

【制造技术】

大型锻件的超声检测技术^{*}

康洪涛,米林,薛显光,马亚洲

(重庆理工大学 重庆汽车学院,400050)

摘要:研究了超声波在介质中传播时,由于材料与缺陷声学特性不同而引起的超声回波信号的变化情况,并结合大型锻件缺陷与锻件材料本身声学特性的差异,对其内部缺陷实现了较为准确的定性。通过工厂大型锻件的实际检测,证明了该方法的可行性。

关键词:大型锻件;超声波;缺陷

中图分类号: TB302.5

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)05-0063-02

大型锻件是国家重大技术装备和重大工程所必需的重要基础部件,其在核电站的压力容器、发电机组的低压转子以及各种重型机械的核心部件中均得到了非常广泛的应用。随着国民经济的快速发展,大型锻件的需求量也将越来越大。

在实际工程应用中,由于工作环境恶劣,大型锻件常需承受复杂的应力、冲击振动和重负载荷。同时,由于大型锻件的生产工序多、生产周期长,故影响其质量的因素也较多,这使得大型锻件在生产过程中将不可避免地出现这样那样的缺陷。一旦工件存在严重影响其使用性能或安全性能的缺陷,或在生产过程中产生疲劳破损而未被及时检出,将产生一系列严重后果,轻则会导致系统功能失效,重则会危及人身安全,造成重大经济损失。因此,对大型锻件进行实时检测,提高其产品合格率,已成为提高工程质量、保证设备安全的必然要求。而目前常规的破坏性实验已不能满足大型锻件的经济性和全面性要求,故研究无损检测并将其应用于大型锻件上具有重要的现实意义。

1 大型锻件检测技术研究现状

目前,在工业领域对零件内部缺陷进行无损检测较常用的方法有为射线、磁粉、渗透、超声检测等^[1]。

射线检测是一种非常有效的检测手段,由于其检测精度高,故在实际生产中得到了广泛的应用。但这种检测方法具有强烈的辐射,对人体和环境有害。故应用该方法进行检测时,需要有严格的防护措施,检测工作必须在实验室进行,且必须由经验丰富的人员操作,因此,该方法已不能满足现代生产需要在生产现场进行检测的要求。磁粉检测主要用于工件表面和近表面的缺陷检测,而不能有效检测内部缺陷,而且检测完毕必须对工件进行退磁处理。渗透检测则基本上只能对表面缺陷进行检测,工作效率

低,而且渗透液对环境也有污染。

与上述几种方法相比,利用超声波则不仅可以检测零件表面和近表面缺陷,还可较为准确地检测其内部缺陷;且对环境无污染,对人体无危害。同时,随着数字信号处理技术的高速发展以及大规模集成电路的小型化,越来越多的便携式超声检测仪得以应用,这使得人们对工件的现场在线检测和大批量检测更加容易。

但是,目前人们对超声波检测的理论研究还不够深入,有很多现象还不能得到合理的解释,这导致实际检测中出现了很多的误检和漏检。为此,研究超声波在介质中的传播特性,并将其用于解决大型锻件的超声波检测就显得非常必要。

2 超声波在介质中的传播特性

超声检测主要应用超声波在材料中的传播特性,以及超声波与缺陷的相互作用机理来进行检测。

理论上,超声波在无限大均匀介质中是沿直线传播的。但实际上,任何介质总有边界,当超声波在非均匀介质中传播,或从1种介质传播到另1种介质时,由于介质的声阻抗发生了变化,故超声波会在声阻抗改变的分界面上产生反射、折射和透射现象。在超声波透过界面时,其方向、强度和波形的变化取决于2种介质的特性声阻抗和入射波与分界面的相对方向。

当超声波垂直入射在2种介质的分界面上时,会产生反射和透射现象。反射是超声波从1种介质入射到具有不同声特性阻抗的另1种介质时,改变传播方向返回原介质的现象;而透射则是在2种介质声阻抗相同或者相近时,超声波穿过分界面进入另一介质的现象。假设2种介质的声阻抗分别为 R_1 和 R_2 ,在分界面上的声压反射系数和声压透射系数分别为 r_p 和 t_p ,则有

* 收稿日期:2010-03-11

作者简介:康洪涛(1977—),男,硕士研究生,主要从事超声波无损检测技术研究;

米林(1964—),男,教授,主要从事汽车零部件检测技术及机电相关技术的研究。

$$r_p = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \quad (1)$$

$$t_p = \frac{2R_2}{R_2 + R_1} \quad (2)$$

假设介质是无吸收的,那么 2 种介质的声特性阻抗以及在界面上的反射和透射系数都将是实数,因此声波在分界面上反射与透射的大小仅决定于媒质的特性阻抗。根据 2 种介质声学特性阻抗的相互关系,超声波在界面处的反射和透射可分为以下几种情况^[2]。

1) $R_2 = R_1 (R_{12} = 1)$

由式(1)和式(2)得: $r_p = 0, t_p = 1$ 。这说明在界面上超声波完全没有反射,而是全部透射到另 1 种介质中去。

2) $R_2 > R_1 (R_{12} > 1)$

由式(1)和式(2)可以得到此时的反射系数和透射系数范围分别为: $r_p > 0, t_p > 0$ 。由于 $R_2 > R_1$,因此这种边界在声学特性上被称为“硬”边界。在硬边界附近,反射波声压与入射波声压同相位。

3) $R_2 < R_1 (R_{12} < 1)$

由式(1)和式(2)可知,此时的反射系数和透射系数范围分别为: $r_p < 0, t_p > 0$ 。由于 $R_2 < R_1$,因此这种边界在声学特性上被称为“软”边界。在软边界附近,反射波声压与入射波声压相位相差 180°。

4) $R_2 \gg R_1 (R_{12} \gg 1)$

由式(1)和式(2)可以得到 $r_p \approx 1, t_p \approx 2$ 。由于 $R_2 \gg R_1$,故这种边界在声学特性上被称为“绝对硬”边界。此时在界面上的反射波声压与入射波声压大小相等、相位相同,因此在分界面上,合成声压为入射声压的 2 倍。实际上,这时发生的是全反射,在第 1 种介质中入射波与反射波叠加形成了驻波,分界面处是速度波节和声压波腹。

5) $R_2 \ll R_1 (R_{12} \ll 1)$

由式(1)和式(2)可以得到 $r_p \approx -1, t_p \approx 0$ 。由于 $R_2 \ll R_1$,故这种边界在声学特性上被称为“绝对软”边界。此时反射波声压振幅与入射波声压振幅近似相等,但是反射波声压相位却相对于入射波声压相位跃变了 180°,因此分界面上的总声压为零。同时,此时在界面处也发生了全反射,在第 1 种介质中同样形成了入射波和反射波的叠加驻波,只是在分界面处是速度波腹和声压的波节。

3 大型锻件缺陷的声学特性

大型锻件的缺陷有很多种,但是常见的并对工件安全性造成严重威胁的则主要有以下几种:裂纹、白点、缩孔、气泡、夹杂物等。

裂纹内含物多有空气存在,空气的声阻数量级约为 10^2 ,而金属材料的声阻抗数量级约为 10^6 ,可见空气和金属材料的声学特性相差很大。由前述结论可知,裂纹与基体材料的边界是“软”边界。

白点一般认为是由于工件热处理过程中氢逸散不充分,残留在基体中而形成的。由于氢气的声学特性阻抗约为 1.15×10^2 ,远远小于金属材料的声学阻抗。因此,由前述结论可知,白点缺陷与基体材料的边界属于“软”边界。

缩孔与气泡这 2 种缺陷的内含物均为气体,气体的声

特性阻抗数量级为 10^2 ,远小于金属材料的声特性阻抗,所以这种缺陷与基体材料边界亦属于“软”边界。

非金属夹杂物主要是指钢中的铁及其他元素与氧、硫、氮等作用形成的化合物,以及在炼钢和浇注过程中混入钢中的耐火材料碎片。由于这些碎片的成分主要是 Si, Al, Fe 等的氧化物,故可以说钢中的非金属夹杂物是气体在钢中存在的一种形式^[6]。这类材料的声特性阻抗小于金属基体的声特性阻抗,所以这类缺陷与基体材料的边界可被认为是“软”边界。

高密度金属夹杂物有钨、钼等。钨的声学阻抗约为 $(83.2 \sim 104.2) \times 10^5$,钼的声学特性阻抗为 63.8×10^5 ,而一般锻件用材料的声学阻抗在 $(39.4 \sim 45.6) \times 10^5$ 。因此这类高密度金属材料的声学特性阻抗大于锻件基体材料的声学特性阻抗,故这类缺陷与基体材料的边界可被认为是“硬”边界。

通过分析超声波在介质中的传播特性以及大型锻件内部缺陷的声学特性可知,各种缺陷的边界特性均可归纳为两大类:① 裂纹、白点、缩孔、气泡、非金属夹杂物的边界属于“软”边界,超声波垂直入射在这种界面上时反射回波的相位改变 180°;② 高密度金属夹杂物的边界属于“硬”边界,超声波垂直入射在这种界面上时其反射回波的相位与入射波相位相同。对于裂纹、白点、缩孔、气泡以及非金属夹杂物,尽管其声阻抗不相同,但都可以通过式(1)和式(2)计算出其反射率和透射率,这 2 个参数反映了超声回波信号的幅度衰减水平。非金属夹杂物与基体组织的声阻抗差异最小,透射率高,因此其回波衰减非常严重,表现为检测时底波幅度小甚至没有底波;白点反射波很强,但由于其成群出现,故在检测时波形表现为缺陷信号清晰而群集;裂纹缺陷的反射波强烈且单一存在,非常清晰;缩孔缺陷由于其周围有大量夹杂物,同时其表面非常粗糙,故反射波会产生了较大的衰减。

通过在某大型锻件厂的实际检测,证明了上述方法对大型锻件常见缺陷的检测非常有效。

参考文献:

- [1] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 杜功焕,朱哲民,龚秀芬.声学基础[M].2版.南京:南京大学出版社,2001.
- [3] 夏纪真.工业超声波无损检测技术[M].广州:广东科技出版社,2009.
- [4] 许常青.大型锻件的缺陷定性分析[J].科学之友,2008(8):5-7.
- [5] 王云昌.超声波检测中对缺陷的定性分析[J].国外金属热处理,2004,25(6):40-41.
- [6] 刘明军,张建国,魏国平.锻造过程质量控制与检验读本[M].北京:中国标准出版社,2006.