



# 钢中主要缺陷的超声波探伤判定方法(一)

牛俊民

**编者按** 目前,无论是钢厂还是机械厂,在对锻件、型材、铸件或机械零件的超声波探伤中,对于缺陷的定性判定都感到困难。牛俊民工程师通过十几年的实践,总结出了用A型超声波探伤仪对钢中主要缺陷的定性判定方法,在冶金部和学会举办的超声波探伤学习班上讲课之后,不少单位索要讲义。为满足广大探伤工作者的需要,本刊将就钢中主要缺陷(蜂窝状缺陷、白点、裂纹、缩孔等)的超声波探伤判定方法作简要介绍,分期登载。

## 第一章 蜂窝状缺陷的超声波探伤

### 第一节 蜂窝状缺陷及其在铸件中的分布

#### 一、蜂窝状缺陷的特征

蜂窝状缺陷是铸件中的一种宏观缺陷,它是由集中的或分散的缩孔、气孔、夹渣所组成,其形状多象蜂窝,所以称为蜂窝状缺陷。

蜂窝状缺陷根据组成不同可以划分为缩孔型的、气孔型的和夹渣型的三种。缩孔型的蜂窝状缺陷主要由缩孔组成,伴有气孔和夹渣;气孔型的以气孔为主,伴有缩孔和夹渣;夹渣型蜂窝则主体是夹渣或同时伴有其它缺陷。

缩孔型的蜂窝状缺陷基本具有缩孔的一些特征,内壁有较发达的树枝状晶,表面往往凹凸不平,周围由于最后凝固常常聚集大量的非金属夹杂物,有时也会出现气孔等其它缺陷。

气孔型的蜂窝状缺陷主要由气孔组成,气孔聚集一起成为蜂窝,气孔内壁光滑,立体形状呈规则的圆形或椭圆形。由于气孔型的蜂窝状缺陷的气孔多而且大,所以它多属于侵入气孔。

夹渣型蜂窝具有夹渣的某些特征,象形状不规则,分布无规律,缺陷处填充着一定的固体物质等等。

无论哪一种蜂窝状缺陷,除具有各自的特征外,还都具有共同的特点,因为蜂窝状缺陷中很少哪一种缺陷单独存在,常常是缩孔、气孔和夹渣共存的。

#### 二、蜂窝状缺陷的分布

##### 1. 蜂窝状缺陷在铸件中的分布

蜂窝状缺陷主要是由缩孔、气孔、夹渣所组成,因而它的出现规律与缩孔、气孔的出现规律相同。它常常出现在铸件中的热节处(图1-1-a)这是由于热节处钢水最后凝固并且凝固收缩时钢液得不到补充,有利于缩孔或气孔的形成。蜂窝缺陷也有时出现在板状铸件的中心轴线处(如图1-1-b),这与板形铸件中心轴线最后凝固并且钢液难于得到补缩有关。蜂窝状缺陷有的还分布在铸造冒口的下方(图1-1-c),这是由于冒口补缩不好或设置不当,缩孔

深入工件或夹渣得不到上浮所致。

## 2. 蜂窝状缺陷在横截面上的分布

蜂窝状缺陷在横截面上的分布主要有以下三种形式，即集中于轴中心部位、分布在二分之一半径处和无一定规律（如图1-2）。

集中于轴心附近的蜂窝状缺陷多数是缩孔型和气孔型蜂窝，因为中心部位是钢液最后凝固的地方，这里最易产生缩孔和气孔；分布在二分之一半径处的蜂窝缺陷一般是缩孔型的，并且多发生在大中型铸件中；无一定分布规律的蜂窝缺陷多属于夹渣型，因为夹渣的出现与它意外掉入钢液有关，并无固定规律。

## 第二节 蜂窝状缺陷的探伤

### 一、蜂窝状缺陷的波形特征

蜂窝状缺陷是铸件探伤中常见的缺陷之一，它分为缩孔型、气孔型和夹渣型三种，它们的声学反射特性各不相同，因而它们的波形特征也不一样。当然，它们都呈蜂窝状，探伤波形也有许多相同之处，下面我们分别加以讨论。

#### 1. 缩孔型蜂窝缺陷的波形特征

上面已谈到，缩孔型蜂窝以缩孔为主，缩孔内壁凸凹不平，同时由于收缩出现孔洞，树枝状晶在这里可以自由生长，所以缩孔壁上都有发达的树枝晶（图1-3）。缩孔中存在气体或处于真空状态，声压透过率很小，因而缩孔型蜂窝具有以下波形特征，伤波呈束状，波底宽大，波峰分枝，主伤波有时出现几个，在主伤波附近常伴有小伤波。

缺陷对底波及底波反射次数影响严重。改换低频率，主伤波的数量减少，但仍具有以上波形特征。

#### 2. 气孔型蜂窝状缺陷的波形特征

气孔型蜂窝状缺陷以气孔为主，气孔内壁光滑多呈球形，其反射声压与球形伤相似，在缺陷直径相同的情况下，球形伤的反回声压与直径成正比，而圆形平面伤的反回声压则与直径平方成正比。因而球形伤的反回声压比同直径的平面伤小得多。

气孔基本同于球形反射体，入射到气孔上的超声波会向各个方向反射，返回探头的声波则很少。因而气孔型蜂窝缺陷的伤波不高，波峰尖锐，伤波为多个尖脉冲成撮分布，当缺陷严重无底波时，常出现缺陷多次反射，在示波屏上只看到杂乱的缺陷波。缺陷波虽不高，但对底波及底波反射次数却影响很大。只有当缺陷分布范围较小又远离探头时才容易出现底波。

#### 3. 夹渣型蜂窝状缺陷的波形特征

夹渣型蜂窝状缺陷具有大块夹渣物的声学反射特征。夹渣虽然破坏了钢的连续性，但缺陷处仍填充有固体物质，具有一定的透声性能，由于夹渣与钢声阻抗的差异，它具有良好的声学反射特性。夹渣型蜂窝的波形特征是伤波呈束状，一两个主伤波附近常伴有许多小伤波，波峰分枝，波头圆钝不清晰。伤波幅度较高，但降低灵敏度时伤波下降速度较快。伤波幅度虽高，但对底波及底波反射次数影响较小。

蜂窝状缺陷对底波的影响除与缺陷的反射吸收特性有关外，还与缺陷的分布形式以及探头与缺陷相对位置有关。例如，心部的蜂窝常无底波；二分之一半径处分布的蜂窝底波很少或无底波，缺陷常出现近始波的部分；对于无规律分布的蜂窝则看探头入射的不同方位。又

如, 探头离缺陷很近, 则可能底波难于出现, 探头离缺陷很远, 缺陷范围小于声束直径, 则可能出现底波。

## 二、蜂窝状缺陷的范围测定

蜂窝状缺陷的测定常用轨迹作图法。所谓轨迹作图法, 就是用直探头或斜探头, 沿缺陷进行扫描, 根据探头中心线移动的范围或探伤时缺陷出现的深度, 描绘出缺陷的轮廓或分布范围的一种方法。

对于平面探伤的工件常用探头中心线的移动轨迹确定缺陷范围; 对于圆周探伤的工件则多用缺陷出现深度法测定缺陷的大小。无论哪种测定方法都必须在规定灵敏度下进行, 因为不同的探伤灵敏度所测定的范围就不同, 灵敏度高时, 测定范围则大; 灵敏度低时, 测定范围则小。经常采用的是缺陷波消失法, 半波高度法或6ab法等。在确定灵敏度时, 可以用试块, 也可以用最大缺陷回波100%高度。

## 第三节 蜂窝状缺陷的探伤举例

### 例一、铸钢耳轴蜂窝缺陷的探伤

这是一个气孔型蜂窝缺陷的探伤解剖实例。气孔内壁光滑, 解剖位置位于冒口下方的工件上。

耳轴是钢水包的重要零件之一。它若发生破断将造成严重的事故, 所以耳轴都采用塑性较好的中、低碳钢, 并且设计有较大的安全系数。为了安全起见, 耳轴一般都要求作探伤检查, 对于表面缺陷则用磁粉探伤或着色探伤, 内部缺陷都用超声波探伤检查。耳轴中常出现的缺陷有晶粒粗大, 蜂窝状缺陷、砂眼、缩孔、异金属夹渣等。

#### 1. 概况

名称: 钢水包耳轴, 材质: ZG45, 表面光洁度:  $\nabla 5$ , 仪器: JTS—3型, CTS—4B型, 使用探头: 2.5MC $\phi 20$ 直探头。探伤灵敏度: CS—I型标准试块150mm深 $\phi 2$ 平底孔反射波高80%, 工件尺寸示意图见图1-4。

#### 2. 超声波探伤情况

耳轴的超声波探伤主要是圆周探伤和端面探伤, 探伤是在正火处理之后进行, 表面光洁度不低于 $\nabla 5$ , 正常无缺陷的耳轴外圆探伤的多次反射一般8次以上, 三角回波清晰可见(图1-5-1), 相同灵敏度, 蜂窝状缺陷部位多次反射明显减少, 有一次底波或无底波(图1-5-2); 缺陷波波峰尖锐, 彼此独立, 移动探头时变化迅速。缺陷波不高, 但对底波影响较大, 有时缺陷呈现多次反射, 扫描线上会出现杂乱的缺陷波。图1-5中的abcd是相对应位置的波形照片, 其中一次底波的位置在水平基线的6格处。

### 例二、铸钢托轮蜂窝状缺陷的探伤

这是一个夹渣、缩孔并存的蜂窝缺陷解剖实例, 它多发生在铸件的热节处。

#### 1. 概况

名称: 托轮, 材质: ZG55, 表面光洁度:  $\nabla 4$ , 探伤仪: CTS—4B型, 探头: 2.5MC $\phi 20$ 直探头, 探伤灵敏度: CS—I试块200mm深 $\phi 2$ 孔调80% (“通常”档), 工件尺寸及探伤部位示意图见图1-6。

#### 2. 探伤情况

用超声波对托轮探伤, 发现在几处铸造截面突变处(热节)有缺陷波, 缺陷波脉冲强,

成丛状，加之有规律的分布，我们当时判定为缩孔夹渣气孔并存的蜂窝缺陷。现就比较典型的一处的探伤情况介绍如下。

缺陷处对底波有一定影响，但不甚严重。从B面探伤，将第一次底波调至水平基线的9格处（即每格代表深度30mm），缺陷波最早出现位置为1格（即缺陷从深度30mm处开始出现），随着深度的增加，缺陷波增多，分布范围加大，当深度在2~2.5格（相当于深度60~75mm处）时缺陷最严重。缺陷呈一定的体积分布，从A面和圆周方向都可以探到。对缺陷进行逐层解剖，离B面26mm时出现缺陷，63mm处缺陷最严重，分布面积最大。从B面用轨迹作图法测得的范围与实际缺陷范围基本相同。

### 3. 超声波探伤波形

使用CTS—4B型探伤仪，辉度适当，装好暗筒，用DF—AB相机，GB21°胶卷，曝光时间2秒。

从A面或B面探伤，无缺陷部位多次反射良好，底波6次以上（图1-7-1）；缺陷从A面B面和圆周面（C面）都容易探着，波形成撮分布，主伤波1~2个，周围伴有密集的小伤波，A面的探伤波形见图1-7中 $a_1a_2$ ；其中 $a_1$ 是2.5MC波形， $a_2$ 是0.63MC波形。B面探伤波形见 $b_1b_2$ ，C面探伤波形见C（一次底波在水平线7格处，前面为缺陷反射）。

### 例三、铸造箱体蜂窝状缺陷的探伤

这是一个球墨铸铁中缩孔型蜂窝的探伤解剖实例。

球墨铸铁的碳主要以球状石墨的形态存在，基体与钢并无大的差别，因此有人称它为存在有球状缺陷的钢。球墨铸铁中的石墨与灰口铸铁中的片状石墨相比具有不容易产生应力集中的优点，又加上球状石墨尺寸较小，均匀分布，所以球墨铸铁具有与钢相近的强度、塑性和韧性。

球墨铸铁的探伤则视石墨大小而定，一般说来，当球状或团状石墨的直径与超声波的波长可比拟时，则超声波的穿透性能变差，高灵敏度探伤时便出现草状回波，这时的波形与晶粒粗大相类似。

JB1802—76稀土镁球墨铸铁金相标准中把石墨按其大小分为五级。将这个标准与钢的晶粒度评级图相比较不难看出，球墨铸铁中的石墨大小1级相当于钢晶粒度的8级；2级相当于6~7级；3级相当于5级；4级相当于4级；5级对应于晶粒度评级图中的1~3级。钢的晶粒度评级中把1~4级划分为粗晶粒，5~8级划分为细晶粒，那末球墨铸铁中石墨大小的4级和5级则对应粗晶范围，通常的探伤频率将引起较大的散射和吸收，使探伤困难。

大多数球墨铸铁件，特别是需要探伤的球铁铸件，对石墨的大小都有一定要求，所以球墨铸铁件对超声波的衰减都很小，它们的探伤并不困难，本章例三的箱体就是一例。

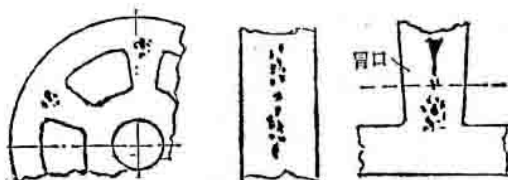
不但球墨铸铁件可以作探伤检查，而且具有厚片状石墨的冷硬铸铁轧辊的宏观缺陷也可以用超声波探伤检查。有关资料指出，当石墨呈厚片状或蠕虫状分散分布，其长度在0.03~0.15毫米时，低频率探伤也具有较好的透声性能。

#### 1. 概况

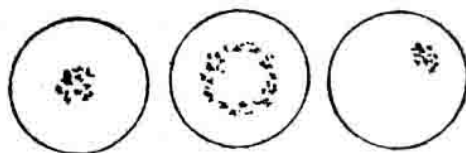
名称：箱体，材质：QT—6—2，表面光洁度：V5，机油耦合，仪器：CTS—4B，探头：2.5MC， $\phi 20$ 直探头。灵敏度：CS-1型试块100深 $\Phi 2$ 孔反射波离80%“通常”档。工件厚度110毫米。

#### 2. 超声波探伤波形

一批共探三件，其中一件底波反射次数很少，有缺陷；另外两件多次反射4~8次，无缺陷波（图1-8-1）。有缺陷的工件底波只有1~2次（图1-8-2），有的部位底波消失（图1-8-3），只有杂乱的缺陷波。将一次底波拉开到水平基线4格处并降低灵敏度，图1-8-a<sub>1</sub>是有一次底波的情况，a<sub>2</sub>是无底波只有缺陷反射波的情况。（待续）



(a) 热节能 (b) 中心轴线处 (c) 冒口端下方  
图 1-1 蜂窝状缺陷的出现规律



(a) 集中于轴心部位 (b) 分布在1/2R处 (c) 无一定分布规律  
图 1-2 蜂窝状缺陷在横截面上的分布

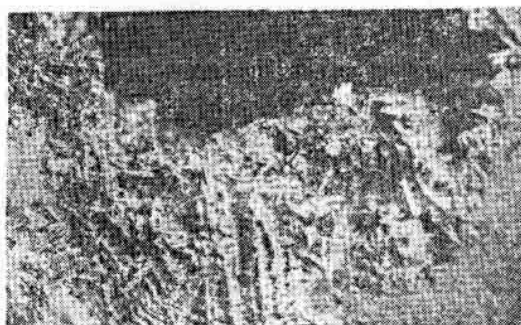


图 1-3 缩孔内壁上的树枝晶

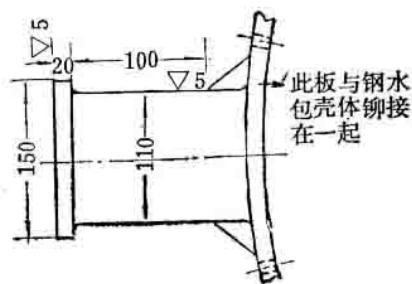


图 1-4 钢水包耳轴尺寸示意图

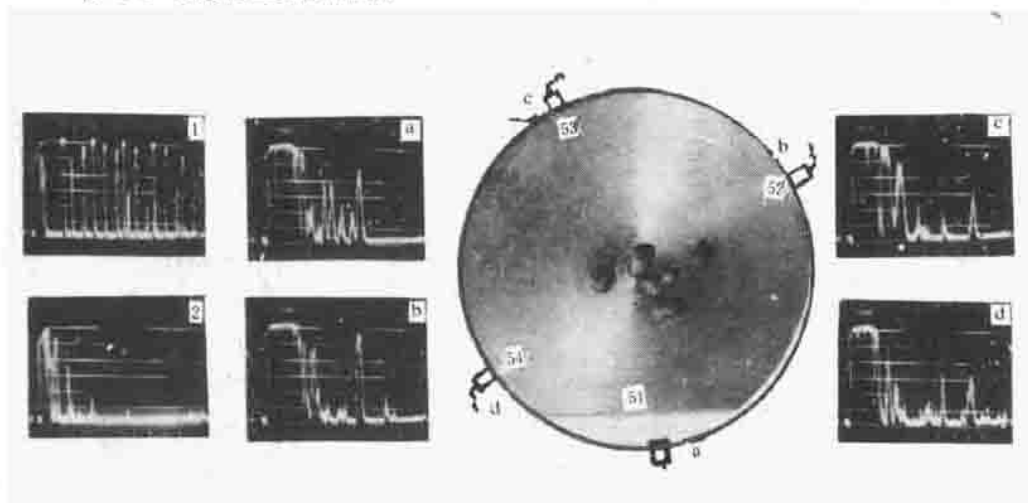


图 1-5 铸钢耳轴蜂窝缺陷探伤波形



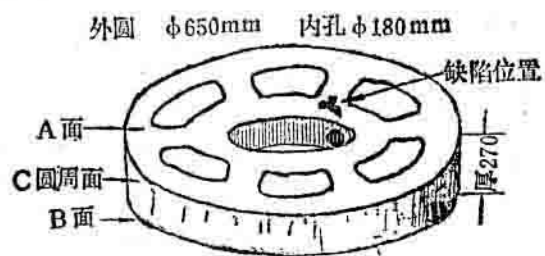


图 1-6 托轮尺寸及探伤部位示意图

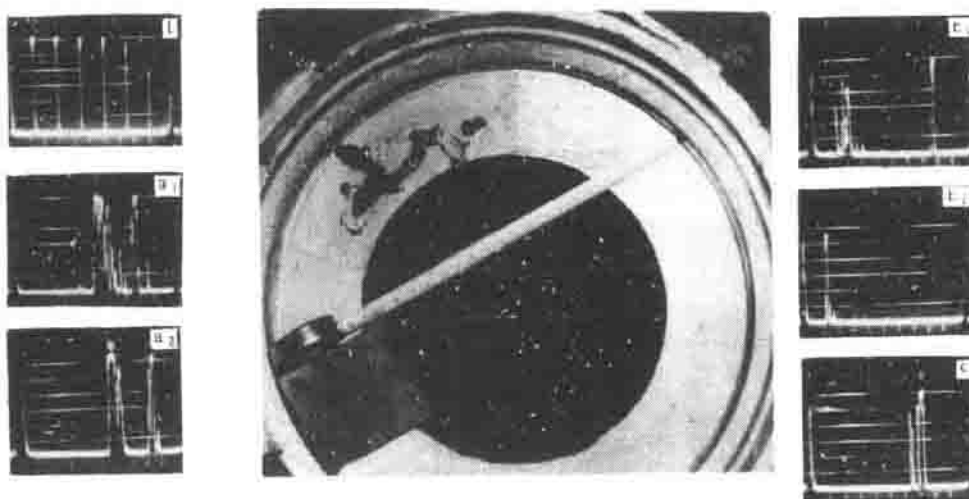


图 1-7 ZG55托轮蜂窝缺陷探伤波形

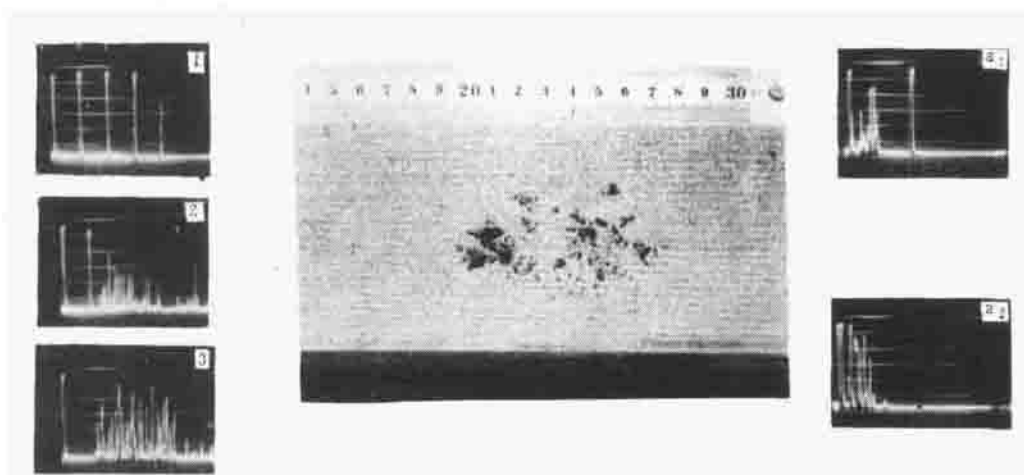


图 1-8 箱体蜂窝缺陷探伤波形

想了解更多缺陷的超声波定性探伤资料可以登陆我的网站：<http://www.niujm.com/njm.htm>  
或者去查看我出版的书 [《钢中缺陷的超声波定性探伤》](#)