

FH40高强钢根部间隙 对冲击韧性影响试验及分析

马金军 江泽新

【摘要】 本文通过同等条件下四组不同根部间隙的焊接试验，详细分析了根部焊缝中心及熔合线冲击韧性及宏观、微观组织的变化。结果表明：随着间隙的增加，根部焊道的热输入量随之增加，从而引起根部焊道本身柱状晶的尺寸增大、先焊道的粗晶区宽度增加及原奥氏体晶粒增大；根部焊缝中心和熔合线的冲击性能，与热输入量的增加呈反方向关系，根部间隙越大，热输入量越大，冲击性能越低。并且根据所建立的间隙与冲击值的线性关系，对于间隙的控制值进行了预估。

关键词： 高强钢；根部间隙；冲击韧性

1. 概述

在极地资源及航线开发的背景下，极地运输船、资源勘探船、破冰船等相继得到开发、设计及建造。由于部分极地船舶需要抵抗住-50℃及以下的低温气候，所以设计时需要用到FH40高强钢才能满足强度及耐低温要求。FH40钢焊后较重要的一个性能即是接头的低温冲击韧性，但在以往的低温材料的焊接应用中，采用FCAW陶瓷衬垫焊根部焊缝低温韧性相对应表面焊缝整体较差且不稳定。

在船舶建造中，采用FCAW陶瓷衬垫焊变化较多的一个因素即根部间隙的变化，变化幅度大且不均匀。为了控制根部焊缝冲击韧性，本文针对不同根部间隙进行相关试验，并得到相关影响规律，为FH40钢的焊接提供技术参考。

2. 试验材料及方法

(1) 试验材料 本试验采用国内某钢铁厂生产的FH40钢，厚度为40mm，相关的化学成分及力学性能如表1、表2所示。填充材料采用昆山京群公司生产的型号E81T1—K2、牌号为GFR—81K2的低合金高强度钢药芯焊丝，焊丝规格为 $\phi 1.2\text{mm}$ ；衬垫材料采用武汉天高公司生产的普通型陶瓷衬垫，牌号为TG—1.0Z。

(2) 试验方案及参数 试验采用同一盘焊丝分别采用同一

种钢板、不同的根部间隙进行焊接，衬垫也从一包抽取。根部间隙分别为8mm，10mm，12mm，14mm，对应试验编号分别为1[#]~4[#]。焊接位置及方向都为立向上焊接，焊接长度为400mm。焊接设备采用机器人小车进行自动操作，在设定时每组试验的打底、填充、盖面的焊接电流、电弧电压完全一致，且在第3层进行分道，后续设定摆动幅度不超过16mm，如果发现超过则进行分道。钢板的装配尺寸如图1所示，坡口均为40°，焊接完成后

表1 试验用钢的化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	V	Ti	CEV
0.08	0.25	1.54	0.016	0.001	0.033	0.22	0.014	0.260	0.0011	0.025	0.006	0.016	0.373

表2 试验用钢力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	-60℃冲击吸收能量/J	交货状态
519	644	25	274	TMCP

分别进行根部焊缝中心及熔合线的冲击试验，冲击位置如图2所示，同时进行宏观金相及微观组织分析，焊接参数如表3所示。

(3) 组织与性能表征 焊接接头试样经磨制、抛光，并用10%硝酸酒精溶液腐蚀后观察宏观金相，4%硝酸酒精侵蚀后用Zeiss光学显微镜观察显微组织；焊接接头的冲击性能测试参照GB/T 2650—2008，在Z2302—1试验机上进行。

3. 试验结果

(1) 焊缝根部冲击性能 对四组试验的根部焊缝中心、根部熔合线分别进行-40℃和-60℃的冲击试验，每个位置试验为一组三个，取平均值后，采用OriginLab软件进行绘图连线（见图3）。由图3可知，随着根部间隙的增加，根部焊缝中心及熔合线的冲击值呈下降趋势。

(2) 宏观金相 对每组试验的焊接接头截取一个横向试样，可以看到宏观金相每层道的分布（见图4）。根据宏观金相图可以看到，正面及根部焊缝中心的缺口位置都是跨越了多道焊，根部焊缝中心缺口取样主要位于1~2层。

(3) 微观组织 根据宏观金相的层道布置的结果可以得出根部焊缝中心主要位于第1道和第2道焊缝，因此对每组试验的第1、2道焊进行微观组织分析，主要看到三种组织，即第1道焊经过第2道焊缝加热后的细晶区以及粗晶区，第2道焊未受热影响的柱状晶区（见图5）。通过对图5内粗晶区进行测量，得到各组试验的粗晶区宽度和晶粒尺

寸（见表4），并对第1道的粗晶区、细晶区和第2道的柱状晶区分别进行200倍微观组织观察（见图6~图8）。可以看到间隙越大，第1道焊缝在第2道焊的热作用下产生的粗晶区越宽、晶粒粗化越明显，而第1道焊的细晶区皆为晶粒细小的多边形铁素体，差别较小。

4. 分析与讨论

根据图3的结果可以看到，随着间隙的增加根部焊缝中心

的在-40℃和-60℃下冲击韧性也是随之下降的，导致这种变化的主要因素是根部焊道的热输入量的变化。在立焊打底时，根据规范要求间隙在16mm以内是可以进行一道焊接，在进行第2道焊时，由于间隙较窄如果进行分道则会导致每道焊缝较窄，成形难以保证，因此在第2道时仍然只能采用单道焊。根部焊缝中心冲击的缺口则主要位于第1道和第2道焊，对此两道焊的平均热输入

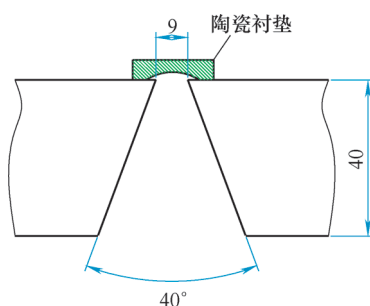


图1 坡口尺寸

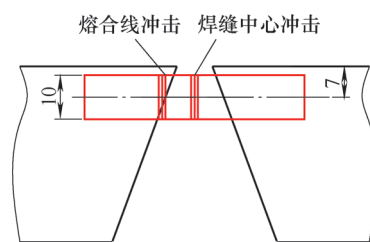


图2 冲击位置

表3 四组不同间隙焊接参数

试验编号	焊层	焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	热输入量 /kJ·cm ⁻¹
1	1	1	190	21	6.6	36.3
	2	2	230	26	9.4	38.2
	3~7	3~13	230	26	11.9~15.3	20~30.2
2	1	1	190	21	5.4	44.3
	2	2	230	26	8	44.9
	3~7	3~15	230	26	11.3~17.8	20.2~29.2
3	1	1	190	21	4.7	50.9
	2	2	230	26	7.2	49.8
	3~7	3~15	230	26	10.8~16.7	21.5~30.6
4	1	1	190	21	4.3	55.7
	2	2	230	26	6.9	52.0
	3~7	3~15	230	26	10.7~16.5	21.7~30.8

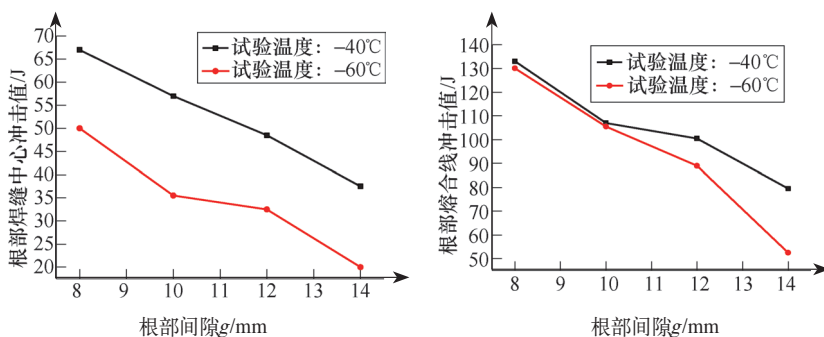


图3 不同间隙焊接后冲击值对比

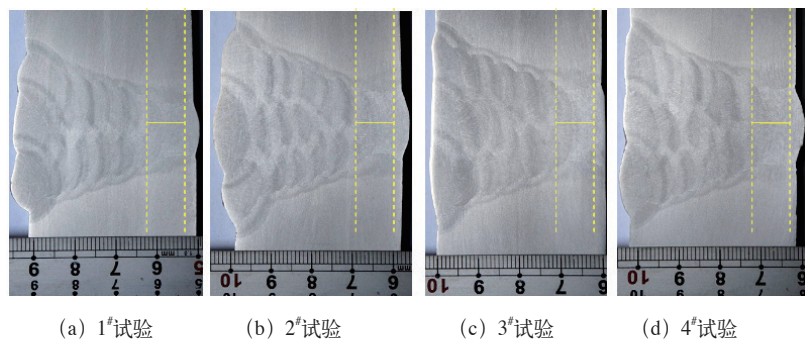


图4 四组试验横剖面宏观金相

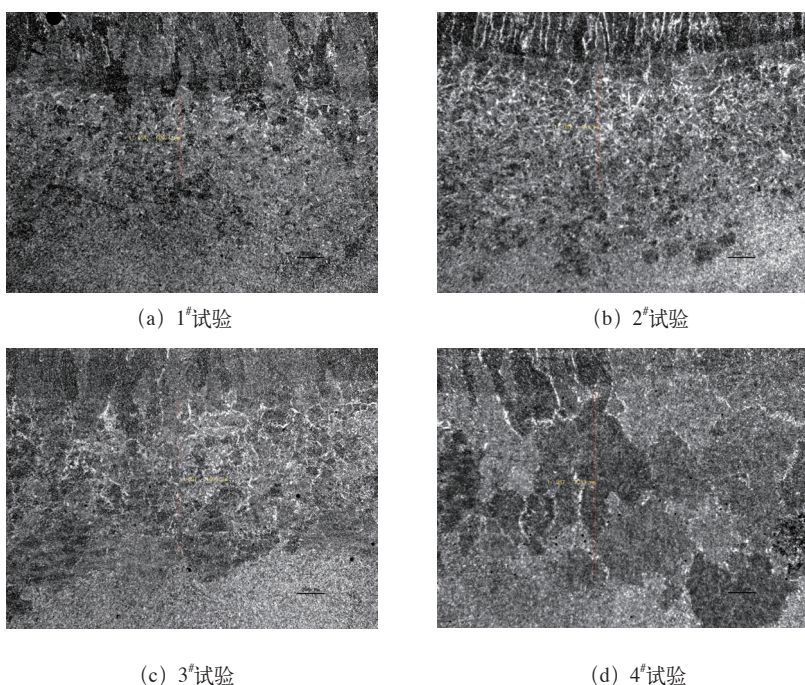


图5 四组试验根部焊缝第1道与第2道交界金相 (50×)

表4 四组试验第1道焊粗晶区尺寸 (μm)

试验编号	粗晶区宽度	原奥氏体晶粒尺寸
6	600	65
7	864	92
8	1090	154
9	1353	296

量与间隙进行关联 (见图9)。由图9可以看到, 随着间隙增加, 热输入量随之, 呈直线上升增加。

热输入量的增加对于先焊焊道组织的影响以及本身焊道组织产生了较大的影响。首先热输入量的增加, 使得本身焊缝组织柱状晶的尺寸及数量在逐渐增加, 针状铁素体的含量在减少且其组

织逐渐粗化, 而针状铁素体含量减少对于抵抗低温冲击时裂纹的扩展速度方面有所减弱, 进而使得冲击韧性下降; 其次后焊焊道的热输入量对于先焊焊道及母材产生了热影响区, 先焊焊道的热影响区紧靠后焊道的主要是粗晶区, 而热输入量增加, 粗晶区的原奥氏体晶粒增加且粗晶区的宽度也在增加 (见图10), 原奥氏

体晶粒粗大, 冷却后晶界铁素体增多, 针状铁素体减少, 同样不利于低温韧性。同时焊接热输入量增加, 熔池的高温停留时间则会随之延长, 原有对于有利于促进针状铁素体形成的有益合金元素则会烧损加剧, 使得夹杂物减

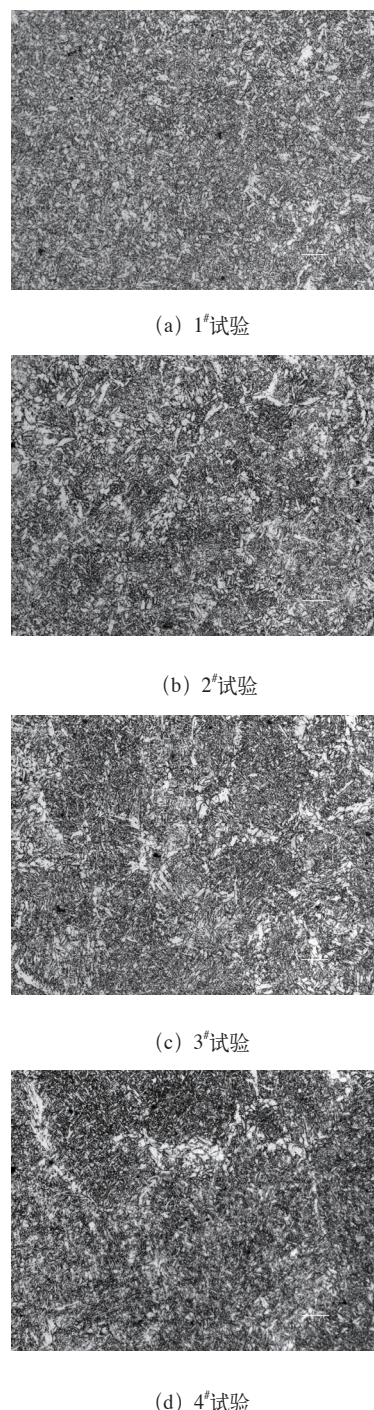


图6 四组试验根部焊缝第1道粗晶区金相 (200×)

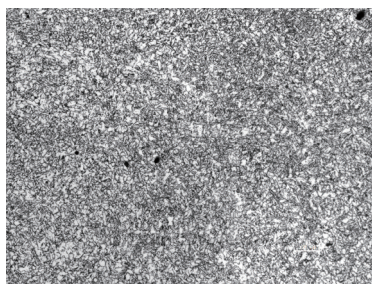
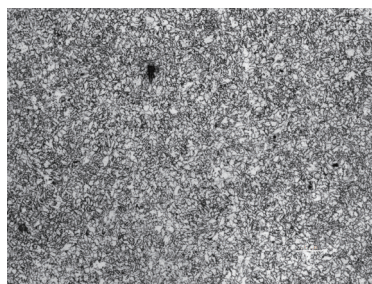
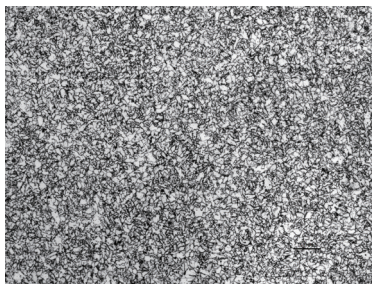
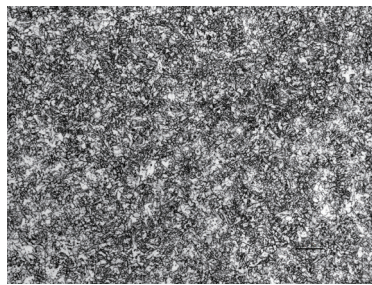
(a) 1[#]试验(b) 2[#]试验(c) 3[#]试验(d) 4[#]试验

图7 四组试验根部焊缝第1道细晶区金相 (200×)

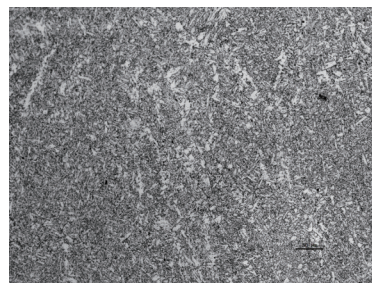
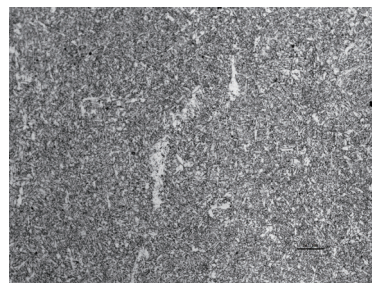
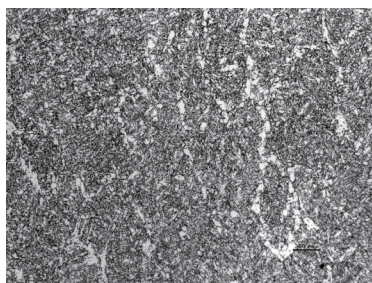
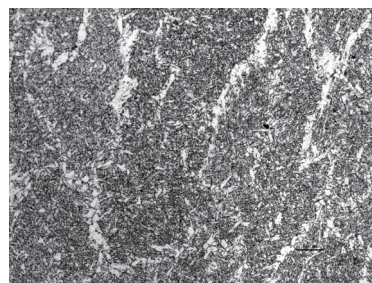
(a) 1[#]试验(b) 2[#]试验(c) 3[#]试验(d) 4[#]试验

图8 四组试验根部焊缝第2道柱状晶区金相 (200×)

少,从而使得针状铁素体的数量逐渐减少。

为了更好地了解相关规律,对根部间隙与根部焊缝中心冲击值(-40℃)进行线性拟合(见图11),得到相关线性公式。根据该公式以船舶规范所要求47J(-40℃)为最低值时,则在本

试验其他条件不变的前提下间隙不能超过12mm。

5. 结语

通过对FH40高强度钢不同间隙的药芯焊丝单面陶瓷衬垫焊试验,以及其根部焊缝冲击韧性试验、宏观及微观组织分析,得出以下结论。

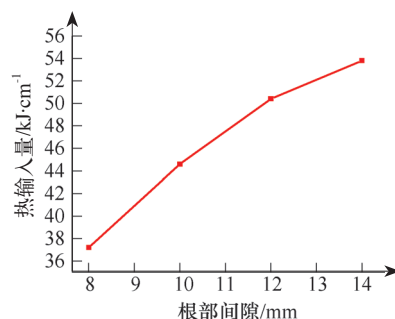


图9 根部间隙与热输入量关系

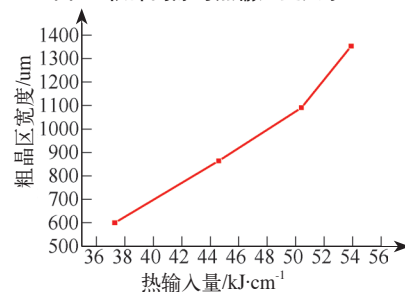


图10 热输入量与粗晶区宽度关系

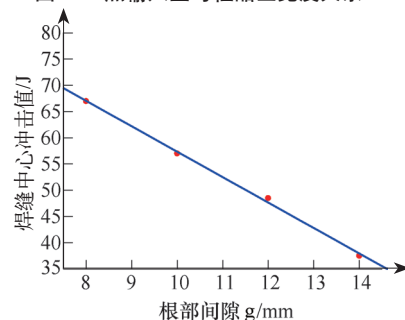


图11 根部焊缝中心KV-g拟合曲线

(1) 随着间隙的增加,根部焊道的热输入量随之增加,从而引起根部焊道本身柱状晶的尺寸增大、先焊道的粗晶区宽度增加及原奥氏体晶粒增大。

(2) 根部焊缝中心和熔合线的冲击性能与热输入量的增加呈反方向关系,根部间隙越大,热输入量越大,冲击性能越低。

(3) 根据建立的间隙与冲击值的线性关系,以船舶规范及本试验条件为依据,根部间隙不能超过12mm。

作者简介: 马金军、江泽新,广船国际有限公司。

MW 20170924