

无损检测质量控制规范

超声纵波和横波检验

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本规范规定了超声纵波和横波检验中影响检验结果可靠性的主要因素和质量控制的要求。其内容包括环境条件、检验用材料和试块、设备和仪器、工艺要求、技术文件和对检验人员的要求。

1.2 适用范围

本规范适用于军工产品所用变形金属及军用制件超声纵波和横波检验的质量控制。

2 引用标准

ZB Y230 A型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件

ZB Y231 超声探伤用探头性能测试方法

ZB Y232 超声探伤用1号标准试块技术条件

3 环境条件

3.1 场地

超声波检验不应在影响正常工作的强磁、震动、高频、灰尘大、有腐蚀性气体及噪音大的地点进行。工作场地应避免(或遮住)明亮的光线。

3.2 温度及湿度

工作地点的温度及湿度应控制在仪器、设备及材料所允许的范围内。

4 设备和仪器

4.1 超声波检验仪

4.1.1 超声波检验仪与探头配用时,工作频率至少应有2,5(或2,25)及5(或4)MHz两种。

4.1.2 超声波检验仪和探头配用时,其使用性能的最低要求及测试方法见表1。

表1 仪器使用性能的最低要求及测试方法

仪器性能	性能的最低要求	
	测试方法见附录 A	测试方法见 ZB Y230
垂直极限	满刻度	当衰减器的校验按 ZB Y230 进行并符合要求时,可按 ZB Y230 中 4.2 条。仅进行垂直线性误差的测定,误差不应大于 8%
垂直线性下限	不小于满刻度的 95%	
垂直线性上限	不大于满刻度的 10%	
水平极限	满刻度	
水平线性范围	不小于水平极限的 85%	
灵敏度	应满足检验 须要求	
信噪比		
入射面和背面分辨力		

4.1.3 超声波检验仪在经过修理或使用一年后均应进行校验,其性能仍应满足 4.1.2 条的要求。

4.1.4 每次测量所得的性能数据均应记录在专用记录本中并保存备查。

4.2 衰减器的校验

4.2.1 在测量超声波检验仪及探头的组合性能时,如果垂直线性符合要求,则应对衰减器进行校验,其方法及最低要求见附录 B。

4.2.2 有条件用标准衰减器校验仪器衰减器的部门可按 ZB Y230 进行。

4.3 报警器

在检查形状规则、上下表面平行的零件或材料,如板、棒、锻坯等时,可采用报警器。

4.4 稳压器

在信号幅度调整到荧光屏垂直极限一半的情况下,如果电源电压的波动使信号幅度的变化超过垂直极限的 $\pm 2.5\%$,则应使用稳压器。

4.5 探头

4.5.1 对于水浸法,所用直探头的换能器直径一般应在 10~20mm 之间。对于接触法,所用直探头的换能器直径(或矩形换能器的长度)一般应在 6~25mm 之间。

4.5.2 所有的纵波探头在投入使用前均应编号,并按 ZB Y231 所规定的方法测量回波频率、距离—幅度特性及声束特性。对于水浸直探头,用作反射体的钢球直径应为 12.7mm。

探头的回波频率与标称值的相差,在 2.25~10 MHz 的范围内应在 $\pm 10\%$ 以内,应将实测值标在探头上。

探头的声束特性:要求在最后一个声压极大值(远场 Y_0)及最后一个声压极小值(Y_1)处,沿相隔 45° 的四个方向测量时,不应有明显的副瓣,最小波束直径与最大波束直径(6dB 点)之比不得小于 0.75。

4.5.3 所有的横波斜探头在投入使用前均应编号,并按 ZB Y231 所规定的方法测量回波频率、入射点、入射角、距离—幅度曲线及声束特性。

入射角与标称值相差 3° 以上的探头必须修正,否则不应使用。

4.5.4 对于水浸聚焦探头,在测定其声束直径时,所用反射体可为试块中的平底孔或水中的小球,但直径均应小于计算的焦点直径。

4.5.5 所有的测试结果均应记录在专用记录本中保存备查。对探头的距离—幅度曲线至少每 6 个月检查一次。常用的横波探头及双晶片纵波探头至少每三个月检验一次,并与原始曲线相比较,差异应记下供修正之用。相差超过 20% 的探头不应使用。

4.6 槽及探头操纵装置

在水浸法进行检验时,可采用全浸式水槽或局部水浸式水槽,槽应足够大,以便能浸没所检部位并使探头能良好的放置和工作。探头操纵装置应有足够的强度、能平滑而准确地调定探头的位置;在两个互相垂直的直立面内,探头角度的调节精度应在 $\pm 0.5^\circ$ 以内。水程应能调节。所有的调节均不应存在由齿隙造成的游移。

5 检验用材料及试块

5.1 耦合剂

5.1.1 水浸法所用的水应是清静、无气泡及其它外来物的。如添加防腐剂及润湿剂,均不得对受检件及设备有所损害。水温应控制在 $10\sim 35^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 接触法所用的耦合剂不得对受检件有损害,可采用油脂、水、水溶性凝胶等。耦合剂的粘度和对表面的润湿必须是良好的,以保证超声波能很好地进入受检件。

5.2 标准试块

5.2.1 标准试块是指材质、形状、尺寸及性能均由检定机关检定合格的试块。标准试块用于测试仪器

及探头的性能、确定试验条件的再现性。

5.2.2 用于纵波检验的铝合金标准试块,其材质、尺寸及加工要求应符合附录 C 的要求。可用于纵波和横波检验的钢标准试块,其材质、尺寸及加工要求应符合 ZB Y232 的规定。

5.2.3 标准试块每年应校验一次。

5.3 对比试块

5.3.1 对比试块是指检查特定受检件用的试块。对比试块用于调整探伤仪灵敏度、调整扫描范围、评定缺陷的当量尺寸及保证检验结果的再现。如果尺寸、材料等的要求与标准试块相同,则标准试块也可用作对比试块。

5.3.2 对比试块应该用与受检件成分及组织相类似的材料来制作,以使其声学特性(如衰减、声速、声阻抗、噪音等)能与受检件相同。否则,使用时应按 6.3.3 条作必要的修正。一般情况下,检查铝合金、镁合金、钛合金及低合金钢时,对比试块的用料可按表 2 选定。但不锈钢、镍基合金、钴基合金应该用受检件材料来制作,软挤压件应该用与受检件相同的挤压材料来制作。对比试块的声入射面表面粗糙度应与受检件的声入射面相同。

表 2 对比试块的制作用料

受检件材料	对比试块用料
铝 合 金	LC9 淬火、人工时效 或 LY12 淬火、人工时效
镁 合 金	MB15
钛 合 金	TC4, 退火
低合金钢 低合金高强度钢 碳钢及工具钢	40CrNiMoA, 退火

制作对比试块的材料应该用比使用验收等级高一级的灵敏度以垂直入射法进行检查,以免存在影响使用的自然缺陷,且任何部位底反射的损失均不得大于 3dB。

5.3.3 纵波探伤用的对比试块

5.3.3.1 纵波探伤用的平表面对比试块,其类型和尺寸可参照附录 C 的规定来确定。

5.3.3.2 纵波探伤用的曲面(凹面或凸面)对比试块的曲率半径应与受检件相近,平底孔的埋藏深度可参照附录 C 的规定确定。

5.3.4 横波探伤用的平表面对比试块应根据具体受检件确定。对于中厚板,其尺寸可参照附录 D 确定。对于空心圆柱体,对比试块的尺寸可参照附录 E 确定。平底孔的直径应由所要求的质量验收等级来决定。

5.3.5 加工好的对比试块在投入使用前,除应按图纸要求对外形尺寸进行检查外,尚须用超声波对反射体进行检验。反射信号的幅度与反射体直径或面积之间的关系应如附录 F 图 F1 所示。差值应记录供作修正之用。相差超过了 3dB 的试块不得使用。

5.3.6 对比试块的“反射体埋藏深度—反射波高”曲线每半年至少测绘一次并与原始数据相比较,差异应记下供修正之用。差异超过 20% 的试块应报废。

6 工艺要求

6.1 对受检件的要求

6.1.1 所有受检件一般应在精加工之前进行检查,超声波入射面的表面粗糙度其轮廓算术平均偏差 (Ra) 应为 $1.25 \sim 5\mu\text{m}$ 。

6.1.2 除非另有规定,受检件应在供货的状态下进行检查。要求进行热处理的焊缝,应在热处理后进行检查。

6.2 入射方向和入射面的选择

入射方向的选择应使超声束的中心线与缺陷面尽可能地接近垂直。变形金属缺陷的最大可能取向应根据缺陷的性质及流线方向来判定。

在缺陷的最大可能取向与超声波进入面成很大角度的情况下,应使用横波进行检查。当用纵波进行检查时,如上盲区和下盲区数值不同而加工余量小于其中的一个,则应从正反两面进行检查。

当采用双晶探头时隔声层的纵向取向,当采用矩形晶片探头时晶片长轴的取向,均应与缺陷的可能延伸方向平行。

6.3 对比试块的选择

6.3.1 对于凹形受检面,要考虑凹面的聚焦作用。必要时应从背面或相邻面用纵波或横波进行检查。

6.3.2 对于空心圆柱型受检件,对比试块与受检件的壁厚差应在 $\pm 25\%$ 以内,外径之差应在 $\pm 20\%$ 以内。

6.3.3 如果对比试块的声学特性与受检件有所不同,应采用转移法予以修正(即记下在对比试块和受检件中相同反射体的分贝差,如有可能应在四个不同部位进行测试,取相差最大的数值作修正之用。

6.4 探头频率的选择

应该在噪声处于低水平,底反射波幅度高而稳定的情况下不选用较高频率的探头。

6.5 扫查

6.5.1 仪器灵敏度的调整

6.5.1.1 纵波检验

纵波检验可用两块带平底孔的对比试块来调整仪器灵敏度,第一块中平底孔孔底与超声入射面的距离应等于试件上表面的加工余量,第二块的高度应与受检处材料的厚度相同,而在其背面所钻平底孔的深度应等于试件背面的加工余量。平底孔直径均由所用质量等级决定。一般情况下,应使来自任一对比试块中反射体的反射波高至少为荧光屏满刻度的80%。

6.5.1.2 横波检验

横波检验可按所选用的对比试块进行仪器灵敏度的调整。

6.5.2 水浸法中水程的选择

在水浸法检验时,从探头面到受检件超声入射面的水程,应使二次前表面反射波必须出现在一次底反射之后。调节灵敏度、扫查零件及评定缺陷时所用的水程应相同,其偏差不得大于 $\pm 3\text{mm}$ 。

6.5.3 扫查速度的选择

探头相对于受检件的移动速度应使供调整仪器灵敏度用的对比试块中反射体的回波能有把握地看清,并使任何所用的记录装置或报警装置能够动作。

6.5.4 扫查间距的选择

对于圆晶片的纵波探头,在6.5.1.1条所用对比试块中埋藏深度最小的一块上调整仪器灵敏度使孔底最大反射波高为荧光屏满刻度的80%,然后找出探头沿孔径方向移动时反射波高下降6dB的两点间的距离,扫查间距不应大于此距离的二分之一。

对于双晶片和矩形晶片纵波探头,在6.5.1.1条所用对比试块中埋藏深度最小的一块上调整仪器灵敏度,使来自孔底的最大反射波高为荧光屏满刻度的80%,沿与隔声层取间、矩形晶片长轴方向平行的方向横过平底孔直径移动探头以找出反射波高下降6dB的两点间的距离,扫查间距不应大于此距离的二分之一。

对于横波斜探头可参照上述方法进行。

6.5.5 缺陷位置的确定和尺寸估计以及背反射损失的检查

6.5.5.1 缺陷位置的确定和尺寸的估计应采用与对比试块对比的方法来进行。

6.5.5.2 对于长条形缺陷,在有必要对其长度作出估计时,对于纵波,应将探头置于对比试块上并使来

自孔底的反射波高为最大,平底孔与缺陷的埋藏深度相同,平底孔的直径应符合所用质量等级中关于长条形缺陷当量平底孔直径的规定,调整放大器的增益使反射波高降为满刻度的 80%,然后找出探头沿孔径方向移动时反射波高下降 20dB 时两点间的距离(设为 A);在灵敏度不变的情况下,按同样方法测出缺陷上下下降 20dB 的两点间距离(设为 B),缺陷长度可按(B-A)计算。对于横波,可参照此法进行。

6.5.5.3 在发现有密集小缺陷或本底噪音超出正常值一倍的地方,应降低扫查增益使一次背面反射波幅度低于垂直极限,通过与几何形状相同的正常部位的一次背面反射波就幅度进行比较来确定背面反射波的损失。

6.5.6 在检验过程中仪器灵敏度及探头操纵装置的校验

在检验过程中应定期地检查仪器灵敏度及探头操纵装置的调整情况,每小时不得少于 1 次;工作开始和结束时亦应检查,如发现调整得不正确或发现装置有毛病则应进行校正或修正。在发现问题之前所检验过的全部受检件应作再次的检验。在检验大型件时,在检验每一件的前后均应检查调整情况。

7 技术文件

7.1 检验说明图表

7.1.1 对于每一种或每一类型的受检件均应编写一份超声波检验说明图表,其内容包括:

- a. 检验单位的名称;
- b. 图表的编号及编制和修改日期;编写图表所依据的说明书编号、编写及修改日期;
- c. 受检件的名称、图号、工序号、材料及热处理状态;
- d. 受检件的草图,图上应标明超声波的检验部位,超声波的入射处,入射面的表面粗糙度、由于某种原因(盲区、形状影响等)缺陷不能被发现的区域,成品的轮廓线及受力方向;
- e. 探伤仪的制造厂、型号(包括所用附件的型号);
- f. 探头的型别(包括频率、换能器材料、尺寸、斜探头的入射角等);
- g. 用接触法时耦合剂的名称、牌号、用液浸法时液体(包括添加剂)的名称、液层的厚度及声束入射方向;
- h. 探伤仪和探头操纵装置的调整(包括所用对比试块的代号及草图);
- i. 探头相对于受检件表面的位置、移动方向及方式、移动速度及间距;
- j. 缺陷的评定方法及验收条件;
- k. 标记的部位及方法;
- l. 任何其它有用数据。

7.1.2 超声波检验说明图表须经本专业的Ⅲ级人员或工程师审核,经有关部门批准后生效。

7.2 检验和校验记录

7.2.1 检验记录

检验记录的内容应包括:送检部门、检验日期、零件的名称及图号、零件号、所用检验说明图表的编号、工序号,以及任何反射波高超过规定质量等级中相应反射体反射波高的缺陷平面位置、埋藏深度、反射波高超过的分贝数和其它认为有必要记录的内容。检验记录应有检验人员的签名。

超声波检验记录应编号保存,保存期限按有关单位的要求规定。

7.2.2 校验记录

本规范所涉及的有关仪器、设备、标块等的校验记录均应编号保存,保存期限按有关单位的要求规定。

8 人员

8.1 从事超声波检验的人员必须取得技术资格证书。

8.2 各级人员只能从事与自己技术资格等级相应的技术工作。

附录 A

超声波检测仪与探头配用时 使用性能测试方法 (补充件)

A1 垂直极限和垂直线性的测定

将纵波直探头耦合在图 A1 所示试块的检测面上并移动,使孔 A 的反射波高 H_A 与孔 B 的反射波高 H_B 之比为荧光屏满刻度的 60:30(设 $H_A > H_B$)。调节仪器的增益控制使 H_A 以荧光屏满刻度 100% 或更小的增益变化。记录 H_A 及相应 H_B 的波高并用图 A2 所示图形表示。

垂直极限指的是当增益增大时,反射波高 H_A 在荧光屏上所能获得的最大高度。

垂直线性范围由超过及低于调定点而最先与极限线相交的点来确定。线性的上限由相应的 H_A 给出,线性的下限由 H_B 给出。

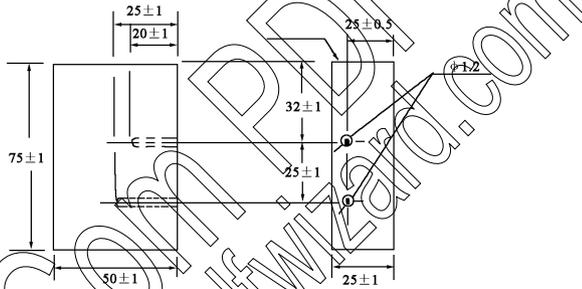


图 A1 测量垂直线性用的试块

材料: 铝或钢用不溶于水的塑料堵孔

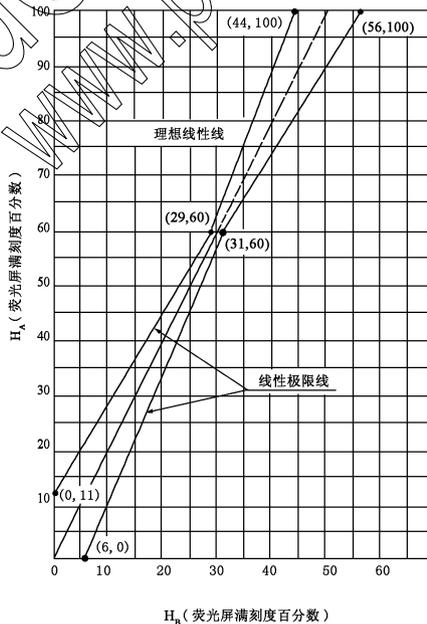


图 A2 确定垂直线性范围用的图形

A2 水平极限和水平线性的测定

将纵波直探头耦合到厚度适当、前后表面平行的试块上。调节仪器的增益、扫描延迟和扫描长度控制器以显示出 11 次无干扰的背面反射,进而调节扫描控制器使第 3 次和第 9 次背面反射的前沿分别准确地调定在水平标尺分度上的 20% 和 80% 处。然后,读出并记录其余各多次背面反射的位置。在测量每一背面反射的位置之前一定要将其幅度调到荧光屏满刻度的 50%。如果第 11 次回波有干扰,可以利用 6 次背面反射;此时,可将第 2 次和第 5 次背面反射的前沿调定在 20% 和 80% 的水平标尺分度上。

水平极限指的是在荧光屏水平标尺范围内可以利用的最大扫迹长度。

水平线性范围可用完全落在所规定允差范围(允差不大于满刻度的 3%)内的一组相邻接点的位置来给定。参见图 A3。

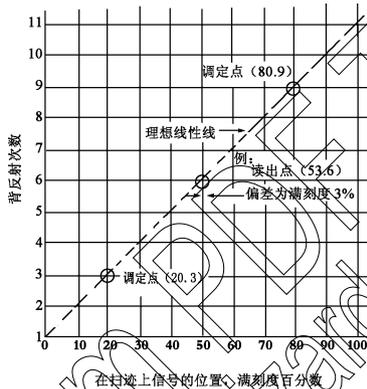


图 A3 用以确定水平特性的图形

A3 灵敏度和信噪比的测定

将纵波直探头耦合到试块上,试块的材质、平底孔的直径及孔底到相邻界面的距离应根据受检件的要求确定。在仪器灵敏度为最大的情况下测量孔底的反射波高及噪音电平。此时,孔底的反射波高至少为荧光屏满刻度的 60%。

如果噪音电平不大于满刻度的 20% 而孔底反射波高不大于满刻度的 100%,则以孔径、埋深和孔底反射波高来表征灵敏度(满刻度的百分数)并计算信噪比。

如果噪音电平超过满刻度的 20%,则应降低增益,在噪音电平达到满刻度 20% 的情况下,以孔径、埋深及孔底反射波高来表征灵敏度并计算信噪比。

如果孔底反射超过满刻度的 100%,则应降低增益使其达到满刻度的 60%,记录孔径、埋深及不使噪音电平超过满刻度 20% 所保留的可用增益(即灵敏度余量,以分贝计),并计算信噪比。参见图 A4。

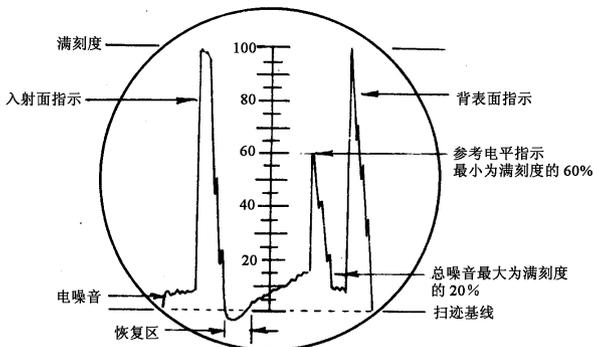


图 A4 用于确定灵敏度和噪音的典型图形

A4 入射面分辨力和背面分辨力的测定

将纵波直探头耦合到图 A5 (a)所示试块上。试块的材质、平底孔的直径及孔底到相邻界面的距离应根据受检件的要求确定。移动探头,在根据须要所确定的灵敏度下,测定孔底反射波高为满刻度 80%而与相邻界面反射波的相交处不大于满刻度 20%时,各孔底与相邻界面的金属距离,参见图 A5 (b)。

入射面和背面分辨力可用从孔底到相邻界面的最短金属距离、孔径及灵敏度大小来给出。

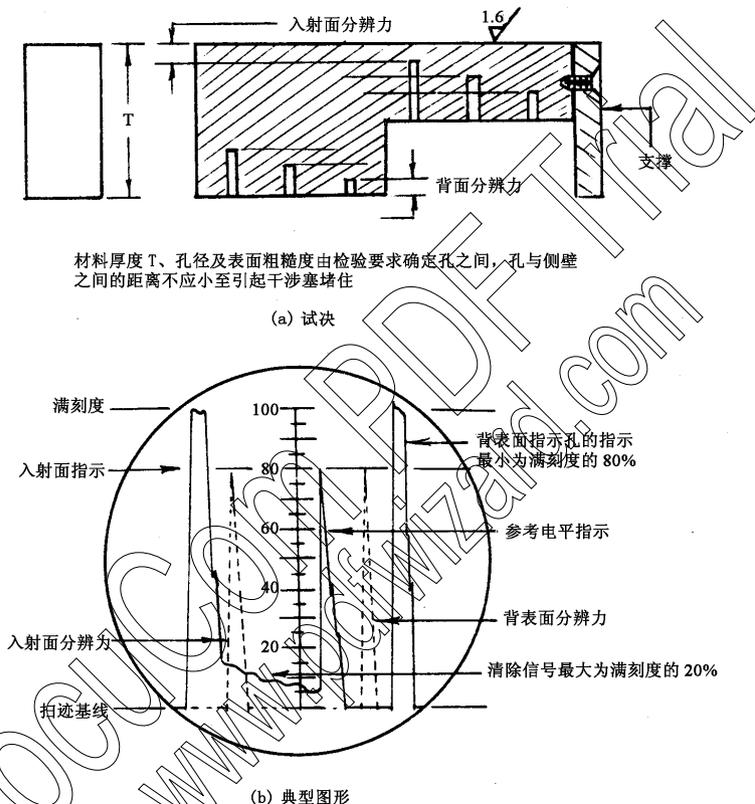


图 A5 用于确定入射面及背面分辨力的典型图形及试块

附录 B

衰减器的校验

(补充件)

B1 衰减器的校验程序

B1.1 将频率为 5MHz 的纵波直探头耦合到平底孔直径为 2mm,孔底至入射面金属距离大于探头近场长度的铝或钢试块上并使孔底的反射波高为最大。在所有的衰减器转接开关均处于断开的前提下,调节接收器增益控制,使孔底反射波高为满刻度的 100%,固定探头位置及增益控制的位置。

B1.2 用衰减器转接开关从 1dB 到 21dB 每次增加 1dB(或 2dB,由衰减器的最小步进量决定)的衰减量,

并在“dB 衰减器校验表”的相应位置上记下每一步所得的孔底反射波高作为“A”值(见表 B1)。

B1.3 将衰减器转接开关调到接入 10dB 的衰减量,重新调节增益控制器使来自孔底的反射波高达到满刻度的 100%(必要时可改用较大的反射面)。利用衰减器转接开关从 10dB 到 31dB 每次增加 1dB(或 2dB,由最小步进量决定)的衰减量,并在“dB 衰减器校验表”的相应位置上记下每一步所得的孔底反射波高作为“B”值。

B1.4 将衰减器转接开关调到接入 20dB 的衰减量,将孔底反射波高调到满刻度的 100%,记下从 20dB 到 41dB 每增加 1dB(或 2dB)衰减量时反射波的高度作为“c”值填入表中。

B1.5 按上述方法继续进行直至衰减最大。

B1.6 每一步的数据必须落在检验表上所注明的范围之内。

B2 分贝衰减器校准数据表(表 B1)

表 B1

衰减量 dB	荧光屏满刻度百分数					
	标准值	极 限		记 录 值		
		最小	最大	A	B	C
0	100.0	—	—			
1	89.1	85	94			
2	79.4	75	84			
3	70.8	66	75			
4	63.1	59	68			
5	56.2	52	61			
6	50.1	46	55			
7	44.7	40	49			
8	39.8	35	44			
9	35.5	31	40			
10	31.6	27	36			
11	28.2	24	33			
12	25.1	21	30			
13	22.4	18	27			
14	20.0	15	25			
15	17.8	13	22			
16	15.8	11	20			
17	14.1	10	19			
18	12.6	8	17			
19	11.2	7	16			
20	10.0	5	15			
21	8.9	4	13			

附录 C
纵波检验用的标准试块
(补充件)

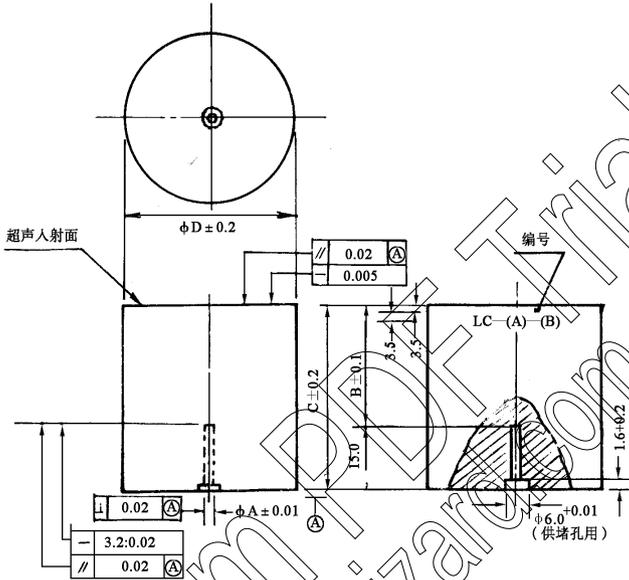


图 C1 纵波检验用的标准试块

C1 纵波检验用的标准试块图(见图 C1)

C2 纵波检验用标准试块尺寸(见表 C1)

表 C1

尺寸	平底孔直径(A)	平底孔埋藏深度(B)			柱高(c)mm		
	mm	mm			mm		
公差	± 0.01	± 0.1			± 0.4		
系列 1	0.8	(1)2.5	(8)30	(15)80	(1)17.5	(8)45	(15)95
系列 2	1.2	(2)5.0	(9)35	(16)90	(2)20	(9)50	(16)105
		(3)7.5	(10)40	(17)100	(3)22.5	(10)55	(17)115
系列 3	2.0	(4)10	(11)45	(18)110	(4)25	(11)60	(18)125
		(5)15	(12)50	(19)120	(5)30	(12)65	(19)135
系列 4	3.2	(6)20	(13)60	⋮	(6)35	(13)75	⋮
		(7)25	(14)70		(7)40	(14)85	

C3 纵波检验用标准试块的其它技术要求

C3.1 D 为试块外径。当 $B \leq 150\text{mm}$ 时, $D \geq 50\text{mm}$; 当 $B > 150\text{mm}$ 时, $D \geq 75\text{mm}$ 。

C3.2 编号顺序为:材料牌号(LC9)—平底孔直径(A)—孔深(B);

C3.3 由加工造成的毛刺均应去除。上下面的外边应该磨圆 $R < 0.8\text{mm}$ 。

C3.4 材料的牌号为 LC9, 热处理状态为 T6。

C3.5 超声入射面粗糙度应为 $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 。

附录 D

横波检验用的平面试块 (补充件)

D1 横波检验用的平面试块图(见图 D1)

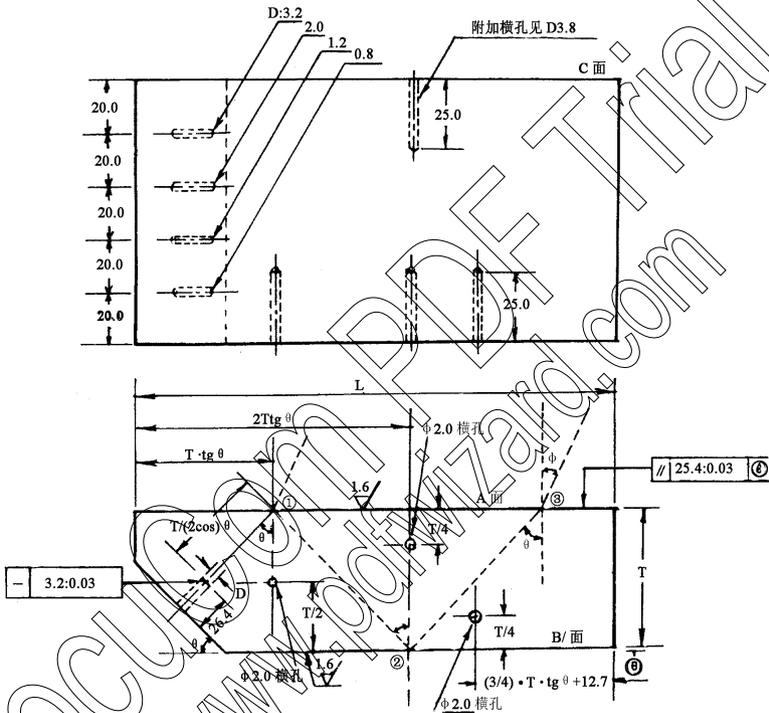


图 E1 横波检验用的平面试块

D2 平面试块厚度、长度与受检件材料厚度的对应关系(表 D1)

表 D1

受检件材料厚度(t)	试块厚度(T)	试块长度(L)
mm	mm	mm
$t \leq 25$	20 或 t	$(3T \operatorname{tg} \theta + 25)$
$25 < t \leq 50$	40 或 t	
$50 < t \leq 100$	80 或 t	
$100 < t \leq 150$	130 或 t	
$t > 150$	$t + 25$	

D3 平面试块的其它技术要求

D3.1 D 指所用验收等级的孔径;

D3.2 试块上可包括所有等级的平底孔,如果试块只用于较少等级时,可使用较少的孔的窄式块;

D3.3 横孔用于测绘“距离—幅度”曲线,当 T 小于 20mm 时不应钻横孔而可在①②③三处入射以绘制曲线;

D3.4 当只使用 1/2~1 个跨距检验较厚的材料时,可使用比图示为短的试块,短试块上的横孔应沿 L 重新定位,使各孔的位置与探测其它孔时的所有声通道至少相距 20mm;

D3.5 θ 为试块中的折射角, $\pm 2^\circ$ 。一般情况下,当 $T = (12.5 \sim 25.4)$ mm 时, $\theta = 60^\circ$, 当 $T > 25.4$ mm 时, $\theta = 45^\circ$;

D3.6 ϕ 为声束入射角;

D3.7 除孔直径允差为规定值的 $\pm 3\%$ 外,所有其它尺寸的允差均为 ± 0.8 mm;

D3.8 厚度大于 25mm 的试块可从 C 面增加一些 $\phi 2.0$ mm 的横孔使所有各横孔轴线距 A 面分别为 6.5mm、12.8mm、25.4mm、38.0mm、50mm 等。直至距 B 面 T/4 为止。各孔沿 L 的位置分布无特殊要求,但各孔与探测其它孔时的所有声通道至少相距为 20mm;

D3.9 所有的孔应当永久性堵塞以保证防水和保持空气—金属界面。

附录 E 空心圆柱体对比试块的制作 (补充件)

EF1 空心圆柱体对比试块的形状(见图 E1)

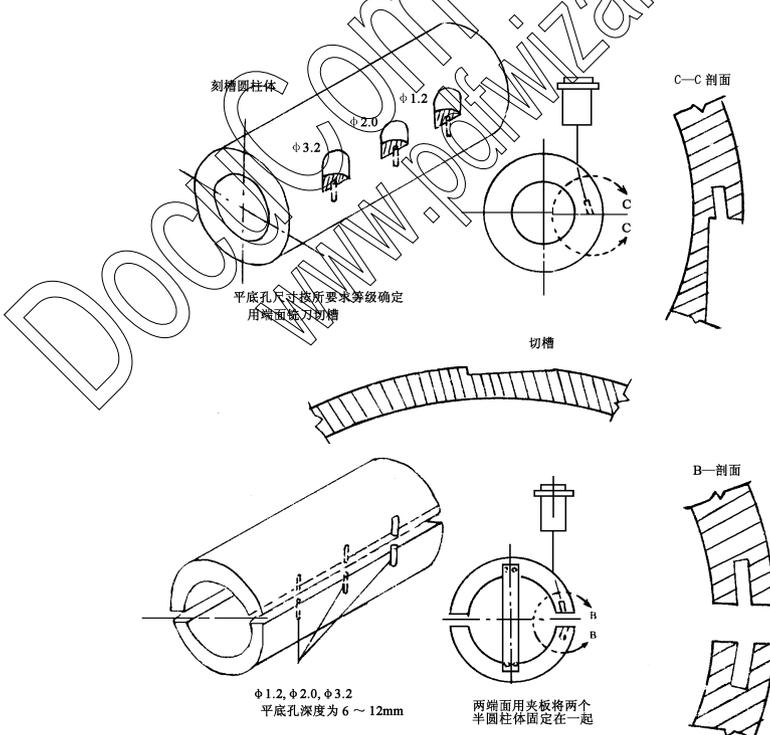
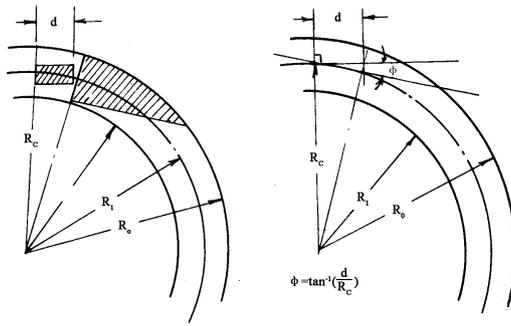


图 E1 空心圆柱体对比试块



注：①孔深 $d=10\text{mm}$ ；

②孔的底面轴线和该处半径的交点位置与该处壁厚中线位置的相差应在 $\pm 2\%$ 以内。

③孔底或槽底面应与半径平行。

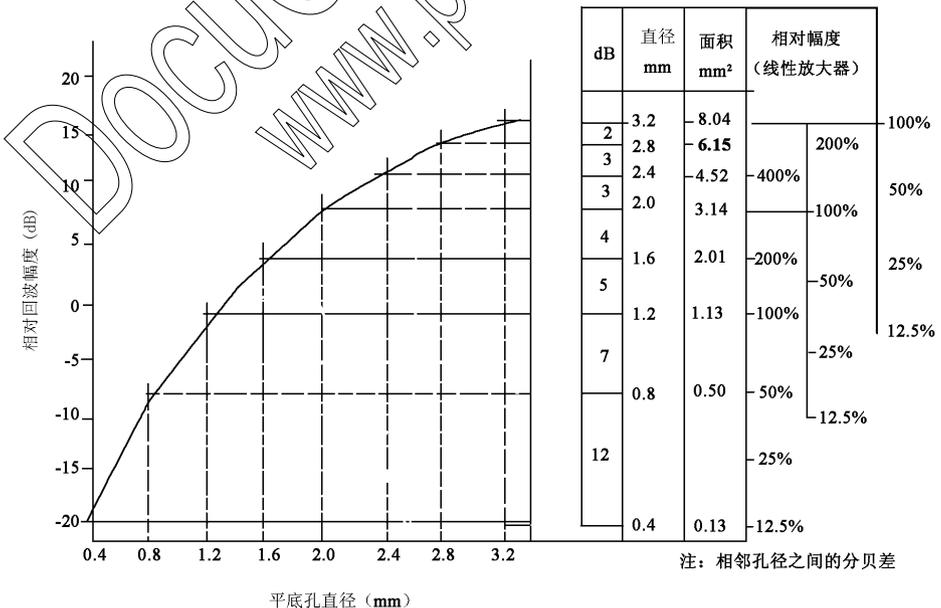
图 E2 空心圆柱体对比试块中反射面的几何形状

E2 空心圆柱体试块中反射面的几何形状 (见图 E2)

附录 F

幅度与孔大小的关系
(补充件)

F1 平底孔大小与反射波幅度的关系 (见图 F1)



注：相邻孔径之间的分贝差

平底孔直径 (mm)

图 F1 幅度与孔大小的关系