

钢中主要缺陷的超声波探伤判定方法(三)

牛俊民

第三章 缩孔与缩孔残余的超声波探伤

锻件通用技术条件中规定,缩孔残余与裂纹、白点一样,都属于不允许缺陷,因而用超声波探伤方法来确定缩孔与缩孔残余有很重要的现实意义。本章从分析缺陷的出现规律和低倍特征入手,介绍了缩孔与缩孔残余的波形特征,列举了实际探伤的例子,并提出了根据超声波探伤波形划分锻件中缩孔残余级别的设想。

第一节 缩孔、缩孔残余的分布及特征

一、缩孔、缩孔残余的产生及分布

1. 缩孔的产生

锻件及铸锭中缩孔的产生过程是这样的,当液态钢水倒入型腔或锭模后,随着温度的降低便产生体积收缩,钢的总体收缩包括液态收缩、凝固收缩和固态收缩三部分。由于液态收缩和凝固收缩得不到补充,在钢液最后凝固的部位形成的空洞叫做缩孔。深入钢锭内部与缩孔不相通的孔洞叫二次缩孔。

在铸件中,缩孔一般出现在热节处或冒口下方,即钢液最后凝固并补缩不良的地方。在沸腾钢锭中,钢锭在凝固过程中的收缩,很大程度被分散的、有规律分布的一氧化碳气泡所填充,因此一般没有缩孔。对于合金钢或大型锻件,大都用镇静钢,它的锭型是上大下小,其目的是让钢液自下而上顺序凝固,因此镇静钢锭的缩孔都出现在钢锭的上部——冒口端。

2. 缩孔残余的产生及出现规律

前已述及,钢在凝固过程中的收缩是不可避免的,因而在镇静钢锭中出现缩孔同样也不可避免。在生产中人们尽量争取让缩孔只出现在冒口端很浅的深度内,以便切冒口时把它去掉。尽管人们作了很大的努力,例如,设计合理的锭型,安放保温帽等措施,在实际生产检验中仍然常常碰到缩孔残余缺陷。

锻件中的缩孔残余一般常由以下两种原因引起:一种是铸锭中的缩孔虽不太深,但由于锻件成材率高,锻件中尚有一部分缩孔没有切除干净而残留在工件内部。对于钢锭的利用率,根据零件的重要性有不同的规定,资料[3-1]给出了不同锻件的钢锭利用率,其中利用率最高为74%,最低为45%。如果随意提高钢锭利用率,则锻件质量就难以保证,以致于产生缩孔残余缺陷。另一种情况是,锻件虽然按照规定比例切除冒口,但是因工艺不当,钢锭中的缩孔过深或产生了二次缩孔,从而形成了锻件的缩孔残余。

缩孔残余在锻件中的分布与锻件在钢锭上的截取位置有关。在一锭一件的锻件中,缩孔残余一般出现在冒口端一定深度内,其深度也不相同,浅者有几十毫米,深者可达几百毫米或更长。在一锭多件的锻件中,缩孔残余多数产生在冒口端的锻件上,其深度相对较大,有

的甚至贯穿整个工件。

缩孔残余通常出现在锻件的一个端头；锭件中缩孔出现在丁字形热节处时，常常是各方向相等的空洞；当它产生在窄长工件中心轴线处时，缩孔往往是沿轴线方向的断续或连续的孔洞；铸锭中的缩孔通常是冒口端盆腔式空洞，有的则表现为纵向有一定长度的管形孔腔，因而有人也称作缩管。

缩孔的内壁凸凹不平，由于最后凝固的钢液在孔腔内可以自由生长，因而这儿的树枝晶特别发达。缩孔又是钢液最后凝固的地方，这里常伴随有夹渣、低熔点的杂质，疏松和晶粒粗大。

缩孔宏观尺寸较大，一般不用低倍腐蚀就可以看到。

缩孔残余在横向酸浸低倍试片上的特征是：它是出现在心部附近的、变形过的孔洞或裂纹，它的周围伴随着夹渣、夹杂物和疏松缺陷。缩孔残余的形状与锻造条件有关，当锻比较小时，缩孔残余可以是圆形孔洞或不规则的空隙；当锻比较大时，缩孔残余则变成十字形、鸡爪形、人字形或一字形裂纹状（图3-1）。

缩孔残余的纵向断口特征表现为心部宽度不等的条带。因经纵向延伸，断口上常出现类似木纹状断口的特征，有时则因缩孔中有夹渣或夹杂物，断口上呈现绿色或灰色。经变形过的缩孔残余已很难看到树枝状晶的形态。

缩孔残余虽属不允许缺陷，在实际生产中也不是一律报废。例如，粗车探伤时发现的纵向长度较浅的缩孔残余，经调正后可以避开缺陷仍不影响零件的加工；对于级别较轻的缩孔残余，如果用于承受扭转或弯曲的零件上，征得有关技术部门的同意，也可以在心部掏孔把缺陷全部加工掉，这样做也不会对使用寿命带来多大的影响。

第二节 缩孔、缩孔残余的波形特征

一、缩孔、缩孔残余的声学反射特征

缩孔的内壁凸凹不平，有着发达的树枝状晶，即便是宏观上看去较平坦的内壁，在扫描电子显微镜下也高低不平，存在有大量乳头状枝晶末梢，或叫自由表面（图3-2）。缩孔的这一特征使声波在此处的散射增多，反射回的声能相对减少，其反射声压比相同直径的平底孔反射声压小得多。

缩孔残余则经锻轧等变形，表面变得较为平整，且具有一定的方向性，它的声压反射特征接近于裂纹，特别是当锻轧比较大时，缩孔残余与轴心内裂纹已难于区分。关于裂纹的声压反射特征，我们将在第四章中详细讨论。

二、缩孔、缩孔残余的波形特征

缩孔与缩孔残余的波形特征与它的分布规律和低倍特点相联系。

缩孔、缩孔残余的波形特征之一是，伤波呈束状，波底宽大，主伤波附近伴有许多小伤波。这一波形特征主要是由于缩孔内壁凸凹不平，虽然声波在介质上的散射严重，但在同一波阵面上的反射体仍能形成较强的反射讯号。因此伤波脉冲强烈，主伤波1—2个。又因缩孔周围常伴有夹渣、夹杂物 and 不同波阵面反射回波的时间不同，在主伤波周围形成了许多小伤波，同时造成了波峰分枝的特征。缩孔的探伤波形周围各方向都基本类似，锻件中的缩孔残余有的则因锻造时缩孔被打扁而出现明显的方向性，即圆周各方向的反射波幅不完全相同。

缩孔及缩孔残余的第二个波形特征是，缺陷对底波及底波反射次数影响严重。缩孔表面

大量的树枝状晶和凹凸不平的表面，造成大量声波被漫反射，这是引起底波衰减的因素之一；引起底波衰减的原因之二是缩孔及缩孔残余的空隙中一般存有气体，其声压透过率几乎为零。又加缩孔及缩孔残余大都位于轴心附近，这就使超声波束难以射到底面，因而对底波影响较大，轻者出现3—4次底波，重则一次底波或无底波。

缩孔残余的第三个波形特征是，缺陷波出现在始波与底波的中间位置或稍微偏前，有时会在底波前出现缺陷的二次回波（如图3-3所示）。由于轴类锻件中缩孔残余的反射脉冲较强，又加出现在中心附近，因而容易误判为第一次底波。区分是缩孔残余伤波还是第一次底波的方法是，底波的波形清晰，波的前后都无杂波，而缩孔残余的伤波则与此相反；另一个方法是用深度定位法来确定，底波出现在与直径相对应的深度上，缩孔残余伤波则出现在与半径相对应的深度上。

缩孔残余的第四个波形特征是，缺陷波具有连续特性。轴心部位也常常出现夹杂物，但在直探头纵向移动探伤时，夹杂物（或夹渣）的缺陷波一般不连续，常常出现波形切换；而缩孔残余的反射脉冲则纵向延伸一定长度，除二次缩孔以外，往往延伸至轴的端头。缩孔残余因被打扁圆周各处反射幅度不尽相同，打扁的方向与钢锭初锻方向或压下量较大的方向有关。

第三节 缩孔与缩孔残余探伤实例

例一、铸钢80CrMo轧辊的超声波探伤

1. 概况

名称：皮尔格轧辊 材质：ZG80CrMo轧辊尺寸及缺陷位置见图3-4 表面光洁度： ∇_5 。热处理状态：正火 CTS—4B型仪器 2.5MC ϕ 20直探头 灵敏度：CS—I型试块 200mm深 Φ 2孔反射波高80%

2. 探伤情况

用2.5MC直探头圆周探伤，水口端底波多次反射8次以上，三角回波清晰可见，无缺陷波（图3-5-1）；冒口端离端头A150mm内一段无底波只有中心部位的束状缺陷波；150mm至350mm段有一次底波伴有缺陷波，多次反射底波有3次（图3-5-2）。图3-5中的 a_1 、 b_1 、 b_2 和 b_3 分别是探头在a与b位置上的波形，其中 b_3 是提高灵敏度后的波形，图中一次底波在闸门前沿位置。

1.25MC探伤情况与2.5MC基本相同，底波反射次数稍有增多。

1.25MC，30°斜探头探伤，灵敏度在CSK—Ⅲ试块上调节深120mm处 ϕ 1孔反射波高为80%，无论是纵向放置探头还是圆周方向放置探头，都很难发现伤波。

例二、40Cr轴二次缩孔的探伤

1. 概况

名称：轴 材质：40Cr毛坯：圆钢 ϕ 170mm 探伤时光洁度： ∇_5 。锻件尺寸及缺陷位置见图3-6 探伤仪：CTS—8A CTS—4B 探头：2.5MC ϕ 20直探头 灵敏度：在CS—I型标准试块 Φ 2/150— ϕ 60 \times 175mm Φ 2孔反射波高调80%。

2. 探伤波形

在 ϕ 120mm段探伤，多次反射良好，底波10次以上（图3-7-1）多数部位无缺陷波，偶尔出现心部缺陷波，但缺陷对底波次数影响不大，判为夹渣缺陷。在图示缺陷位置出现中心

部位的缺陷波，伤波反射强烈，纵向移动探头伤波连续，且对底波反射次数影响严重，只有两次底波（图3-7-2）。圆周各方向探伤伤波基本相同。图3-7中 a、b、c、d、e 是圆周各处探伤时的波形。

例三、人字齿轴缩孔残余的探伤

1. 概况

名称：2300冷轧机650齿轮座下人字齿轴 材质：40CrMnMo锻件 表面光洁度 $\nabla_5 \sim \nabla_6$ 。
 状态：锻后退火 探伤仪：JTS-3型、CTS-4B型 探头：2.5MC、1.25MC $\phi 20$ 直探头
 灵敏度：CS-I试块 $\Phi 2/200 - \phi 70 \times 225\text{mm}$ $\Phi 2$ 孔反射波高50%。工件尺寸及缺陷位置见图3-8。

2. 超声波探伤

用JTS-3型仪器2.5MC探伤，A段2-3次底波无伤波；B段无底波，只有草状回波，系粗晶反射，偶尔有单个较强反射信号系小块夹渣反射。改用1.25MC探伤，粗晶引起的草状波消失。C段从 $\phi 426\text{mm}$ 中部开始到端头，中心缺陷反射强烈，伤波有二次反射。底波有的部位消失，有的部位只有一次，伤波连续，圆周各处探伤，波形基本类似。探伤时判定为缩孔残余。

用CTS-4B型仪器拍摄波形如下（1.25MC）：

同直径无缺陷部位多次反射良好（图3-9-1），缩孔残余部位底波严重衰减并杂乱（图3-9-2）。 a_1 、 a_2 、为纵向不同部位的缺陷波形； a_3 是有伤波二次反射的波形；降低灵敏度时，底波下降比伤波快， $a_4 - a_5$ 是降低灵敏度时的波形。

例四、42CrMo轴缩孔残余的探伤

1. 概况

名称：轴 材质：42CrMo锻件 毛坯尺寸： $\phi 400\text{mm}$ 表面光洁度： ∇_6 。热处理状态：调质 探伤仪：CTS-11型 CTS-4B型 探头：1.25MC $\phi 20$ 和2.5MC $\phi 20$ 直探头 灵敏度：CS-I试块 $\Phi 2/200 - \phi 70 \times 225\text{mm}$ $\Phi 2$ 孔80%波高。

2. 探伤情况

该轴无缺陷部位多次底波10次以上，缺陷对底波影响大，缺陷处底波只有一次（图3-10-1）探头在 a 位置时1.25MC波形见 a_1 ，2.5MC波形见 a_2 ；探头在 b 位置时1.25MC波形见 b_1 ，2.5MC波形见 b_2 。在一次底波前沿常看到缺陷的二次反射（见 a_2 ），降低灵敏度时，伤波下降速度较底波慢（ a_3 ）。

为了区分缩孔残余的轻重差别，GB1979-80标准中分为三级，其中一级最轻，三级最重。

根据多年对缩孔残余解剖的实践，我们提出如下根据波形划分缩孔残余级别的设想。以下方法适用于直径200-400mm锻件，热处理状态为正火或调质（即不存在晶粒粗大），表面光洁度 $\nabla_5 \sim \nabla_6$ ，探伤灵敏度以工件底面处 $\Phi 2$ 孔反射波高80%（或以相应深度的标准试块调正）。缩孔残余划分级别如下（表3-1）：

缩孔处底波次数	缩孔残余级别
无底波或底波一次	3 级
底波2-3次	2 级
底波4次以上	1 级

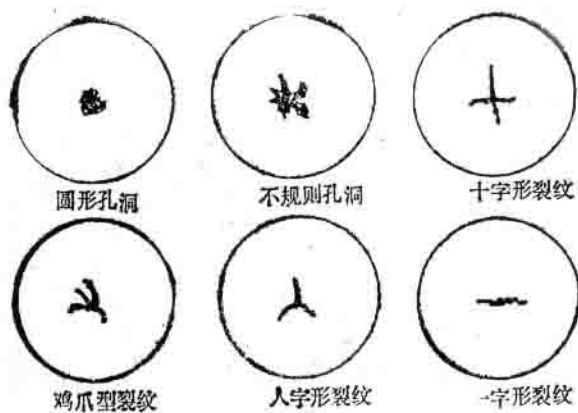


图 3-1 缩孔残余的各种形状

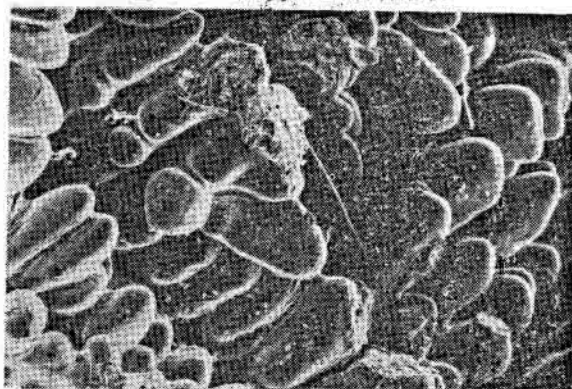


图 3-2 缩孔处的自由表面扫描电镜 36 ×

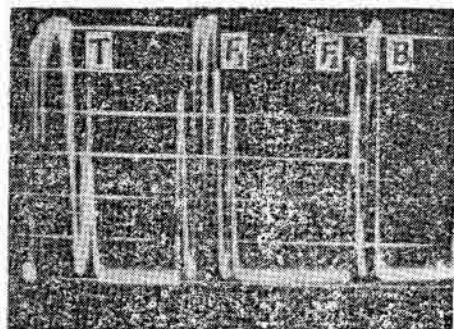


图 3-3

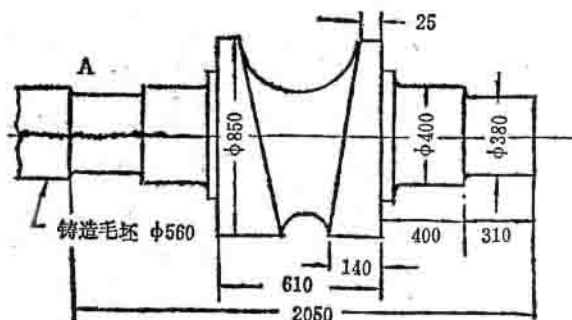


图 3-4 皮尔格轧辊粗车尺寸及缺陷位置

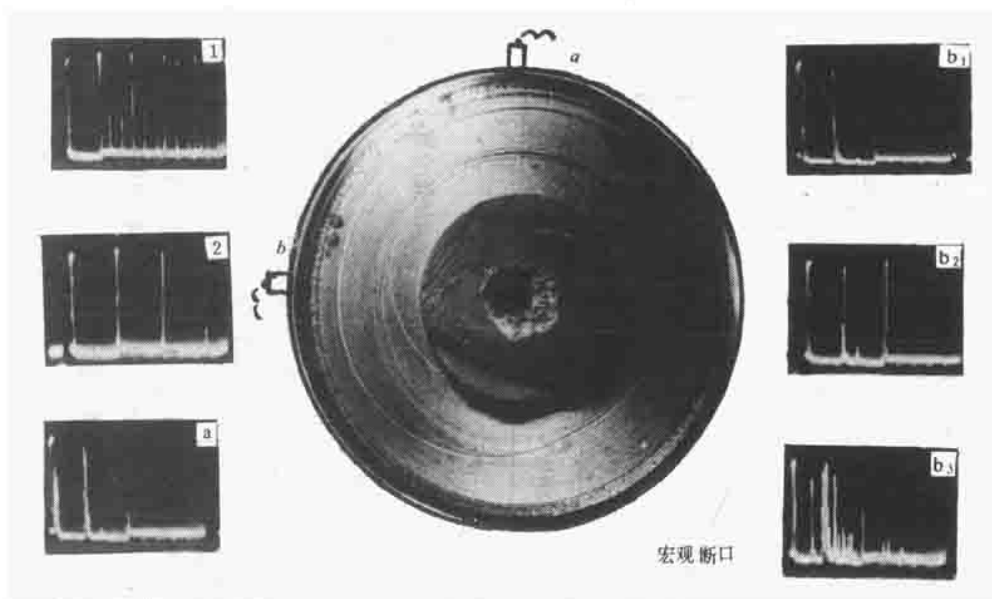


图 3-5 ZG80CrMo 轧辊缩孔探伤波形

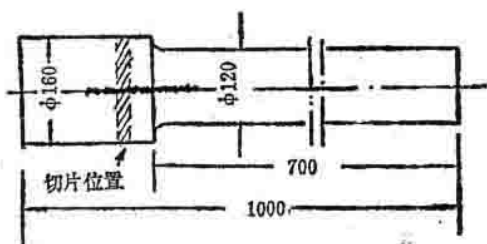


图 3-6 40Cr 轴粗加工尺寸及缺陷位置

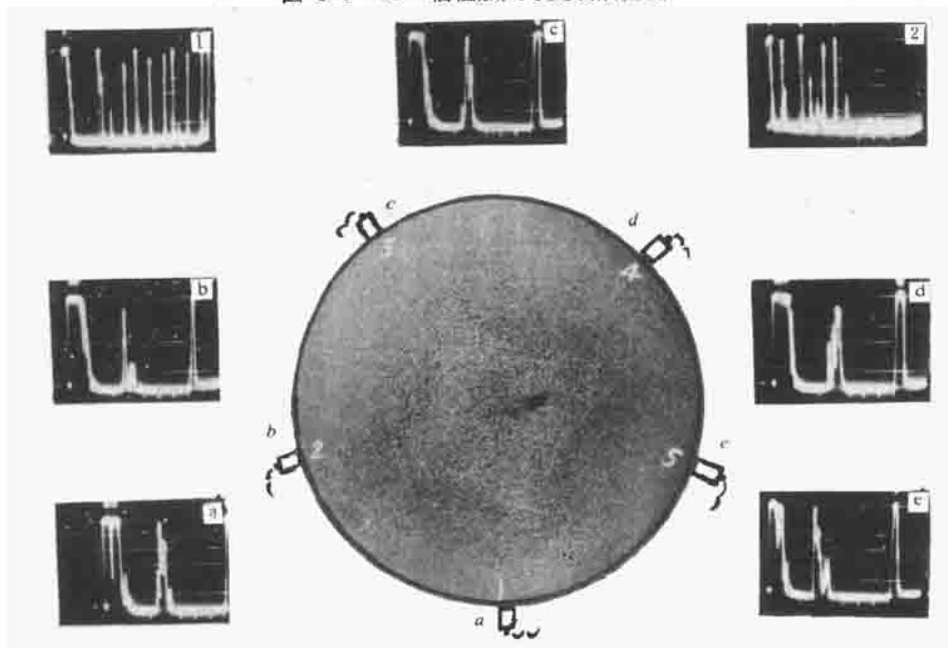


图 3-7 40Cr 轴二次缩孔探伤波形

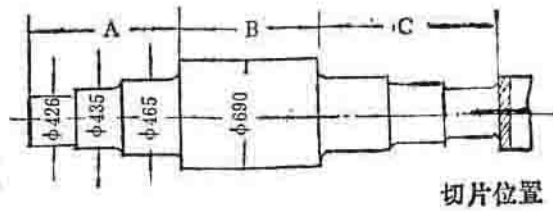


图 3-8 人字齿轴粗车尺寸及缺陷位置

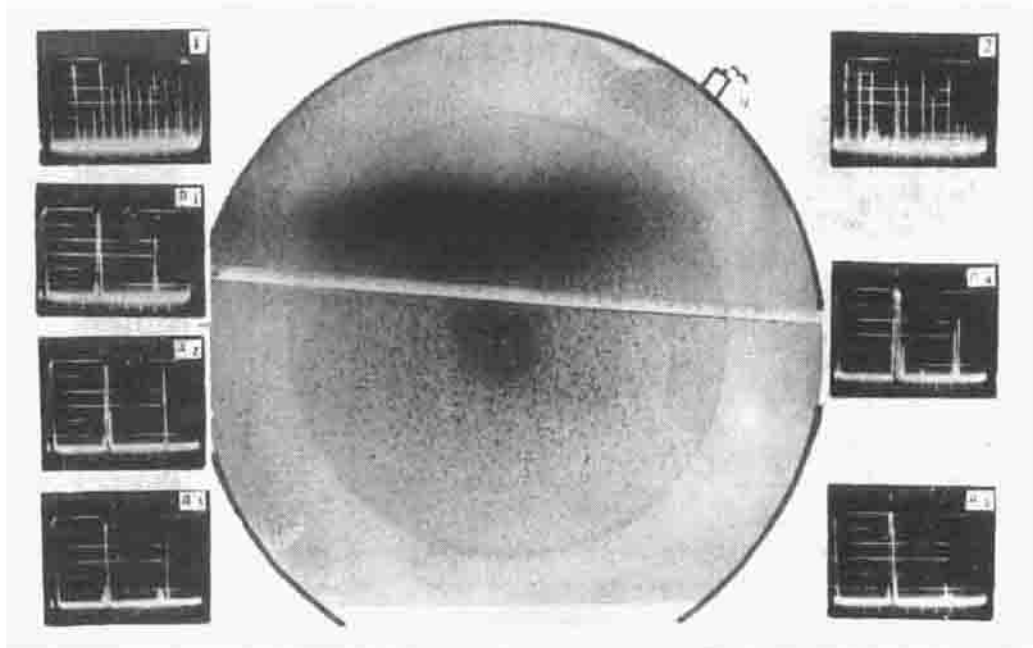


图 3-9 人字齿轴缩孔残余探伤波形

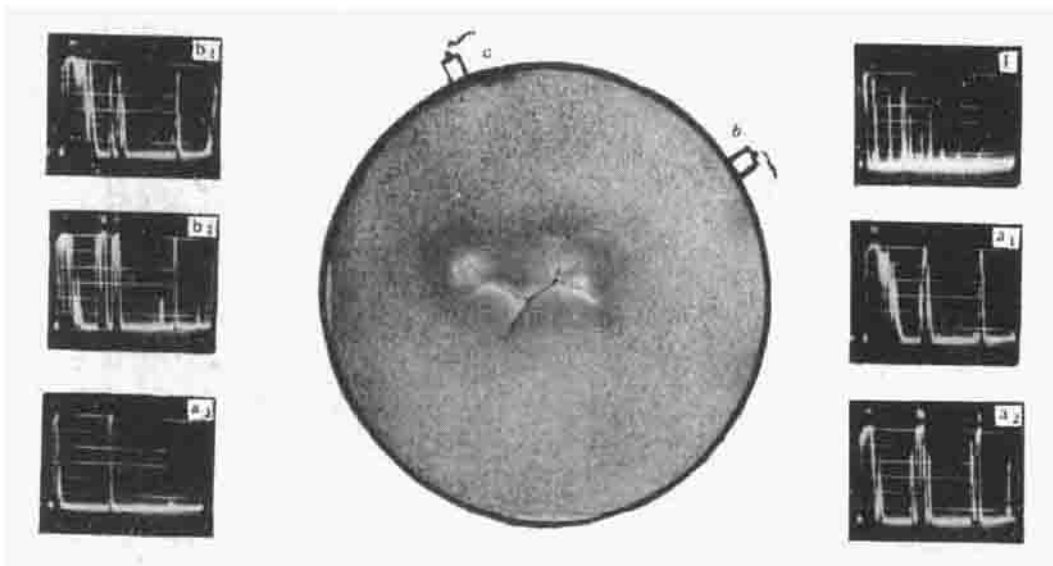


图 3-10 42CrMo轴缩孔残余探伤波形



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注