

# TMCP 钢对比试块参考曲线制作的改善研究

汪 洋

(江苏省南通市计量检定测试所 电学室, 江苏 南通 226011)

**摘 要:**文章按照船级社规范,使用 TMCP 钢制作了对比试块,将规范推荐使用的双探头测 TMCP 钢折射角的方法改为采用单探头测 TMCP 钢折射角,并对参考曲线进行了校验,提高了参考曲线制作的精确性。

**关键词:**TMCP 钢;试块;参考曲线;精准性

**中图分类号:**U668.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-9891(2017)01-0046-04

## 0 引言

采用温度-形变控制工艺(Thermal Mechanical Control Process ,TMCP)制作的厚钢板具有高强度、高韧性和良好的焊接性能。TMCP 钢在控轧控冷过程中,晶粒沿着主变形方向被拉长,呈现纤维组织,各向异性。<sup>[1]</sup>由于 TMCP 钢的组织各向异性,平行于轧制方向与垂直于轧制方向的超声波速不同,折射角也不同。<sup>[2]</sup>某大型集装箱船的甲板和舱口围使用 80mm 厚的 TMCP 钢,按照船级社规范的要求,使用 TMCP 钢制作了对比试块。本文针对在使用 TMCP 钢对比试块制作参考曲线(也可称为距离波幅曲线)时出现的问题,提出了改善方法,以提高参考曲线的精确性。

## 1 试验设备和试块

试验设备采用南通友联 PXUT-350+数字超声波探伤仪,探头采用常州电子超声研究所标称为 K1 和 K2 的探头各两个,探头频率为 2.5MHz。试块采用 CSK-IA 标准试块和船级社规范推荐的 TMCP 对比试块,耦合剂为机油。

## 2 TMCP 对比试块

由于需测试的 TMCP 钢厚度为 80 mm,对比试块也采用 80 mm 厚度的 TMCP 钢制作,这样可避免耦合补偿和衰减补偿。

### 2.1 船级社规范推荐的 TMCP 对比试块

规范推荐在平行和垂直轧制方向各设置两个  $\Phi 3 \times 30$  的短横孔,在厚度方向,横孔的深度分别为  $1/2T$  和  $3/4T$ ( $T$  为板厚),即 40 mm 和 60 mm。横孔与对比试块边界距离为 30 mm。对比试块的边长为 440 mm,如图 1 所示。

### 2.2 TMCP 对比试块的改善

(1)对比试块的不足。经过一段时间的使用,发现推荐的对比试块存在以下不足之处:质量约为 122 kg,非常笨重,无法搬运和翻转;反射体较少,只有依次为 20 mm、40 mm、60 mm、100 mm 和 120 mm 等深度的短横孔;反射体与对比试块边界距离短,仅为 30 mm,在制作参考曲线时,会出现边界干涉。

(2)对比试块的改善。针对以上不足之处,对推荐的 TMCP 对比试块做了如下改善:把一块笨重的大试块改成了平行和垂直于轧制方向的两块相对较小的试块,每个试块约 14 kg,方便了使用;增加 10 mm 深度的反射体,这样可以使用依次为 10 mm、20 mm、40 mm、60 mm、70 mm、90 mm、100 mm 和 120 mm 等深度的

收稿日期:2016-10-25

作者简介:汪洋(1958—),男,江苏南通人,江苏省南通市计量检定测试所电学室助理工程师。

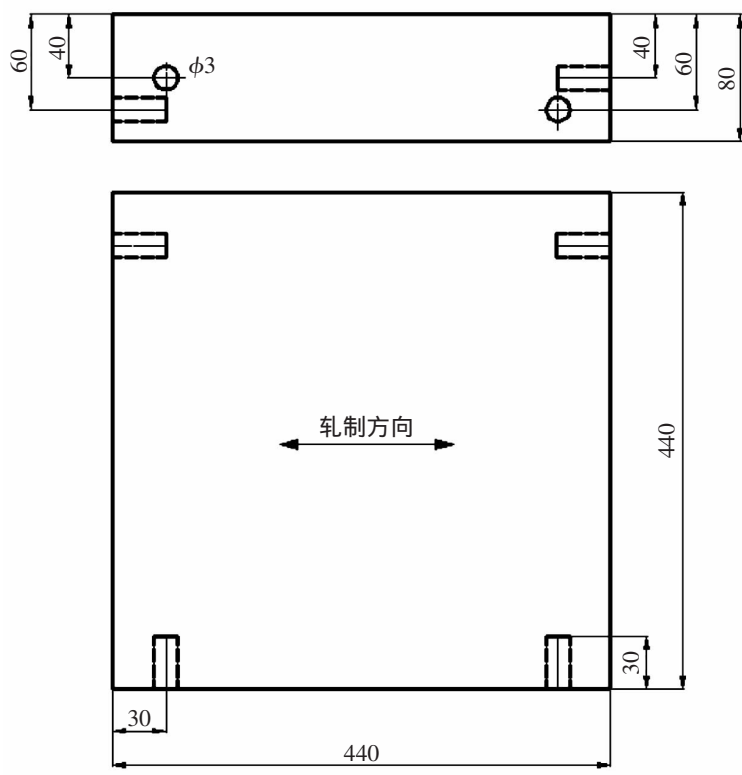


图 1 规范推荐的 TMCP 对比试块

横孔,提升了制作参考曲线的精确性,把反射体与对比试块边界的距离改为 50 mm,减小了边界干涉,同时把  $\Phi 3 \times 30$  的短横孔改成了常见的  $\Phi 3 \times 40$  横通孔,增加了反射体的面积。改善后的 TMCP 对比试块如图 2 所示。

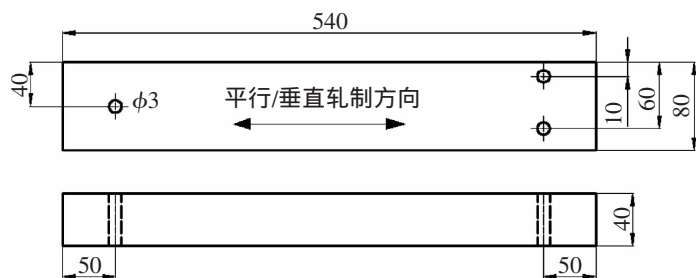
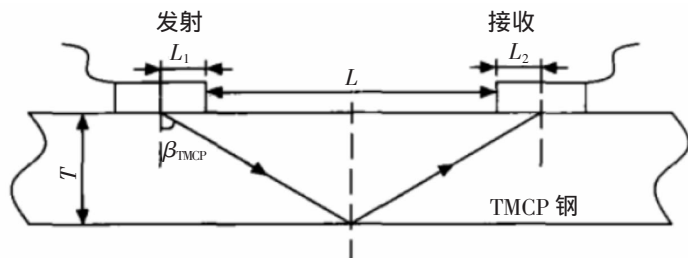


图 2 改善后的 TMCP 对比试块

### 3 制作参考曲线的方法和结果

#### 3.1 船级社推荐的参考曲线制作方法和结果

(1)参考曲线制作方法。常规横波斜探头的入射点在 TMCP 钢上不会发生变化,可直接在 CSK-IA 试块上测定探头前沿  $L_1$  和  $L_2$ 、声速  $C_s$  和折射角  $\beta_s$ 。测定好两个相同标称的探头前沿  $L_1$  和  $L_2$  后,选择超声仪“穿透”选项,输入声速  $C_s$  和折射角  $\beta_s$ 。分别在平行和垂直于轧制方向的 TMCP 试块上放置两探头,移动探头,找到全跨距最高波,测量探头间距  $L$ 。这样可得  $\tan \beta_{TMCP} = (L_1 + L_2 + L) / 2T$ ,如图 3 所示,图中  $T$  为试验板厚。

图 3 双探头测 TMCP 钢折射角  $\beta_{TMCP}$

按照斯涅尔定律,可得式(1)。

$$\frac{\sin \beta_s}{C_s} = \frac{\sin \beta_{TMCP}}{C_{TMCP}} \tag{1}$$

式中  $\beta_s$  为超声波在 CSK-IA 试块中的折射角,  $C_s$  为 CSK-IA 试块中的声速,  $\beta_{TMCP}$  为超声波在 TMCP 试块中的折射角,  $C_{TMCP}$  为 TMCP 试块中的声速。其中  $\beta_s$  和  $C_s$  在 CSK-IA 试块中已测出,  $\beta_{TMCP}$  在 TMCP 试块中已测出,可应用式(1)计算得出  $C_{TMCP}$ 。

(2)制作参考曲线的结果。同一标称探头需同时使用两个,数据也应是两组。相同标称的接收探头测试数据与发射探头略有差异。测试过程中的数据如表 1 所示(只采用了发射探头测得的数据)。

表 1 测试过程中的数据

探头	前沿(mm)	$\beta_s(^{\circ})$	$C_s(\text{m/s})$	平行轧制方向			垂直轧制方向		
				$L(\text{mm})$	$\beta_{TMCP}(^{\circ})$	$C_{TMCP}(\text{m/s})$	$L(\text{mm})$	$\beta_{TMCP}(^{\circ})$	$C_{TMCP}(\text{m/s})$
K1	10	43.0	3 252	131	43.3	3 270	130	43.2	3 261
K2	10	63.4	3 225	320	64.8	3 263	173	61.4	3 166

把测试得到的前沿、声速  $C_{TMCP}$  和折射角  $\beta_{TMCP}$  输入超声仪,就可以制作参考曲线。参考曲线的校验数据如表 2 所示。在制作参考曲线时,任意一点偏差不应大于该点读数的 10%或扫描量程的 2%。扫描量程为 2 倍板厚,即 160 mm。

表 2 参考曲线的校验

探头	孔深(mm)	平行轧制方向			垂直轧制方向		
		读数(mm)	与读数点误差(%)	与量程误差(%)	读数(mm)	与读数点误差(%)	与量程误差(%)
K1	10	9.3	7.0	0.4	9.4	6.0	0.4
	60	58.5	2.5	0.9	59.0	1.7	0.6
	100	97.5	2.5	1.6	99	1.0	0.6
K2	10	9.2	8.0	0.5	9.8	2.0	0.1
	60	58.3	2.8	1.1	57	5.0	1.9
	100	94	6.0	3.3	92	8.0	5.0

### 3.2 改善的参考曲线制作方法和结果

(1)改善的参考曲线制作方法。为改善 TMCP 钢折射角  $\beta_{TMCP}$  测量方法,选择超声仪“斜探头”选项,输入声速  $C_s$  和折射角  $\beta_s$ ,然后分别在平行和垂直于轧制方向的 TMCP 试块上放置探头,移动探头,找到深度为 60 mm 反射体的最高波,测量间距  $L$ ,如图 4 所示。已知  $L_1$  是探头前沿,从  $\tan \beta_{TMCP} = (L_1 + L)/60$  可以推测出  $\beta_{TMCP}$ 。

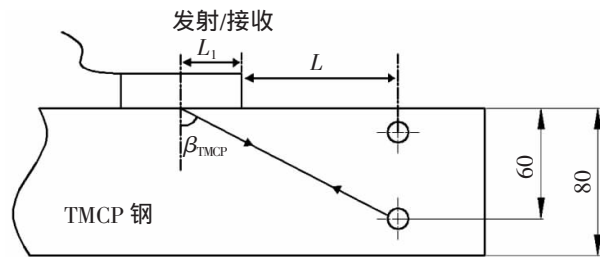


图 4 单探头测 TMCP 钢折射角  $\beta_{TMCP}$

(2)改善后的参考曲线制作结果。测试过程中的数据如表 3 所示。结果显示,只用一个探头避免了使用两个相同标称探头存在的差异。把测试得到的前沿、声速  $C_{TMCP}$  和折射角  $\beta_{TMCP}$  输入超声仪,制作参考曲线,其校验数据如表 4 所示。

表 3 改善后测试过程的数据

探头	$L_1$ 前沿 (mm)	$\beta_s(^{\circ})$	$C_s(\text{m/s})$	平行轧制方向			垂直轧制方向		
				$L(\text{mm})$	$\beta_{TMCP}(^{\circ})$	$C_{TMCP}(\text{m/s})$	$L(\text{mm})$	$\beta_{TMCP}(^{\circ})$	$C_{TMCP}(\text{m/s})$
K1	10	43.0	3252	47	43.5	3282	45	42.5	3221
K2	10	63.4	3225	116	64.5	3256	90	59.0	3091

表 4 改善后参考曲线的校验

探头	孔深(mm)	平行轧制方向			垂直轧制方向		
		读数(mm)	与读数点误差(%)	与量程误差(%)	读数(mm)	与读数点误差(%)	与量程误差(%)
K1	10	9.4	6.0	0.4	9.4	6.0	0.4
	60	58.3	2.8	1.1	58.2	3.0	1.1
	100	98.4	1.6	1.0	98.2	1.8	1.1
K2	10	9.3	7.0	0.4	9.5	5.0	0.3
	60	57.3	4.5	1.7	57.2	4.7	1.8
	100	97.0	3.0	1.9	97.0	3.0	1.9

4 结果分析

表 1 中 ,K1 探头在平行于轧制方向测得的角度为 43.3°,垂直于轧制方向测得的角度为 43.2°,变化很小。K2 探头在平行于轧制方向测得的角度为 64.8°,垂直于轧制方向测得的角度为 61.4°,两角度相差 3.4°。一般认为角度相差在 2°以内的可以忽略。表 2 中 ,K1 探头参考曲线的校验数据都合格。K2 探头平行和垂直于轧制方向的参考曲线的 100mm 深度的反射体 校验数据超出标准要求。在采用双探头测 TMCP 钢折射角时 采用的是全跨距方式 ,声程大 接收探头出现了找到两个最高波的情况 ,也就是超声波束出现了双峰。真实的最高波应在双峰之间 ,接收探头不能准确测得 ,这导致了参考曲线校验数据的不合格。表 3 中 ,K1 探头在平行于轧制方向测得的角度为 43.5°,垂直于轧制方向测得的角度为 42.5°,变化也很小。K2 探头在平行于轧制方向测得的角度为 64.5°,垂直于轧制方向测得的角度为 59.0°,两角度相差 5.5°。平行和垂直于轧制方向的性能差异更加明显。表 4 中 ,K1 和 K2 探头参考曲线的校验数据都合格。两个相同标称角度的探头 ,角度也不会是完全一样的。单探头测 TMCP 钢折射角 ,避免了双探头之间的角度误差。使用人工反射体代替底面反射的全跨距方式 ,减小了声程 ,检测过程中没有出现双峰 ,测得的数据更为精确。

5 结束语

以上的试验中 ,改善的试块重量减轻 ,方便了使用 ,增加 10mm 深度的反射体 提升了制作参考曲线的精确性 ,采用 Φ3×40 横通孔 ,增加了反射体的面积。通过对比试验表明 ,双探头测 TMCP 钢折射角 ,采用的是全跨距方式 ,接收探头会找出两个最高波 ,也就是发射探头超声波束出现了双峰 ,这导致了测得的数据不精确 ,参考曲线校验不合格。而单探头测 TMCP 钢折射角 ,使用人工反射体代替底面反射的全跨距方式 ,检测过程中没有出现双峰 ,消除了发射探头和接受探头之间的角度误差 ,测得的数据更精确。因此 ,在实际操作中推荐采用单探头测 TMCP 钢折射角的方法。

参考文献:

[1]小指军夫.控制轧制控制冷却—改善材质的轧制技术发展[M].北京:冶金工业出版社,2002.  
[2]徐明政.关于海洋工程钢结构焊缝超声波检测的研究[J].中国科技纵横,2015(8):84.

Study on Improvement of Drawing Reference Curve  
with TMCP Steel Reference Test Block

WANG Yang

(Electrics Lab, Nantong Institute of Measurement, Verification and Testing, Nantong 226011, China)

**Abstract:** With reference to specifications of the classification society, the article introduces the steel reference test block made by TMCP steel. A single probe to measure refraction angle of TMCP steel is adopted to replace dual probes as recommended by the specifications, based on which the reference curve is calibrated, which improves the accuracy of drawing reference curve.

**Key words:** TMCP steel; Test block; Reference curve; Accuracy