

金属超声检测中纵波声速受金相组织的影响

荣治明

(大连海洋大学 辽宁大连 116300)

摘要: 根据优质碳素结构钢与 GCr15 轴承钢整体热处理后的纵波探测结果, 反映出力学性能与组织状态不同条件下材料声速的差异性, 分析远场区声速中心轴线上声压分布规律, 有益于更好地提高对碳钢及轴承锻件探伤的灵敏度, 降低机加工与热处理造成的工件缺陷的探伤偏析。

关键词: 布氏硬度; 晶粒度; 缺陷波; 声场

1 前言

超声检测是无损检测领域中应用和研究最活跃的方法之一。前期, 用棱边波法、表面波法和临界角反射法检测材料的机械性能和表层组织深度^[1], 用超声波衍射和聚焦探头法对缺陷定量研究, 例如, 用声速测定法评估灰铸铁的强度、石墨含量, 用多频探头法检测奥氏体不锈钢的焊缝质量, 用管波模式检测标准管材的质量, 伴随超声显像法和超声频谱分析法的应用和研究进展, 噪声信号超声检测、超高频超声检测、宽频窄脉冲超声检测法, 以及新型声源的研究、喷水超声 C 扫描技术、相控阵超声技术、空气耦合超声技术等, 已开展了广泛的研究和应用; 近期, 非接触超声换能方法和超声导波技术, 信号处理和接受模式识别已成为现阶段研究重点, 以期在阵列超声三维透视成像检测, 金属材料早期损伤的超声检测^[2], 电磁超声非接触快速检测技术上有所突破。

压电晶片所发射的超声场大部分能量集中在主瓣内^[3], 靠近声源(压电晶片)的区域声压分布不规则, 在远离声源一定距离后, 声压有规律地随距离增大而下降。有限平面声源探头发射的超声波, 声压沿声束中心轴线随距离由近至远而逐渐降低。

声束中心轴线上声压分布规律为在检测中, 声束单向通过的距离(即声程)大于近场长度:

$$p=2p_0 \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} \sqrt{S^2 + \frac{D^2}{4}} - S \right]$$

式中 p — 声场中某处的声压, Pa;

p_0 — 压电晶片发射的声压, Pa;

λ — 波长, mm;

π — 圆周率;

D — 压电晶片直径, mm;

S — 计算声压处距压电晶片的距离, mm。

2 金相组织对超声波传播声速影响

超声检测时, 声波在介质中传播, 其能量随着距离增加逐渐衰减, 归结引起超声波衰减的主要原因有: 波束扩散、晶粒散射、介质吸收和位错、磁畴壁、残余应力引起的衰减等, 散射衰减与金属

的晶粒密切相关^[4], 对于晶粒尺寸符合单一对数正态分布的样品, 可用 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》等效用 ASTM E112 标准) 测定其平均晶粒度, 对细晶材料, 超声波可以轻松穿透几十毫米直至几米厚度的检件, 而在对粗晶材料的检测中, 超声波衰减严重, 即使 40~50 毫米厚的试件也很难用超声波进行检查。

3 实测数据对比

以优质碳素结构钢开展实际测量研究, 开展针对性的试件超声声速检测, 首先在锯床上截取优质碳素结构钢原料 8 段, 比较 45 钢经退火、正火、淬火、回火后机械性质的不同和组织的差异, 硬度对比以布氏、洛氏两项指标为主。

完全退火的目的是消除锻造应力, 降低钢的硬度, 使易于切削加工, 因此它只适用于亚共析钢, 45 号钢完全退火试样在布氏硬度计上测量数据, 方法为: 试验力设定在 3000kg, 压头直径 10mm, 时间设定在 15 秒, 转动手轮, 当试件接触压头的同时试验力开始显示, 实验力接近自动加荷值时, 必须缓慢上升, 仪器发出“啾”响声, 应停止转动手轮, 加荷指示灯亮, 试验力自动加载, 运行到达所选定的试验力时, 保荷开始, 保荷指示灯亮, 并进入倒计时, 待保荷时间结束, 自动卸荷, 完成测试。测量显微镜下观测图像, 旋转调节旋钮使左右刻线切于压痕边缘, 读取两次算术平均值, 主机自动计算出 HB 硬度值。正火是最经济最简单的热处理, 可细化晶粒, 均匀组织, 超声波检测一些晶粒粗大的锻件, 会在锻件内部出现声能衰减, 可通过正火工艺处理, 使情况得以改善。

在脉冲反射法超声检测中, 回波信号最基本的显示方式是 A 扫描波形显示, 其中, A 扫描波形的横坐

标表示缺陷波的时延, 纵坐标代表反射波的幅度^[5]。若超声波在被测材料中的传播速度已知, 则由传播速度和缺陷波的时延即可求出缺陷波的声程, 通过一定的数学运算即可求出缺陷在被测工件中的具体位置, 即缺陷所在位置是缺陷波声程的一半, 这是缺陷定位的依据。

使用 2.5MHz 直探头以同步法方式进行测试, 对碳素结构钢在不同工艺处理后的四种状态进行声速对比, 如列表 1 所示。

表 1 整体热处理试样的声速对比

热处理工艺	测试样本	尺寸 (mm)	硬度(1-4HBW) (5-8HRC)	压痕直径(mm)	声速 (m/s)		
					一	二	三
退火 (840℃)	1	34.69	161.06	4.723	5991	5994	5959
	2	34.95	160.69	4.729	5974	5950	5953
正火 (840℃)	3	35.18	185.58	4.418	5929	5923	5921
	4	34.85	178.55	4.493	5978	6012	5956
淬火 10%NaCl 水溶液	5	35.24	59.5	—	5855	5857	5827
	6	34.87	60.5	—	5932	5944	5928
回火 (600℃)	7	34.90	28.5	—	5959	5958	5957
	8	34.96	30.0	—	5962	5960	5963

在图形上描点, 45 号钢最初热处理完全退火与正火试样的纵波声速对比如图 1 所示, 45 号钢完全退火与正火组织均为铁素体+珠光体, 不同的是正火冷却速度较完全退火速度快些, 可以起到细化晶粒的目的, 从图中可以看出两种工艺处理后的纵波声速对比, 曲线有交叉, 且声速值较接近。图 2 所示为 45 号钢最终热处理淬火与淬火+高温回火后试样的纵波声速对比, 可以看出淬火后试样的声速在整体热处理中是偏低的, 判定超声检测中纵波声速在马氏体中传播速度低于铁素体+珠光体。

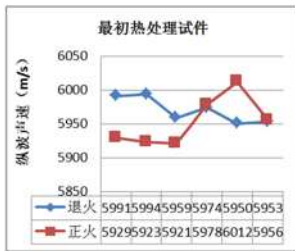


图 1

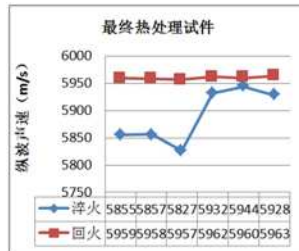


图 2

GCr15 轴承钢圆柱滚子出厂前性能的测试, 硬度对比以洛氏、里氏两项指标为主, 对 GCr15 轴承钢圆柱滚子试样测试设备如图 3

表 2 GCr15 轴承钢圆柱滚子试样的硬度与声速值

样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
高度 (mm)	39.99	40	39.98	39.98	39.99	39.99	40	39.99	39.98
里氏硬度 (HL)	755	744	743	746	748	743	741	742	745
声速 (m/s)	5822	5826	5825	5824	5816	5820	5813	5812	5815



图 3



图 4

参考文献:

[1] 靳世久, 杨晓霞, 陈世利, 黄玉秋, 郭薇. 超声相控阵检测技术的发展及应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(09):925-934.

所示, 图中展示为部分试件和里氏硬度计及其打印机, 表 2 列出了现场测量数据。里氏硬度测试, 通过加载弹簧的弹力将顶端冲击体快速推向试件表面, 碳化钨球头撞击试件并回弹, 在距试件 1mm 的地方, 冲击体的冲击和回弹速度用以下方法测得: 当在冲击体内固定的磁体穿过线圈套内的线圈时, 导致线圈中的电压与磁体的速度成比例变化, 通过数据转换计算完成里氏硬度测试。

马氏体是在较大冷却速率下获得的非平衡组织, 在低温回火时碳原子会发生偏聚并析出, 马氏体中的固溶碳减少, 正方度降低, 因此回火后 GCr15 轴承钢的硬度降低。基于马氏体的性质与轴承钢淬火、低温回火后的组织机理, 在对 GCr15 轴承钢的检验中, 应注意其纵波声速的传递变化量。图 4 为 45 号钢与 GCr15 轴承钢纵波声速的对比图, 较为直观得出轴承钢中纵波声速低于整体热处理后优质碳素结构钢中纵波声速 2.1% 左右。针对开展轴承产品检验的工作人员, 在使用超声检测设备时, 应及时、细致修改声速参数, 以免造成对试件的错误定性、定量。

[2] 冯小平, 杨峰, 李亚维, 王勇. 铸件的超声波检测分析[J]. 热加工工艺, 2014, 43(03):79-80+97.

[3] 彭应秋, 李坚, 权义萍, 杨五兵. 超声检测中的声场特性及应用分析[J]. 无损检测, 2003, (12):612-615+643.

[4] 江念, 王召巴, 陈友兴, 陈玉. 电磁超声检测钢板厚度实验的参数优化[J]. 传感技术学报, 2015, 28(04):498-502.

[5] 彭志珍, 陶于春, 任尚坤. 基于不锈钢焊缝缺陷的无损检测研究进展[J]. 焊管, 2018, 41(04):1-6.

基金项目: “金属超声检测中纵波声速受金相组织影响的数值分析” 大连海洋大学应用技术学院科研课题 (XNKY202105)