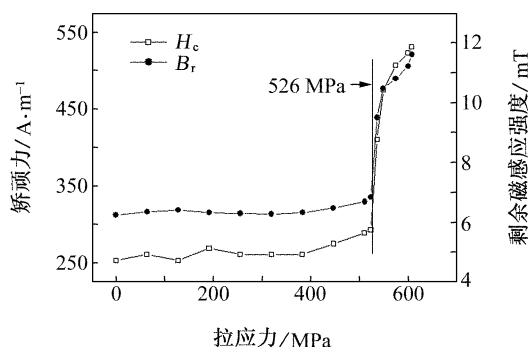


图 4 端点表面磁感应强度随外磁场的变化关系的低磁场部分

外磁场为 40 kA/m,以此可分析端点表面剩余磁感应强度与矫顽力随外磁场的变化规律。所有曲线分为 1 和 2 两部分,1 表示回线的上支部分,2 表示回线的下支部分,如黑方框图标连线对应的 B382 MPa1 表示 382 MPa 拉应力作用后,试件端点表面磁感应强度随外磁场关系曲线的上支部分。当外拉力  $< 382$  MPa 时,端点表面磁感应强度随外磁场变化的关系曲线的低磁场磁化部分基本重合。随着外拉力的进一步增加,试件内部残余应力引起的端点表面剩余磁感应强度和矫顽力逐渐增加。当外拉力为 509~547 MPa 时,正处于屈服点附近,端点表面剩余磁感应强度和矫顽力发生明显跃变。

图 5 是 20 号冷轧钢试件在不同拉应力作用后,各残余应力对应的矫顽力  $H_c$  和端点表面剩余磁感

图5 不同拉应力作用后的  $H_c$  和  $B_r$ 

应强度  $B_r$ 。图 5 可见,当外作用应力小于屈服点 526 MPa 时,试件卸载后的矫顽力  $H_c$  和端点表面剩余磁感应强度  $B_r$  近似保持恒定。当外作用应力处于 526 MPa 附近时,试件卸载之后的矫顽力  $H_c$  和端点表面剩余磁感应强度  $B_r$  发生突变。以此可以利用端点表面剩余磁感应强度和矫顽力在屈服点附近发生突变的性质对试件所受的应力集中程度进行检测,能对试件的负载是否已超出屈服点的状况进行有效判断。

由磁性理论可知,矫顽力和端点表面剩余磁感应强度的大小表征了材料被磁化的难易程度,主要来源于不可逆的磁化过程。这种不可逆的磁化过程主要与磁晶各向异性、磁应力各向异性、材料内部包含的杂质、气孔、应力和其它微观缺陷等因素有关。从试验可以发现,当作用应力小于屈服点时,磁晶各向异性、磁应力各向异性和材料内部的微观缺陷损伤等没有大的变化,但当作用应力大于屈服点时将发生明显的变化,导致试件卸载之后的矫顽力  $H_c$  和端点表面剩余磁感应强度  $B_r$  发生突变。

### 3 结论

从试验结果可以看出,对 20 号冷轧钢材料来说,当拉应力小于屈服点时,端点表面剩余磁感应强度和矫顽力在不同的拉应力作用下几乎不变;当拉

应力达到屈服点附近时,端点表面剩余磁感应强度和矫顽力则发生突变。可以利用此性质对材料的应力集中进行检测,对试件的负载是否已超出屈服点的状况进行判断,为磁性检测方法的研究提供了新的思路。同时,由试验结果发现当作用应力小于屈服点时,磁晶各向异性、磁应力各向异性和材料内部的微观缺陷损伤等几乎没有变化;当作用应力大于屈服点时将发生明显的变化,导致试件卸载之后的矫顽力  $H_c$  和端点表面剩余磁感应强度  $B_r$  发生突变,为应力作用机理的进一步探索提供了借鉴。

### 参考文献:

- [1] Smith M, Sutherby R. The detection of pipeline SCC flaws using the ACFM technique[J]. Insight, Non Destructive Testing and Condition Monitoring, 2005, 47(12):765—768.
- [2] Salemi, AH. Thin-skin analysis technique for interaction of arbitrary-shape inducer field with long cracks in ferromagnetic metals[J]. Insight, NDT and E International, 2004, 37(6):471—479.
- [3] Knight MJ, Brennan FP, Dover WD. Effect of residual stress on ACFM crack measurements in drill collar threaded connections[J]. NDT & E International, 2004, 37(5):337—343.
- [4] Low C K, Wong B S. Defect evaluation using the alternating current field measurement technique[J]. Insight, Non Destructive Testing and Condition Monitoring, 2004, 46(10):598—605.
- [5] Cheng Y H, Zhou Z F. Application of magneto-optic faraday effect in NDT[J]. Insight: Non Destructive Testing and Condition Monitoring, 2006, 48(5):290—292.
- [6] Butin L, Waché G, Perez L, et al. New NDT perspective with magneto—resistance array technologies from research to industrial applications[J]. Insight: Non Destructive Testing and Condition Monitoring, 2005, 47(5):280—284.



(上接第 167 页)

以及双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透;JB/T 4730.2 规定Ⅲ级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合和未焊透。② 未焊透评级方面,GB/T 3323 有规定而 JB/T 4730.2 无。③ 根部内凹和根部咬边评级方面,GB/T 3323 有规定 JB/T 4730.2 无。④ 综合评级方面,GB/T 3323 规定在圆形缺陷评定

区内,同时存在圆形缺陷和条形缺陷(或未焊透、根部内凹和根部咬边)时,应各自评级,将级别之和减 1 作为最终级别;JB/T 4730.2 规定在圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺陷和条形缺陷时,应进行综合评级。综合评级时对圆形缺陷和条形缺陷分别评定级别,将两者级别之和减 1 作为综合评级的质量级别。(全文完)