

# 铁磁性材料表面残余应力巴克豪森效应的评价

王树志,任学冬,乔海燕,葛子亮

(北京航空材料研究院检测研究中心,北京 100095)

**摘要:**利用巴克豪森效应对超高强度钢表面残余应力进行测量。通过悬臂梁应力加载试验确定应力与巴克豪森信号值之间关系并得到标定曲线,再通过标定曲线半定量化推算出残余应力值,并与 X 射线应力分析仪测得的应力值进行比对。试验发现巴克豪森法能做到无损快速地测量零件表面及亚表面残余应力,测量深度大,能够评价零件机械加工表层下基体残余应力状况。

**关键词:**残余应力;巴克豪森效应;悬臂梁;X 射线;标定曲线

中图分类号:TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2013)06-0026-03

## Barkhausen Evaluation about Surface Residual Stress of Ferromagnetism Material

WANG Shu-Zhi, REN Xue-Dong, QIAO Hai-Yan, GE Zi-Liang

(The Testing and Graduate Center of Beijing Institute Aeronautical of Materials, Beijing 100095, China)

**Abstract:** It is study of residual stress measuring to super-strength steel by the method of Barkhausen Noise. Get the demarcate curve from the relation about Barkhausen Noise and stress by the Cantilever stress loading experimentation, then half-rationing calculated the residual stress value by Demarcate curve. And the value measured will be contrasted to the values by the X-ray method. It is found that the residual stress on parts surface or in can be measured deep by Brakhausen method, and can evaluate the residual stress to the machined parts.

**Keywords:** Residual stress; Barkhausen effect; Cantilever; X-ray; Demarcate curve

机械加工零件表面和次表面显微组织及应力状态变化对零件的使用寿命极其重要,因此对零件各部位残余应力状况的测试评价显得尤为重要。目前的一些残余应力检测方法如涡流、X 射线衍射等,但由于灵敏度、可操作性、可靠性及人为等因素,使它们的应用均存在一定的局限性。1919 年德国科学家 H. Barkhausen 博士发现铁磁体内可诱发出可测噪声信号,随后于 20 世纪逐渐开发成一种新型无损检测技术,即巴克豪森噪声(Barkhausen Noise 以下简称 BN)技术。近几年在国外发达国家已广泛应用于汽车、航空航天和冶金机械设备等制造业的在线检测<sup>[1-2]</sup>。其精确度、灵敏度和可靠性均比传统的无损探伤方法优越。

通过悬臂梁试验,测量 Aermet100 超高强度钢

试样某一点的 BN 值和不同应力值之间的关系得出标定曲线。然后挑选一些变形和表面烧伤斑的试样作为残余应力试样,利用巴克豪森设备对试样上不同位置的各点进行测量,所得数据经过标定曲线插值得出相应的残余应力值。再利用 X 射线应力分析仪对以上各点进行测量,所得数据和 BN 值进行对比。

## 1 应力加载试验

### 1.1 试样制作

选择最终热处理状态 Aermet100 钢作为研究对象,Aermet100 钢是 Co-Ni 二次硬化超高强度钢,具有较高的断裂韧性和强度<sup>[3]</sup>。沿钢锭的轧制方向取样,加工成悬臂梁试样,而后进行 200 °C × 8 h 回火空冷处理,以消除机械加工产生的残余应力,最后进行人工抛光以除去表面氧化层和脱碳层。

如图 1,采用悬臂梁加载方式进行试验,试样上下表面分别产生均匀的拉压应力,将探头置于试样

收稿日期:2012-09-02

作者简介:王树志(1980—),男,工程师,硕士研究生,主要从事磁粉和渗透检测方面的研究。

上表面测量拉应力,置于下表面则测量压应力。探头方向分为磁化方向平行于应力方向和磁化方向垂直于应力方向。从5 kg到50 kg逐级加载,产生的最大表面应力为600 MPa。使用Stress Oy公司生产的Stresscan 500C型应力测试仪测量表面应力,仪器磁化增益(MAGN)值设定为100,测量深度d设定为0.02 mm。记录各个不同加载重量后应力值和BN值。



图1 悬臂梁应力加载试验

## 1.2 BN信号与应力相关性研究

将在上述磁化增益为100及测量深度为0.02 mm的条件下,测得的应力值和BN值按照不同磁化方向分别拟合成曲线图作为应力的标定曲线,如图2所示,其中“//”表示磁化方向平行于应力方向,“⊥”表示磁化方向垂直于应力方向。由图可知,当磁化方向平行于应力方向时,BN值随着拉应力的增加而增大,随着压应力的增加而减小;当磁化方向垂直于应力方向时,BN值随着拉应力增加而减小,随着压应力的增加而增加,但增加幅度不明显,超过300 MPa时BN值趋于饱和。

由图2可知,磁化方向平行于应力方向时的曲线分辨率较好,灵敏度高,可以作为应力测量的标定曲线。在检测零件表面某一方向残余应力时,可将探头磁化两极平行于应力方向,此时测量的数值最为准确。

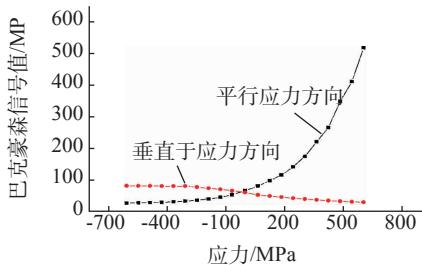


图2 磁化增益为100,测量深度0.02 mm条件下不同磁化方向的巴克豪森应力标定曲线

## 2 残余应力测量

### 2.1 残余应力人工试样制作

由于BN信号受残余应力和微观组织等因素的

影响较大,要准确测量残余应力就应该保证试样除残余应力以外其它各因素尽量相同。因此要求人工试样必须同测量标定曲线的试样具有相同的状态,即相同的热处理状态和加工工艺,这样测得的应力大小数据才能更加可靠准确。

试样材料选择同1.1节一样,不同的是前者试样长度较长和厚度较厚,试样不容易变形。而本节试样由于厚度更小和长度更长而变形使表面产生更大的残余应力。

### 2.2 试样残余应力的测量

在试样上面均匀选择10个点,利用BN法测量所选各点X轴方向、Y轴方向的BN信号值。利用标定曲线插值法推算出各点对应的应力值。再利用X射线应力分析仪测量各点的表面应力和电解抛光后(抛光厚度10 μm)的应力值,测得数据同BN法所测应力值进行比对,见图3(a)和图3(b)所示分别为X,Y方向应力值对比条形图。

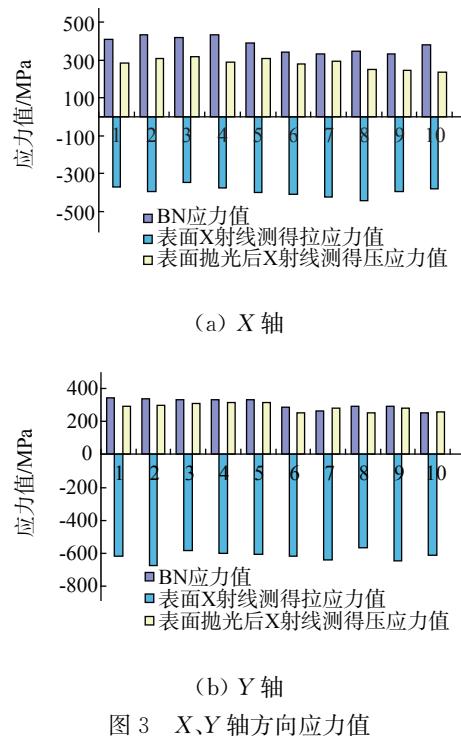


图3 X,Y轴方向应力值

## 3 试验分析

由应力加载试验及图2中标定曲线可以看出,磁化方向与应力方向不同时,巴克豪森信号与应力值的关系是不同的。当磁化方向平行于应力方向时,BN值随着拉应力的增加而增加,随着压应力的增加而减小,说明BN值同应力间的相关性较好。而当磁化方向与应力方向垂直时,BN信号和应力

之间这种相关性就不是很明显了。这也说明了磁化材料时,在磁化方向的磁畴的移动受到应力的影响<sup>[4-5]</sup>。

由应力测量的试验情况可以看出,试样抛光前后应力状况相差巨大。利用X射线法测量试样表面的应力值为压应力,BN法测量的应力值则是拉应力,而对试样表面电解抛光后再利用X射线法测量应力值则为拉应力,且数值大小和BN所测值相近。说明试样表面有薄薄一层表面压应力,X射线法测得的应力值正是这层压应力。而表面打磨压应力对MBN信号的影响并不大,MBN法测得应力值为试样基体的应力,即试样表面一定深度范围内应力状况综合体现。可看出BN应力测量的深度大于X射线法,BN方法能够全面评价零件表层的应力情况,而X射线法只局限于表面,且对经过机械加工特别是磨削后的零件的应力状况分析是不可靠的。

## 4 结论

通过试验确立了不同磁化方向下应力与BN值间的关系,绘制了可进行插值标定的曲线,并进行了两种方法的应力测量。得出两点结论如下:

(1) 当磁化方向与应力方向平行时,BN信号值随着拉应力的增加而增加,随着压应力的增加而减小。当磁化方向垂直于应力方向时,BN信号值随着拉应力增加而减小,随着压应力增加而增加,但增加幅度不大。

(上接第13页)

钎焊型铜铝过渡线夹结合面的粘合率。若线夹钎缝结合面的粘合率未达到75%,即可判断产品不合格。需要提出的是,未粘合区和焊接完好区的回波信号区分明显,选择的检测探头晶片尺寸很小,易于围出未粘合区,大大降低了未粘合区面积的手动测量误差,并不影响结果判定。经试验证实,采用此方法检测铜铝过渡线夹钎焊结合面,结果准确有效。

另外,通过对钎焊型铜铝过渡线夹结合面的超声检测回波信号进行分析,实际检测过程中建议从铜侧表面进行检测,界面回波呈林状,信号易于识别,便于区分测量焊接完好区和未粘合区,能大大提高检测效率。

## 4 结论

通过对钎焊结合面的超声波检测进行模拟仿真

(2) BN法可测量零件表面和内部一定深度范围内的应力值,能够综合评价零件应力集中情况,而X射线法只能测量表面残余应力情况,测量深度较小。因此BN法可对零件的制造过程中产生的残余应力集中情况进行评价,操作方便快捷,而且其测量的深度和抗干扰能力也均较X射线应力分析法具有优势。

### 参考文献:

- [1] AUGUSTYNIAK, MACIAKOWSKI B, PIOTROWSKI P, et al. Assessment with mechanical barkhausen effect of residual stress in grain oriented polycrystalline 3% Si-Fe sheet[J]. Magnetics, IEEE Transactions on, 2012, 48(4): 1405—1408.
- [2] 尹何迟, 颜焕元, 陈立功, 等. 磁巴克豪森效应在残余应力无损检测中的研究现状及发展方向[J]. 无损检测, 2008, 30(1): 34—36.
- [3] 秦锋英, 张建国, 王泓, 等. 高Co-Ni超高强度钢残余应力的巴克豪森信号表征[J]. 金属热处理, 2008(6): 77—79.
- [4] 朱克兵, 王泓, 张越. 巴克豪森信号与300M钢表层应力的响应特性[J]. 无损检测, 2006, 28(5): 252—255.
- [5] STEFANITA C G, CLAPHAM L, ATHERTON D L. Subtle changes in magnetic Barkhausen noise before the macroscopic elastic limit[J]. Journal of Materials Science, 2000, 35(11): 2675—2681.

和试验研究,提出了一种钎焊型铜铝过渡线夹结合面的超声波检测技术,此方法可以有效地检测计算线夹钎焊结合面的粘合率,并以此判断产品是否合格。经试验及现场检测证实,该技术检测结果准确可靠,检测效率较高,适用于现场检测,可以在以后的电网金属监督工作中得以推广应用。

### 参考文献:

- [1] 常谦, 张亮亮, 潘希德, 等. JTUIS-IV型钎焊电触头超声检测系统[J]. 无损检测, 2008, 30(9): 646—648.
- [2] 王传杰, 曹宗杰, 王裕文. 电触头钎焊质量超声成像无损检测研究与评价[J]. 低压电器, 2006(10): 51—53.
- [3] 闫飞, 徐道荣. 铜铝异种金属钎焊问题及其对策[J]. 电焊机, 2009, 39(7): 62—65.
- [4] 单洪彬, 李明, 陈怀东, 等. 国外超声检测仿真软件的研究进展[J]. 无损检测, 2008, 30(7): 446—450.