

多晶片超声探头的研制与应用

魏桂生

(北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

Development and Application of Triad Ultrasonic Transducer

WEI Gui-sheng

(Beijing Aeronautical Technology Research Centre, Beijing 100076, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2007)04-0226-03

某型飞机前起落架缓冲支柱活塞杆内壁焊缝在采用常规超声探头进行探伤时, 常有漏检和误判的问题。为解决该类问题, 对该结构件的超声探伤方法进行了研究。由于该部件的内部结构、机械加工及探头接触面为弧状等因素, 加大了对超声探头技术性能的要求。为减少探头入射声束在工件中的变化, 集中声束的指向性, 提高该部件超声探伤的质量, 研制了一种多晶片超声探头, 以提高该部件超声探伤的可靠性。

1 研制多晶超声探头的背景

1.1 探伤件的基本情况

前起落架缓冲支柱活塞杆结构见图 1 所示, 材料 30CrMnSiA 钢, 探伤部位是内壁焊缝, 活塞杆下根部至 145 mm 处。

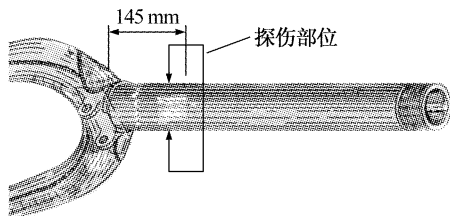


图 1 前起落架活塞杆探伤部位示意图

图 2 是前起落架缓冲支柱活塞杆探伤区的局部纵向剖面图(按五倍放大), C_2 处是裂纹区, 各相关

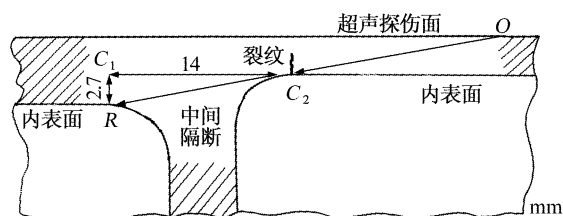


图 2 前起落架活塞杆内壁结构及声束走向示意图

尺寸是从解剖件上测绘出来的。活塞杆内筒直径为 50 mm, 外表面镀铬。

1.2 探伤难点及原因分析

根据上述结构和裂纹部位等情况, 选用便携式超声波探伤仪和常规横波探头, 在对该部件的探伤中, 常有误判或漏检的情况发生。为避免发生该类问题, 提高该部件超声探伤的可靠性, 对采用的超声探伤方法进行了分析研究。

在该部件的探伤试验中, 考虑到探伤面为曲面, 为使探头和探伤面接触稳定, 保持一定的接触状态, 将探头与探伤面接触的楔块表面加工成相吻合的曲面。此状态虽能保持探头在探伤面上平稳移动, 并能以一定的入射角入射到被检部件中, 但对于管径较小的被检部件, 即使在超声波束范围内, 入射角也随着位置而发生变化, 因而有时在管内发生妨碍探伤的振动^[1]。该振动是影响探伤结果, 造成误判或漏检的主要原因。

根据上述分析, 在该类部件的探伤中, 使探头在小管径探伤面上移动时保持入射角不随位置发生变化, 是解决上述问题, 提高探伤质量的主要方法。由此研制了如图 3 所示的多晶超声探头, 该探头采用

收稿日期: 2006-03-10

作者简介: 魏桂生(1952—), 男, 高级工程师。从事无损检测工作。

几个长方形晶片并列在斜楔上,使其在接触块内产生的超声波束在探伤面上的入射角保持一定,避免在探头移动中入射角随位置的变化影响探伤结果的可靠性。

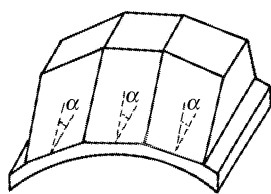


图3 多晶片探头楔块立体图

2 多晶超声探头的设计

2.1 设计要点及目的

根据该部件探伤区的内部结构,该探头的设计要点为,① 由于部件外径为 $\phi 50$ mm,壁厚 3.3 mm,壁厚与外径之比为 0.066。根据管材探伤的特点,壁厚与外径比 < 0.20 时^[1],可在管中采用横波进行探伤。从外表面扫查内表面 C_2 处垂直于管径的径向裂纹,横波从 O 点入射后除裂纹能反射外,要求 R 右边的弧形面不产生回波。② 埋深较浅的裂纹需增大检出能力。

对于管径在 50 mm 以下的圆筒状零件,一是由于管材表面弯曲,探头接触耦合不佳;二是由于声束在管壁内的能量扩散严重;三是探头在小管径上移动时入射角随位置的变化发生妨碍探伤的振动^[2],影响探伤结果。为此,设计多晶体超声探头的目的是增强超声反射能量,以减小由于小口径管具有较大曲率而引起的声能扩散。更重要的是可保证探头入射角在超声波束范围内不随位置发生变化。

对垂直于管径的径向缺陷(图2),采用声波束与管轴在同一平面的斜入射方式。对于这种管径较小的探伤件,声能扩散也较为严重。再者,声波在管壁中传播不象在板中传播那样有固定的底面入射角,管子中的折射声束对内表面的入射角是随壁厚的改变而改变的,当壁厚和管径之比增大到某一定值后,折射声束不再与管内壁相遇。所以,对已知管材的探伤,首先应选择好管中的折射角。

2.2 入射角及楔块的确定

在探头的结构确定后,应首先选择探头入射角 α 。

图2中 O 为声入射点,探伤区壁厚 3.3 mm,非裂纹区壁厚 6 mm,中间隔断宽度 5.2 mm。

由于 $\tan \angle RC_2C_1 = \frac{RC_1}{C_2C_1} = \frac{2.7}{14} = 0.193$, 所以 $\angle RC_2C_1 = 10.92^\circ$ 。那么中间隔断层弧面不产生回波,要求的横波探头折射角 $\beta = 90^\circ - 10.92^\circ = 79.08^\circ$ 。

选用角架为有机玻璃,对高强度钢的部件材料,

由折射角 β 得出入射角 $\alpha = 56^\circ$ 。并选择晶片尺寸为 $8 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$,频率为 2.5 MHz。

探头总体结构采用密封式。探头内部反射杂波由钨粉和环氧树脂组成的吸收块将其吸收掉,同时对晶体谐振起阻尼作用。该探头的关键在角架设计。除保证入射角 α 的设计要求外,还要有合理的构形,使三个晶体的入射声程相等,在角架内的反射波声程也尽量接近,并便于消失。图3是楔块的构形立体图。

3 技术参数

3.1 近场区的估算

横波声场计算目前尚不成熟,现根据某些文献,估算近场极限距离 X_{OA} 。

引入晶片的实际测量尺寸 $2g = 2a \frac{\cos \beta^{[3]}}{\cos \alpha}$ 、晶片

的视在位置 $L_2 = L_1 \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$ (式中 $2a$ 为晶片尺寸, L_1 为晶片中心至入射点距离),得近场极限距离为^[4]

$$X_{OA} = X_0 - [L_2] \frac{V_s \tan \alpha}{V_1 \tan \beta} \quad (1)$$

式中 X_0 ——中心轴的声压最后峰值距晶片面距离;

$[L_2]$ ——实际测量值;

V_s ——材料中横波声速;

V_1 ——角架纵波声速。

当晶片半宽度为 b 时,参照并分析 Freedman^[1]求解的结果,得

$$X_0 = \frac{0.95b^2}{\lambda} \quad (2)$$

式中 λ 为频率 2.5 MHz 时的波长。因为探头晶片尺寸为 $8 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$,频率为 2.5 MHz,测得 $[L_2] = 5.9 \text{ mm}$ 。将以上参数连同式(2)代入式(1)得 $X_{OA} = 4.6 \text{ mm}$ 。

3.2 声束指向性

横波探头的指向性在理论上严格考虑非常困难(因与楔块关)。当引入晶片的实际测量尺寸后,将入射点当作原点,并设 D_A 为斜入射的透过率,则可以大致求出纵向指向特性^[5]。

$$D_A = \frac{\sin(Kg \sin \delta)}{Kg \sin \delta} \quad (3)$$

式中 $K = \frac{2\pi}{\lambda}$;

g ——晶片实际测量尺寸;

δ ——纵向指向角。

当取反射波高为 6 dB 时,将该探头已知参数代

中国机械工程学会无损检测分会 2007 年常务委员(理事) 扩大会议在郑州召开

2007 年 3 月 15—17 日,中国机械工程学会无损检测分会在河南省郑州市召开了常务委员(理事)扩大会议。来自全国各地无损检测领域的 59 名代表参加了会议。

学会总干事徐永昌报告了 2006 年学会工作和 2007 年工作计划。2006 年,在学术交流方面,各专业委员会开展了多次全国性的学术交流活动,收到了大量来自科研生产第一线,具有一定水平的论文。会刊《无损检测》报道了具有一定深度和广度的技术论文和信息,起到了科研与企业、科研转化为生产力的桥梁作用。在无损检测人员资格认证工作方面,学会无损检测人员资格认证工作委员会完成了 ISO 9712—2005 标准的国标报批稿和无损检测学会标准 CHSNDT001—2007,并在积极筹划新标准的实施和加入欧盟无损检测认证体系的各项工作。学会信息中心出版了内部资料《中国无损检测年鉴》1949—2005 卷,为无损检测人员提供了一部兼有资料性和知识性的参考工具书。2007 年学会将继续坚定不移地把国内外学术交流工作放在首位,开展各专业的学术交流活动,提高论文水平和质量,使我国无损检测水平更上一台阶;争取人员资格证书尽早获得国际互认。

第 17 届世界无损检测会议(17WCNDT)副秘书长潘炳勋介绍了将于 2008 年 8 月在中国上海召开的此次盛会的筹备计划。截至目前,筹备工作正在有序进行,赞助商招募已告一段落。

副主任委员耿荣生汇报了于 2006 年 9 月 25—29 日在柏林召开的第 9 届欧洲无损检测会议情况。学会秘书王莹贇汇报了 2006 年 11 月 4—12 日在新西兰奥克兰召开的第 12 届亚太地区无损检测会议情况。

各专业委员会和工作委员会汇报了 2006 年工作情况和 2007 年工作计划。

此外,信息中心主任屠耀元汇报了《中国无损检测年鉴》资料征集要求。河南省无损检测分会理事长冉启芳发表应力测定技术不宜列入非常规检测专业的意见,提议成立单独的应力测定委员会。全国无损检测标准委员会秘书长金宇飞汇报了关于中国标准化发展的现状与未来。

会上各代表委员高度重视 17WCNDT 大会,指出大会的召开是我国无损检测人员的光荣,意义深远,影响广大,要尽全力办好此次大会,做到让中国 NDT 业界人士满意,让全世界参加 17WCNDT 者满意。达到让中国 NDT 人士了解世界,让世界 NDT 人士了解中国的目的。各代表希望加大对 17WCNDT 会议的宣传力度,在《无损检测》《无损探伤》和网站等刊登有关会议的信息、征稿以及报道等。

会议的召开得到了水利部水工金属机构质量检验测试中心在人力、物力、财力上的大力支持,为此向支持单位表示衷心的感谢!

(中国机械工程学会无损检测分会 秘书处)

入式(3)整理后可得 $\delta=29.5^\circ$ 。

3.3 工件中一次声程和 0.5 跨距

实际探伤中,按横波探伤几何学标定仪器。该探头 $K=5.18$,活塞杆探伤区壁厚为 3.3 mm,经计算直通波到裂纹的声程 $R=16.8$ mm,0.5 跨距 $L=16.5$ mm。

4 应用效果及结论

4.1 测试与应用效果

在探头制作完成后,对其性能进行了测试和实际探伤应用。利用该型飞机起落架活塞杆,在裂纹部位制作了 1,1.5 和 2 mm 等不同缺陷深度的标准

试件。使用 KK30 型超声波探伤仪,在其标准试件上使用制作的多晶体超声探头进行探伤,操作标定仪器简便、分辨力高、波形显示清晰,能得到满意的探伤效果(图 4)。

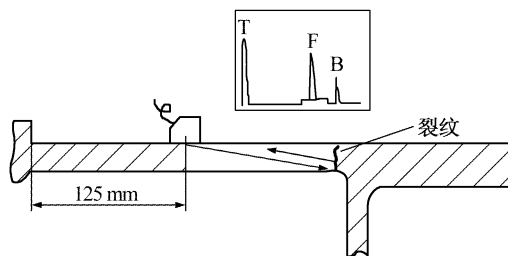


图 4 活塞杆内壁探伤图

(下转第 234 页)

表 1 不同曝光时间下的底片黑度

曝光时间/min	底片黑度	曝光时间/min	底片黑度
60	0.87~1.15	100	2.03~2.37
70	1.16~1.48	110	2.36~2.69
80	1.44~1.73	120	2.72~3.15
90	1.69~1.94		

$OB - OA = 204 \text{ mm}$

众所周知,射线到达胶片处的辐射强度与距离的平方成反比。 OA 和 OC 距离比 OB 短 204 mm,因而 A 点和 C 点处的辐射强度

会由于距离比 B 点处距离短,可以弥补一部分非主射线束造成的辐射强度降低。

用 360 mm 胶片,一次透照四张,按 280 kV 管电压、曝光 120 min 透照(每照 5 min,射线机休息 5 min,共 240 min),经暗室处理后,底片质量完全符合要求。若一次透照超过四张胶片,底片质量就得不到保证,底片黑度差异大。

(5) 几何不清晰度 U_g 的计算如下

$$U_g = d \cdot \frac{b}{f'} = 2 \times \frac{12}{3\ 362} = 0.007\ 14 \text{ mm}$$

式中 d ——射线源尺寸;

$$d = 2 \text{ mm};$$

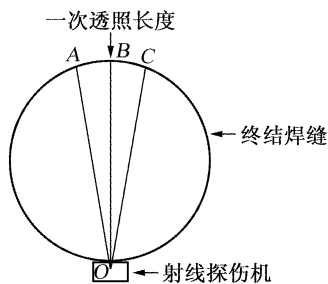


图 1 射线透照示意图

b ——被照焊缝的射线源一侧至胶片的距离,即壁厚;

$$b = 12 \text{ mm};$$

f' ——射线源到被透照焊缝的距离;

$$f' = 150 + 12 + 3\ 200 = 3\ 362 \text{ mm}.$$

由于几何不清晰度非常小,暗室处理恰当,底片质量很好。

(6) 底片像质计灵敏度的确定如下,对双壁单影透照厚度为 34 mm 的焊缝,按 JB/T 4730. 2—2005《承压设备无损检测》要求,质量为 AB 级的底片上,像质计灵敏度值为应识别 11 号金属丝。而用上述方法透照的底片能看到 13 号金属丝,灵敏度高。

3 结论与讨论

(1) 对该深冷低温不锈钢容器的封闭环焊缝用 XXQ-3005X 射线机,管电压选 280 kV,曝光时间用 120 min,每次透照四张胶片,有效长度可达 1.2 m,相当于每透照一张曝光 30 min,底片质量满足 JB/T 4730. 2—2005 标准要求。

(2) XXQ-3005X 射线机能对直径 $> \phi 3.3 \text{ m}$ 并加垫板焊接的大直径环焊缝进行双壁单影射线检测。

(3) 对毒性程度为中高度以上和易燃易爆介质的压力容器、深冷低温容器,存在大直径、超大直径的封闭环焊缝时,建议采取 100% 超声检测加不低于 20% 甚至 100% 射线检测。从而增强对产品缺陷的检出能力,提高压力容器的安全性与可靠性。

(上接第 228 页)

利用制作的多晶体超声探头在飞机维修厂和航空兵部队进行了原位探伤应用。先后检查起落架活塞杆 20 余架次,发现裂纹一条,解剖后用磁粉检测验证,裂纹长 1.5 mm 左右。

4.2 结论

(1) 该探头使横波与表面波在活塞杆中共存。对于较浅的裂纹(埋藏深度小于一个波长时),有用成分主要是横波;对于严重的裂纹,两种波型共同作用。但要注意探头前沿探伤区内不能有耦合剂。

(2) 该探头无内部中间隔断层弧面反射波,因此扫查时易于判别缺陷。但要监视仪器灵敏度,注意观察始波情况。

(3) 探头的近场极限是 4.6 mm,指向角是 29.5° ,直通波到裂纹的声程是 16.8 mm。因此检查缺陷利用的应当是远场区。按照声束宽度,在检查

区声束充满了整个厚度,但三个晶片的声束在一直通波范围里并未交叉在一起。

(4) 直通波声程是 16.8 mm,0.5 跨距是 16.5 mm,因此标定仪器探伤距离时,可用跨距并且可用手指触压法决定裂纹的位置。

参考文献:

- [1] 李靖,马羽宽. 超声探伤法[M]. 广州:广州科技出版社,1981.
- [2] 云庆华. 无损探伤[M]. 北京:劳动出版社,1983.
- [3] 武江,方婉莹,郭景云,等. 超声波探伤[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [4] 胡天明,宋书林,武玉林,等. 超声波探伤[M]. 北京:劳动人事出版社,1988.
- [5] 郑家勋,张国城,华云波,等. 超声波探伤[M]. 北京:劳动出版社,1985.