

# 圆棒轧材超声波探伤方法

王立国<sup>1</sup>

**摘要:** 论述圆棒轧材探伤中伤波和底波的比值关系及底波的降低幅度。

**关键词:** 圆棒轧材; 底波; 伤波; dB 值

**中图分类号:** TG115.28\*5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1673-3355 (2009) 06-0019-03

在圆棒轧材探伤中, 每当发现伤波后都要将定量调至基线后用  $\Delta\text{dB}$  值来进行确定, 由于在实际操作中存在着操作人员用力不均及表面补偿不一样的干扰因素而非常容易导致出现测量误差, 本文主要讨论克服这一误差的方法。

## 1 直探伤与斜探伤的关系

目前对圆棒轧材需用探伤方法有直探伤、斜探伤、表面波探伤等, 其中又以直探伤和斜探伤为主要手段, 尤其是直探伤。

### 1.1 直探伤

这里所说的直探伤是指由直探头单发单收, 利用脉冲超声波发射和接收来实现探伤目的。这主要是由圆棒的轧制工艺所决定的, 由于在轧制过程中钢锭内部的缺陷主要沿金属流线方向延伸, 即缺陷沿轧制方向伸展, 由此在轧材中缺陷的取向一般垂直于声束, 并使缺陷反射的声波能够到达探头, 从而易于发现缺陷。

### 1.2 斜探伤

斜探伤是利用斜探头发射横波来实现探伤, 其原理是使晶片与被探工件成一定角度并在探头前面加上有机玻璃斜楔, 利用超声波在斜楔中经过折射产生的横波来实现探伤目的。横波斜探伤主要用来检测轧材中与检测面垂直或成一定角度的缺陷, 由横波的特点决定了斜探伤主要用于探测表面及接近表面区域的缺陷, 因此由圆棒轧材

的轧制工艺特点决定了在圆棒轧材探伤中应以直探伤为主、斜探伤为辅。

## 2 几种直探方法及相互关系

圆棒轧材的直径一般在  $\varnothing 30 \sim \varnothing 300 \text{ mm}$  之间, 探伤方法主要有当量法, 底波高度法及半波高度法。

### 2.1 当量法

当轧材中缺陷的直径小于探头声束直径时, 一般应采用当量法探伤。其方法是: 在工件完好区将底波调至基线高底, 然后根据直径的大小释放一定的 dB 值, 即可进行探伤。其公式如下:

$$\Delta\text{dB} = 20 \lg \frac{2\lambda X_B}{\pi \Phi^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中,  $\lambda$ —超声波波长 (m);  $X_B$ —棒材直径 (mm);  $\Phi$ —假设平底孔直径 (mm)。

在探伤过程中, 如果发现轧材中由于存在缺陷而将其波高降至基线时, 利用其所损耗的 dB 值与假设平底孔之间比值的关系就可以确定缺陷的大小。其公式如下:

$$\Delta\text{dB} = 40 \lg \frac{\Phi_{\text{伤}} X_B}{X_{\text{伤}} \Phi_{\text{假设}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{得: } \Phi_{\text{伤}} = 10^{\frac{\Delta\text{dB}}{40}} \frac{X_{\text{伤}} \Phi_{\text{假设}}}{X_B} \dots\dots\dots (3)$$

式中,  $\Phi_{\text{伤}}$ —所求缺陷直径 (mm);  $X_{\text{伤}}$ —伤波所在位置 (mm);  $\Phi_{\text{假设}}$ —假设平底孔直径 (mm);  $X_B$ —园棒直径 (mm)。



1. 东北特钢北满基地质量部工程师, 黑龙江 富拉尔基 161041



## 2.2 底波高度法

底波高度法是当缺陷尺寸与声束直径相近时,利用缺陷波与底波的相对波高来衡量缺陷的相对大小,从而对缺陷的性质进行判定。当工件中存在缺陷时,由于缺陷的反射作用,使工件底波下降,缺陷愈大,缺陷波愈高,底波就愈低,缺陷波高与底波之比也就愈大。

底波高度法常用两种方法来表示缺陷的相对大小。

### (1) $F/B_F$ 法

$F/B_F$  法是在一定的灵敏度下,以缺陷波  $F$  与缺陷处底波  $B_F$  之比来衡量缺陷的相对大小 (见图 1a)。

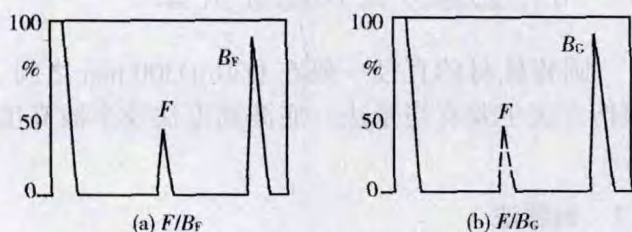


图 1 底波高度法

### (2) $F/B_G$ 法

$F/B_G$  法是在一定的灵敏度条件下,以缺陷波高  $F$  与无缺陷处底波高  $B_G$  之比来衡量缺陷的相对大小 (见图 1b)。

## 2.3 测长法

测长法是当缺陷尺寸大于声束直径时所采用的一种探伤方法,主要有半波高度法又称 6dB 法。

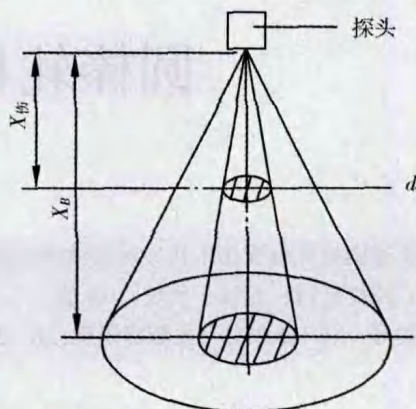
## 3 缺陷反射波比值与 dB 值

利用底波高度法探伤时,对于尺寸较小的缺陷,底波往往趋于饱和,但随着缺陷反射波的增大,底波下降的幅度就会随之增大,并且这种对应关系是非线性的。

### 3.1 缺陷反射波与底波的比值关系

我们知道,脉冲反射法是利用超声波的反射特性来进行探伤的,也就是说由于缺陷的存在使一部分超声波不能够到达底面,从而使底面对探头的声压贡献有所降低。由于超声波是直线传播的,所以在三倍近场长度之外有如下关系 (见图 2):

$$P_{\text{伤}} = \frac{P_0 A S_{\text{底损}}}{\lambda^2 X_{\text{伤}}^2} \quad (4)$$



$d$ —缺陷直径;  $D$ —阴影直径;  $X_{\text{伤}}$ —缺陷到探头距离;  $X_B$ —圆钢直径。

图 2 缺陷和底面阴影对探头的声压贡献

$$P_{\text{底损}} = \frac{P_0 A S_{\text{底损}}}{\lambda^2 X_B^2} \quad (5)$$

式中,  $P_{\text{伤}}$ —缺陷对探头的声压贡献 (Pa);  $P_{\text{底损}}$ —伤的存在使底面损失的声压 (Pa);  $P_0$ —探头原始声压 (Pa);  $A$ —探头波源面积 ( $\text{mm}^2$ );  $S$ —缺陷面积 ( $\text{mm}^2$ );  $D$ —阴影直径 (mm);  $S_{\text{底损}}$ —底面阴影面积 ( $\text{mm}^2$ );  $X_{\text{伤}}$ —缺陷到探头距离 (mm);  $\lambda$ —波长 (m);  $d$ —缺陷直径 (mm);  $X_B$ —圆棒直径 (mm)。

由于声束所夹的两个三角形是相似三角形,不难证明。 $P_{\text{伤}} = P_{\text{底损}}$ , 所以底波损失的声压可以等效的看作缺陷本身反射声压对探头的贡献,这样我们在讨论图 1 的情况时就可以用波高之比等于声压之比的公式来计算了。由于缺陷的出现是随机的,这样会给计算带来繁杂,为了简洁起见,我们把缺陷的位置人为定在五格,由于在仪器示波屏上不同位置的缺陷波存在比例关系,所以可以把它看作五格处等高的缺陷反射波,即声压相等 (见图 3)。

$$\Phi_i = \frac{\Phi_5 X_i}{5} = C \Phi_5 \quad (6)$$

式中,  $\Phi_i$ —所求缺陷的大小 (mm);  $\Phi_5$ —五格处的假设缺陷的大小 (mm);  $X_i$ —任一格的格数;  $C$ —系数,  $C = X_i/5$ 。

例如: 如果缺陷在第 3 格出现,则把它看作等高的五格处缺陷反射波,则有:  $\Phi_3 = \frac{\Phi_5 X_3}{5} = 0.6 \Phi_5$ ,

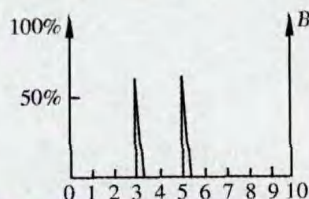


图 3 声压相等的两波之间缺陷大小的比例关系



其中  $\Phi_s$  可通过计算得出。

下面是利用缺陷反射波与底波声压之比等于波高之比计算的缺陷反射波与底波的比值关系。

$$n = \frac{\frac{P_0 A S}{\lambda^2 X_{\text{伤}}^2}}{\frac{P_0 A}{2\lambda X_B} - \frac{P_0 A S}{\lambda^2 X_{\text{伤}}^2}} = \frac{1}{\frac{\lambda X_B}{2\pi \Phi_{\text{伤}}^2} - 1} \quad (7)$$

式中,  $n$ —缺陷反射波与底波比值;  $S$ —缺陷面积 ( $\text{mm}^2$ );  $X_{\text{伤}}$ —五格处缺陷至探头距离 ( $\text{mm}$ );  $X_B$ —圆棒直径 ( $\text{mm}$ );  $P_0$ —探头原始声压 ( $\text{Pa}$ );  $A$ —探头面积 ( $\text{mm}^2$ );  $\lambda$ —波长 ( $\text{m}$ )。

由于轧材探伤常用 2.5 MHz 探头, 故取波长为 2.36 mm, 又由于在三倍近场长度以外, 超声波才可以被看作球面波, 所以只对  $\varnothing 200 \sim \varnothing 310$  mm 轧材做了计算, 并把底波提至 100% 屏高 (见表 1)。

### 3.2 底波降低的 dB 值

在圆棒轧材直探伤中由于缺陷反射波存在而使底波降低且呈曲线变化, 下面以  $\Phi_d$  为起始灵敏度进行计算。

$$\begin{aligned} \Delta \text{dB} &= 20 \lg \frac{2\lambda X_B}{\pi \Phi_d^2} - 20 \lg \frac{\Phi_{\text{伤}} \times 10}{\Phi_d \times 5} \\ &\quad - 20 \lg \frac{1}{n} \\ &= 20 \lg \frac{1}{1 - \frac{2\pi \Phi_{\text{伤}}^2}{\lambda X_B}} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

式中,  $\Delta \text{dB}$ —底波降低的 dB 值;  $X_B$ —圆棒直径 ( $\text{mm}$ );  $\Phi_{\text{伤}}$ —缺陷的大小 ( $\text{mm}$ );  $\Phi_d$ —直径为  $d$  时的假设平底孔 ( $\text{mm}$ );  $n$ —缺陷反射波与底波比值。

通过对  $\varnothing 200 \sim \varnothing 310$  mm 轧材进行计算可以看到,  $\Delta \text{dB}$  与起始灵敏度无关, 只与  $\lambda$ 、 $X_B$  及  $\Phi_{\text{伤}}$  有关 (见表 2)。

## 4 结 语

通过计算明确了缺陷反射波和底波的比值以及

表 1 缺陷反射波与底波的比值关系 (表中数值为近似百分数) mm

圓棒直徑	傷 波 直 徑										
	Ø2	Ø2.5	Ø3	Ø3.5	Ø4	Ø4.5	Ø5	Ø5.5	Ø6	Ø6.5	Ø7
200	5	9	13	19	27	36	49	67	91		
210	5	8	12	18	25	34	46	62	83		
220	5	8	12	17	23	32	43	57	77		
230	4	7	11	16	22	30	40	53	71		
240	4	7	11	15	21	28	38	50	66	88	
250	4	7	10	14	20	27	36	47	62	81	
260	4	6	10	14	19	26	34	44	58	76	100
270	4	6	9	13	18	24	32	42	54	71	93
280	3	6	9	13	17	23	31	40	52	67	87
290	3	6	9	12	17	22	30	38	49	63	81
300	3	5	8	12	16	21	28	36	46	59	76
310	3	3	8	11	15	21	27	35	44	56	72

表 2 底波降低的 dB 值 (表中数据为保留两位小数的近似 dB 值) mm

圆棒直径	伤 波 直 径										
	Ø2	Ø2.5	Ø3	Ø3.5	Ø4	Ø4.5	Ø5	Ø5.5	Ø6	Ø6.5	Ø7
200	0.46	0.74	1.08	1.50	2.03	2.65	3.41	4.34	5.48		
210	0.45	0.71	1.02	1.46	1.96	2.57	3.29	4.17	5.27		
220	0.43	0.69	1.00	1.39	1.87	2.44	3.13	3.96	4.97		
230	0.41	0.65	0.94	1.32	1.77	2.30	2.95	3.71	4.64		
240	0.39	0.62	0.91	1.25	1.68	2.20	2.79	3.52	4.38	5.43	
250	0.37	0.59	0.87	1.21	1.62	2.10	2.67	3.36	4.18	5.16	
260	0.36	0.57	0.84	1.16	1.55	2.02	2.56	3.21	3.97	4.90	6.02
270	0.35	0.55	0.80	1.11	1.48	1.92	2.44	3.05	3.78	4.64	5.68
280	0.34	0.53	0.77	1.07	1.43	1.85	2.35	2.94	3.64	4.45	5.43
290	0.33	0.51	0.75	1.04	1.38	1.79	2.27	2.82	3.49	4.28	5.21
300	0.31	0.49	0.72	1.00	1.33	1.72	2.18	2.71	3.34	4.08	4.96
310	0.31	0.48	0.70	0.96	1.28	1.66	2.08	2.62	3.21	3.92	4.73

底波降低的幅度仅与波长、圆棒直径和缺陷大小 (五格) 有关, 并初步做到定量分析。

另外, 在以往探伤中常常由于操作时用力不均及表面补偿不一样造成误差, 其最大误差可达到  $\pm 3$  dB 左右, 而利用缺陷反射波与底波比值法就能消除这一误差的干扰。

收稿日期: 2009-09-09