

# 白点缺陷的超声波定性探伤

牛俊民

## 〔摘要〕

本文介绍白点缺陷的超声波探伤方法。由于A型超声波探伤仪不够直观，探伤时缺陷性质难于判定。掌握白点在钢中的分布规律，白点对底波多次反射的影响和白点的波形特征之后，使用A型仪器检查钢中的白点并不困难。

## 前言

白点是钢中最危险的缺陷之一。钢中白点的存在破坏了钢的连续性，并形成严重的应力集中，经常使工件在热处理中开裂或在使用中突然破断造成人身设备事故。因此，白点缺陷的检验工作十分重要。

过去检查白点一般是采用低倍组织检查和断口检验，它必须在坯料或工件上规定部位截取一个试片，费工费料，而且有可能漏检。

近年来，随着无损检测技术的发展，特别是超声波探伤的发展，白点缺陷的检测有了新的可能。但是目前的超声波探伤大都是利用A型脉冲波形对缺陷进行判断，不够直观，难于定性。本文介绍了白点缺陷的分布规律，各类缺陷对超声波底波多次反射的影响，分析了白点缺陷的波形特征，从而找出白点缺陷的超声波探伤判定方法。

## 一、白点在钢中的分布规律

超声波探伤虽然不够直观，但是它能提供缺陷在工件中的立体分布，并且可以提供缺陷大小的当量概念。所以白点在钢中的分布规律以及白点在不同钢种的出现规律对白点的判定有很大意义，因此我们在介绍探伤之前先作一介绍。

首先，不同的钢种，对白点的敏感性不同。含碳量0.35%以上的碳钢和合金结构钢、合金工具钢都可能产生白点。实践证明，合金钢的白点敏感性比碳素钢大，并且以含镍、铬、锰等元素的合金结构钢、合金工具钢的白点敏感性最大，而奥氏体钢、纯铁素体及莱氏体钢中没有白点。

白点的形成机理有许多种假说，但比较有说服力的几种观点都认为与钢中含有较多的氢有关。实践证明，钢中氢含量低于2.0毫升/100克钢便不产生白点。普遍接受的观点是，钢中原子状态的氢使钢变脆，钢在锻（轧）后冷却时的应力，例如热应力，组织应力，形变应力等是使钢破裂的动力。这些应力可能是共同作用，也可以是单独起作用。在氢和破裂动力的作用下，形成了钢中内部的裂纹群——白点。

预防白点的措施主要是减少钢中的氢含量，其中使氢从钢中逸出是很重要的环节。

鉴于白点的形成与氢的逸出及材料有关，因此白点在钢中的分布有以下几个特征。

白点的出现往往具有批量特征，即相同冶炼炉次，相同处理工艺，相同锻件及锻后冷却工艺，往往都会成批出现白点。

白点容易产生在大截面的部分。

由于氢的扩散外逸，靠近锻坯端头及表面不会产生白点（经机加工后白点露至表面情况例外）。

概括起来，白点在钢锻件中的分布主要有以下几种形式（为清晰起见，剖面部分剖面线省去）。

圆饼形锻件见图 1；厚壁管形锻件见图 2；轴类锻件见图 3；长条形方截面锻件见图 4；方形锻件见图 5。

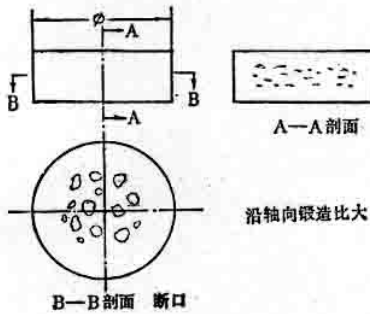


图 1 圆饼形锻件中白点的分布

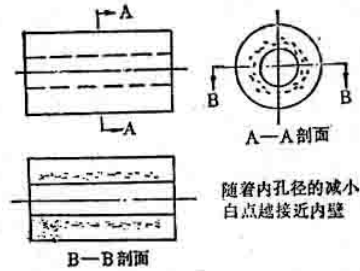


图 2 (a) 厚壁管形锻件中白点的分布形式之一

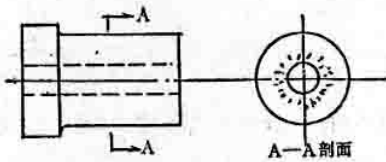


图 2 (b) 厚壁管形锻件中白点的分布形式之二

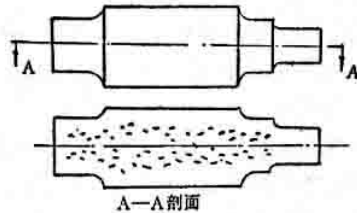


图 3 (a) 轴类锻件中白点分布形式之三

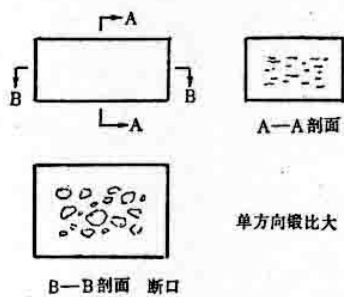


图 3 (b) 轴类锻件中白点分布形式之二

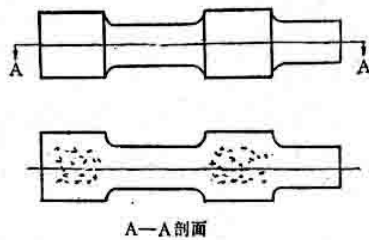


图 3 (c) 轴类锻件中白点分布形式之三

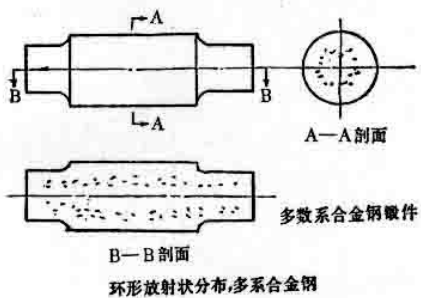


图 3 (d) 轴类锻件中白点分布形式之四

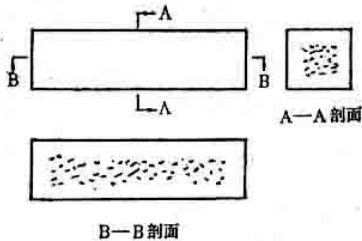


图 4 长条形方截面锻件中白点的分布

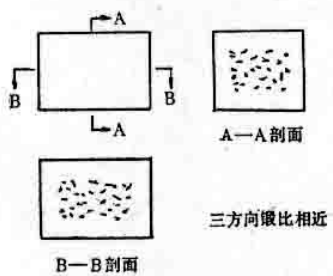


图 5 (a) 方形锻件中白点的分布形式之一

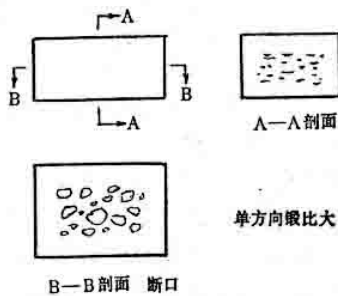


图 5 (b) 方形锻件中白点的分布形式之二

除上述分布形式之外，有时因特殊的冷却条件，白点也可能分布在工件长度的一半上或在圆形截面的半个圆上，但比较罕见。

白点的上述分布特征，是我们判定白点的重要依据。

## 二、白点的超声波探伤

### 1. 底波多次反射在白点判定上的应用

超声波探伤中的多次反射法又叫多次脉冲反射法，它是纵波探伤法的一种。它以多次底波为依据进行探伤和判伤。利用接触法对锻件进行超声波探伤时，常常分为粗探和精探两个过程。粗探时一般采用多次底波对整个工件粗扫描，这一过程可以获得对内部质量的概括了解。它主要是根据缺陷的有无以及缺陷对多次反射的影响进行判断的。

多次反射在不同形状的工件上有着不同的反射情况。在探测板状工件或工件中相当于板状部位时，多次反射呈均匀分布按指数曲线递减的多次波（图6）。对轴类工件作圆周探伤时，由于出现三角回波及波型转换，出现图7波形。

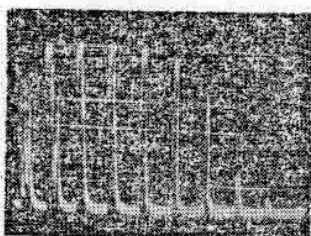


图 6

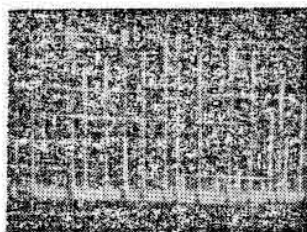


图 7

不同性质的缺陷对超声波的吸收不同，漫反射情况不同，对超声波多次反射的影响也不一样。我们在生产检验中体会到，在工件内部致密无缺陷，表面（ $\nabla 5 \sim \nabla 6$ ）耦合良好的情况下，碳素钢与合金结构钢，厚度或直径为300~500毫米时，锻后退火状态，2.5MC探测多次反射应有6~8次以上且无缺陷反射即为正常。对轴类锻件退火状态而言，中小锻件直径 $\phi 300$ 毫米左右，多次反射应有10次以上；大锻件直径 $\phi 500 \sim 800$ 毫米，多次反射应有5~6次以上。应当指出，调质处理以后，多次反射会有相应增加，这是由于热处理后组织变细的结果。

白点是存在于大锻件内部的裂纹群。它在工件中的形状是许多呈圆形或椭圆形的片状开裂。裂纹面上凸凹不平，往往是粗结晶的。这种缺陷对超声波的吸收及漫反射都很厉害，又由于白点的无规则分布，对底波及多次反射影响很大。当缺陷严重时可使底波消失，这时只有杂乱分布的缺陷波（图8）。根据白点的分布规律，靠近工件端头无白点且多次反射良好（图9），白点部位底波一般只有1~3次，并且在两底波之间伴有丛林状缺陷波。白点对多次反射的影响与白点级别、白点方位声波入射方向有关。图10是与图9相同灵敏度下，碳素钢中无位向分布的白点波形，底波只出现两次。

分散性夹杂物也能造成对底波的吸收和形成丛林状缺陷波，但与白点比较，对底波多次反射影响较小。图11是分散性夹杂（渣）物的多次反射，它与图10是同一材质、相同尺寸的零件（ $\phi 230$ 毫米轴）。

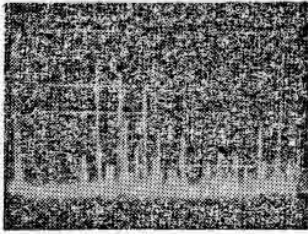


图 8

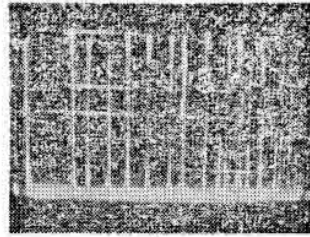


图 9

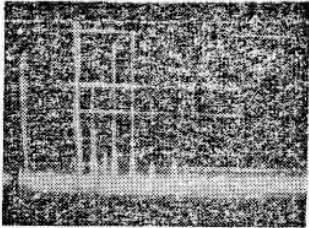


图 10

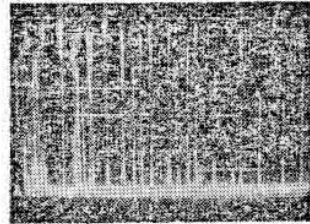


图 11

锻件中的缩管残余因经锻打多呈心部裂纹状。这种缺陷也对底波反射次数影响严重，但它的缺陷波脉冲宽大，因缺陷呈裂纹状，所以在圆周各处探伤时，对多次反射影响不完全相同。同时它出现的位置与白点不同，它一般出现在工件的一端并一直延伸到工件头部，图12是缩管残余的多次反射。

内裂纹是未暴露表面的内部破裂，它是由于锻造或热处理不当所致。内裂纹不管是纵向的或者是横向的，对超声波多次反射都有很大影响。就轴中存在的纵向内裂纹而言，当超声波顺裂纹方向入射时，即使底波出现，由于超声波被裂纹边缘侧面吸收和漫反射，反射次数也很少（图13）。而当超声波垂直于内裂纹方向入射时，往往无底波，只有裂纹的多次反射

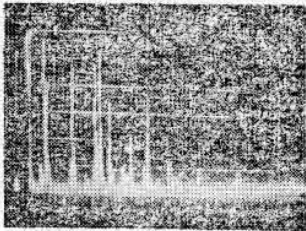


图 12

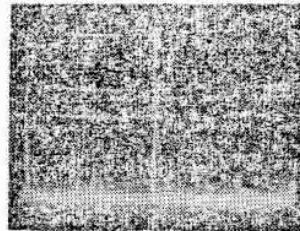


图 13

(图14)。

疏松、偏析和晶粒粗大都会影响底波的多次反射。实践证明，锻件中3级以下的疏松与偏析对超声波多次反射影响不大，只有严重的疏松偏析才会造成超声波的大量吸收和反射，使反射次数减少。探伤晶粒粗大工件时，若仍使用高频率(例如2.5MC，5MC或更高)探伤，会发现多次反射很多(1~2次)，正常灵敏度下无缺陷波(图15)。提高灵敏度时会出现草状波(图16)。判定是否晶粒粗大的方法是改用低频率探伤，这时底波多次反射会恢

复，并且不再出现缺陷波（图17），另外一种方法是将工件作正火处理，正火后复探时多次反射也会正常。

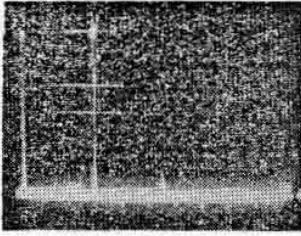


图 14

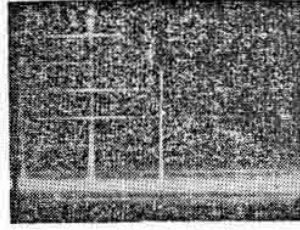


图 15

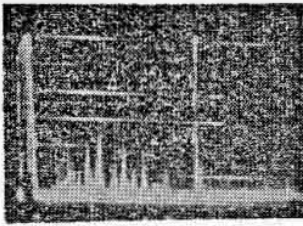


图 16

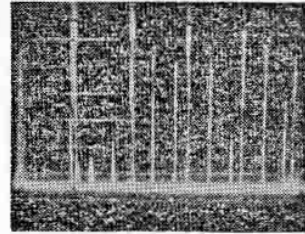


图 17

需要注意的是，影响超声波多次反射的因素不只是工件中的缺陷，象工件的表面光洁度，仪器与探头的组合灵敏度，以及探测面和底面的平行度等都有明显影响，探伤时要注意。

## 2. 白点的探伤特点及波形特征

白点缺陷的探伤可以使用带衰减器的仪器，也可以使用不带衰减器的仪器。为使不同深度的缺陷在示波屏上有相同的反射幅度，最好使用带深度补偿的仪器，或者带有距离—幅度—补偿（DAC）的仪器。探伤灵敏度一般使用 $\Phi_2$ 或稍高的灵敏度。横波探伤可用入射角 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ 及 $50^\circ$ 探头，灵敏度一般用CSK-Ⅲ试块调整，使深度为120mm， $\phi 1$ 孔调至垂直刻度的80%高。

纵波探伤时群聚性很强的白点，除对底波高度、底波反射次数有严重影响外，白点缺陷的反射波形还有以下特征：缺陷波彼此独立，波形尖锐，探头移动时缺陷波的变化速度较慢，降低探伤灵敏度缺陷波下降不快，圆周各处探伤时波形基本类似等。当使用横波探伤时会出现很敏锐的缺陷波，往往是彼此独立的数个波，当稍微转动探头角度，缺陷波便迅速切换并在水平扫描线上前后移动一定距离（图18）。当入射方向合适，纵向或圆周方向移动探头时，这几个缺陷波也往往在水平扫描线上移动一定距离（图19），在这几个波消失的同时，差不多在相同深度上又会出现另外几个缺陷波。

使用直探头或斜探头进行探伤，若灵敏度较高，疏松及晶粒粗大缺陷也能产生草状波，这时的波形有一种虚幻感，波形不象白点那样彼此独立，移动探头时波形变化很快。

综上所述，只要把白点产生原因、分布规律及超声波反射特征掌握好，利用超声波探伤判定工件中有无白点是不难的。但是还请注意以下几点：

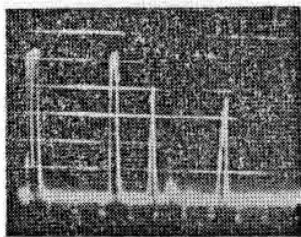


图 18

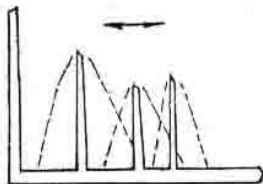


图 19

(1) 掌握好白点的分布规律。白点波形主要有两种分布特征，一种是白点集中在心部附近，靠近起始波根部及底波前沿不会有缺陷波（如图20）；另外一种呈“环状”分布的白点，它的波形是有两撮缺陷波（图21），即中心部位及始波后、底波前都无缺陷波，缺陷分布在一个环形带中。由于在锻件的端头不会产生白点，所以在探头移动到靠锻坯端头100~

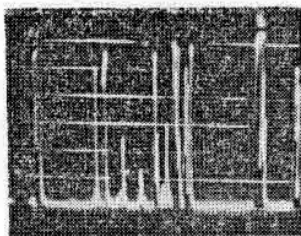


图 20

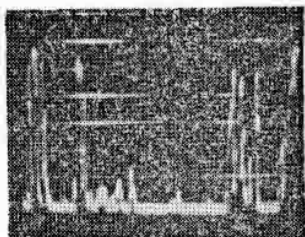


图 21

200mm时，缺陷波基本消失，多次反射恢复正常。

疏松与方框形偏析在分布位置上与白点相类似，但3级以下疏松偏析对底波的多次反射影响不大，并且只有比正常探伤灵敏度高10~20db时才出现缺陷波。缺陷波反射较弱，降低灵敏度时缺陷波下降迅速，移动探头时缺陷波跳动很快。在分布位置上疏松和偏析往往一直延续到工件端头。提高探伤灵敏度时，底波次数有明显增加。

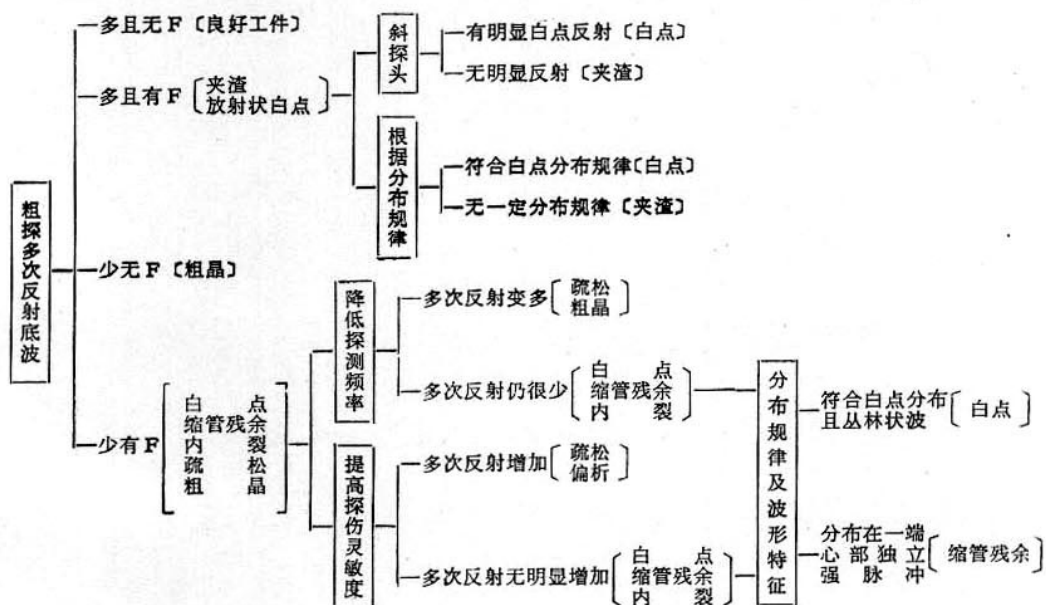
(2) 分散性夹杂（渣）物也能造成对底波的吸收和形成丛林状缺陷波，但与白点比较，对底波反射影响较小，其分布也不象白点那样具有规律性。一般说来，夹杂物冒口处多于水口处。降低探伤灵敏度时缺陷波下降也较快。

(3) 缩管残余及内裂纹虽然严重影响底波反射次数，但它们的波形及分布都与白点不同。

(4) 轴内呈环状分布的放射状白点，对底波反射次数的影响有时也不一定明显，如果仍只按底波是否消失来判伤，必然造成误判。这时应把缺陷是否呈环状分布作为判伤的依据，同时采用斜探头（40°或稍大入射角）沿圆周方向探测，这时会有敏锐的波形。值得注意的是探测合金钢大锻件时，由于工件对超声波衰减较大，白点缺陷只出现靠近起始波那一撮，而对面一撮难以出现，这时判断缺陷是否呈环状分布时，主要是依靠探头沿轴的圆周方向移动过程中，比较接近起始波的那撮缺陷是否在各处都能显现作为依据。

最后应该指出，当白点级别等于或者小于一级时，单凭超声波探伤定性也会遇到困难，因为此时的缺陷波与夹渣锻后形成的缺陷很难分辨。

### 三、白点缺陷超声波探伤判定程序



↑  
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注