

# 低合金成本DH36船板试制和性能综合评价

雷 柯

(山钢股份济南分公司 科技质量部,山东 济南 250101)

**摘 要:**为降低成本,取消了晶粒细化元素V的加入,对造成的晶粒粗化通过优化轧制工艺进行弥补,并对试制的DH36船板进行综合性能评价。结果表明,钢板组织为铁素体和珠光体,晶粒度不低于8.5级;-40℃冲击功>80J,韧脆转变温度低于-20℃,轧制态综合机械性能良好,满足船板综合评价要求;钢板焊接接头冲击韧性略低于母材,符合船板综合评价的要求,吨钢降低成本25元。

**关键词:**DH36船板;低合金成本;力学性能;冲击韧性

**中图分类号:**TF762.3;TG142.41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-4620(2015)02-0011-03

## 1 前 言

船体结构需要将船板焊接而成,而接头的存在使得船体各部分的强韧性分布不均;同时焊接成型后的船体结构会因在长度方向重力、浮力的不均匀,不同深度承受压力不同及舾装的影响,整体上的受力也不均衡。为了保证船体在复杂、交变载荷作用下的安全,建造船舶的原材料需要经过全面的质量评估。作为船体结构建造用的原材料,在批量生产前需要对其各项性能进行全面的评价

在钢铁行业普遍盈利时期,钢铁企业为了保证船板的高质量要求,采用比较保守的高成本的生产方法。以济钢39mm正火轧制交货的DH36船板为例,曾采用Al+Nb+V的细化晶粒组合方式合金化,取得船级社认可和生产船板。为了应对市场变化,

降低船板生产成本,包括合金成本,计划采用Al+Nb的细化晶粒合金化方式,并进行了试制生产,同时按照船板认证全面评价的要求进行质量检测。

## 2 低成本DH36船板的试制

V在钢中的作用是通过形成V(C,N)影响钢的组织 and 性能,主要在奥氏体晶界的铁素体中沉淀析出,在变形过程中能抑制奥氏体的再结晶并阻止晶粒长大,从而细化铁素体晶粒、提高钢的强度和韧性。取消合金元素V的加入将降低晶粒的细化能力,但可以通过降低钢板的终轧温度进行弥补。

与采用Al+Nb+V的生产工艺相比,由于取消了V-Fe合金的加入,将终轧温度降低20℃至船级社许可的终轧温度最低值,其他生产工艺相同。试制DH36船板(炉号02946)的化学成分见表1。

表1 试制DH36船板的化学成分(质量分数)%

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Als	V,Cu,Cr,Mo,Ni	Ceq	Pcm
0.16	0.25	1.44	≤0.030	≤0.020	0.010~0.050	0.005~0.020	≥0.015	残余	0.41	0.25

## 3 试制DH36船板的性能

### 3.1 船板认证的评价要求

考虑到船板主要通过焊接的方式使用,为了保证船舶的高安全系数,全面评价需要同时对轧制态和焊接态的性能进行检测。

**轧制态:**化学成分、纵向和横向拉伸,纵向和横向系列冲击、冷弯、消应力拉伸、时效冲击、落锤。

**焊接态:**焊接接头的拉伸、冷弯、硬度试验和冲击韧性。

### 3.2 轧制态船板的性能检测

1)拉伸性能。对试轧的厚度为39mm的DH36

船板取样进行了横向和纵向常规拉伸和消应力拉伸试验,试验结果见表2。结果表明钢板的强度和伸长率满足船级社规范要求。

表2 试轧DH36船板强度和伸长率

取样方向	$R_m$ /MPa	$R_{0.2}$ /MPa	A/%	Z/%	备注
横向	420	539	25.0	45	常规拉伸
纵向	403	534	31.5	61	
横向	421	541	26.5	57	消应力拉伸

2)系列冲击性能。对试轧的厚度为39mm的DH36船板进行横向和纵向20℃、0℃、-20℃、-40℃和-60℃的V型夏比冲击试验,试验结果表明,在-60℃时船板的冲击性能>40J,冲击韧性转变温度低于-20℃,满足船级社规范要求;同时对试样进行消应力后的系列冲击,-40℃冲击功>80J,也满足船级社的规范要求。系列冲击试验结果如图1和图2所示。

收稿日期:2015-01-08

作者简介:雷柯,男,1983年生,2005年毕业于西安建筑科技大学金属材料专业。现为山钢股份济南分公司科技质量部工程师,从事产品质量管理和新产品开发工作。

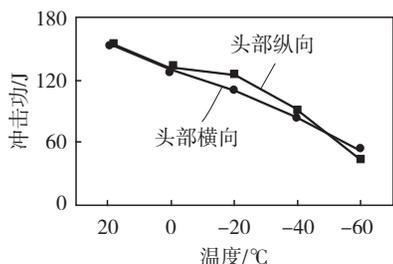


图1 轧制态系列冲击试验结果

3)钢板的微观组织。对船板取样进行金相分析,钢板金相组织为铁素体+珠光体(见图3),钢板

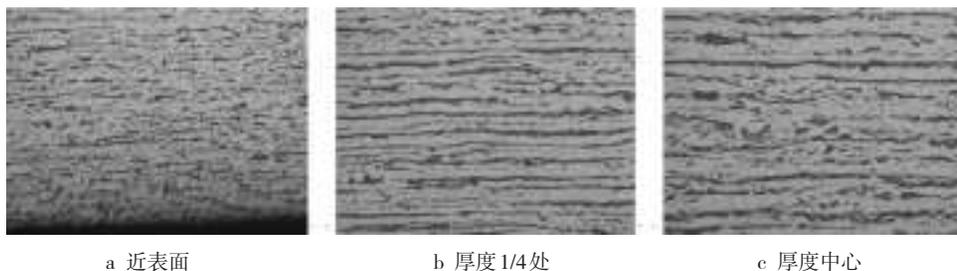


图3 试轧的厚度为39 mm的DH36船板金相组织 ×100

4)其他性能。对钢板按照 ASTM E208 进行无塑性转变温度检测,按照标准中P2试样要求进行制备和检测。检测结果表明,试样在-30 °C未破断,满足船级社规范的要求;对钢板的内部质量按照 ASTM A578 进行检测,结果满足 LEVEL C 要求;同时对钢板进行冷弯性能检测,弯心直径为试样厚度的3倍,试验结果合格。

3.3 焊态船板的性能检测

为了评价试制的DH36船板焊接后的性能,采用单V型坡口进行埋弧焊,焊缝方向平行于钢板的轧制方向,焊接热输入采用15 kJ/cm (I)和50 kJ/cm (II)两种方式,试样的焊缝结构如图4所示。同时按照上述焊接方法焊接第2组试样,用于测试焊接消应力后的力学性能。

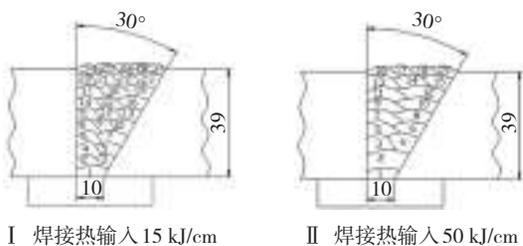


图4 试制的DH36船板焊缝结构示意图

1)拉伸试验。对焊接后的钢板取横向拉伸试样进行拉伸试验,试样断裂位置在基体上;焊接后试样的抗拉强度和轧态的抗拉强度接近,未出现明显降低。试验结果见表3。

表3 DH36钢板对接接头抗拉强度

焊接热输入/(kJ·cm <sup>-1</sup> )	焊态/MPa	消应力后/MPa
15	547	518
50	537	517

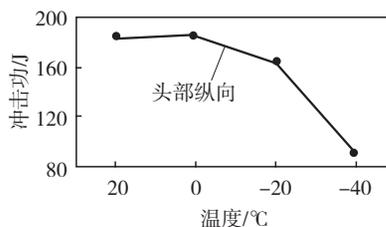


图2 轧态消应力后系列冲击试验结果

近表面、厚度1/4处和厚度中心的晶粒度分别为9.5级、9.0级和8.5级。

2)冲击试验。对焊接后和焊接消应力处理后的DH36钢板进行-20 °C冲击试验,冲击试样的缺口分别位于焊缝中心、熔合线、熔合线外2 mm、熔合线外5 mm和熔合线外20 mm,以检测焊缝周边钢板的冲击韧性。经检测发现焊接消应力后,在熔合线外2 mm和5 mm处钢板的冲击韧性下降比较明显(见表4),冲击功平均值最低值为41 J,检测结果满足船级社要求。

表4 DH36钢板对接接头冲击试验结果

试板状态	焊接热输入/ (kJ·cm <sup>-1</sup> )	焊缝中心/ J	熔合线/ J	熔合线外/J		
				2 mm	5 mm	20 mm
焊态	15	127	124	97	70	84
	50	66	111	95	87	84
消应力后	15	109	91	60	41	79
	50	111	73	45	73	78

3)硬度试验。对DH36钢板的焊缝、两侧热影响区和两侧母材进行硬度测试,测试方式按照HV5进行。每个区域测量3个硬度值,计算平均值。硬度测试点分布见图5。测试结果见图6。

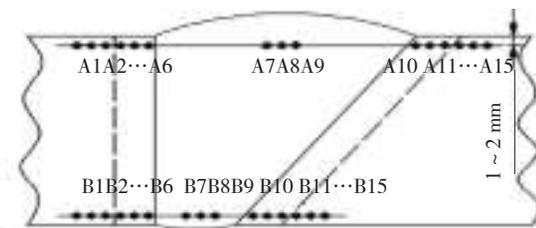


图5 硬度试验点位置示意图

4 结 语

对试制厚度为39 mm的DH36船板的组织性能检测分析表明,钢板的组织为铁素体和珠光体,晶

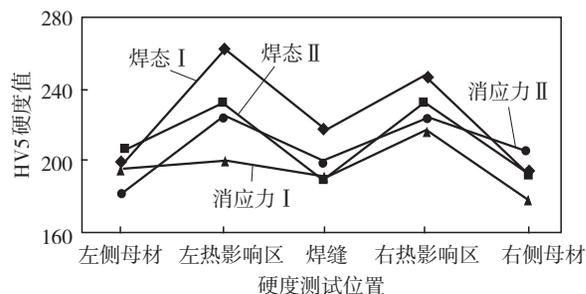


图 6 焊缝各区域硬度值变化趋势

粒细小、均匀,晶粒度不低于 8.5 级。钢板的强度富余量约为 45 MPa,伸长率富裕量 $\geq 4\%$ (绝对值), $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冲击功和消应力后冲击功均 $>80\text{ J}$ ,韧脆转变温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,轧制态综合机械性能良好,满足船

板综合评价要求。钢板焊接接头的抗拉强度达到 530 MPa 以上,冲击韧性略低于母材,在距熔合线 2 mm 和 5 mm 出现了冲击韧性的最低值,其中焊接线能量越大,冲击韧性的降低越明显;在焊缝和热影响区,硬度值出现了上升,但焊接后钢板的性能都满足船板综合评价要求。

取消约 0.015% 合金元素 V 的加入,可以节省合金成本约 25 元/t,其造成的晶粒粗化可以通过降低终轧温度来进行弥补。按照上述工艺生产的船板经过综合评价满足船板综合评价的要求。此生产工艺获得船级社认可后,已按此工艺生产、交付船板 8 000 t,产品质量符合船级社要求。

## Trial and Comprehensive Evaluation of the Property for Low Alloy Cost DH36 Grade Hull Structural Plate

LEI Ke

(The Science and Technology Quality Department of Jinan Branch Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** To reduce the cost, although the addition of grain refining element V was cancelled in the process of steel-making for DH36, and the performance of DH36 by adjusting the rolling parameter in the approved range can be ensured. The results of comprehensively evaluating and the properties of trial DH36 showed that the microstructure is the ferrite and pearlite, the ferrite grain size grade is no less than 8.5, the absorbed energy of impact test is no less than 80 J at  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the FATT is lower than  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the comprehensive mechanical properties in rolling condition are good and meet the requirements of society rule. The mechanical properties in welding are a few lower than those in rolling condition, but can meet the requirements of society rule too. And finally the cost of 25 Yuan RMB per ton of steel can be reduced.

**Key words:** DH36 grade hull structural plate; low of alloy cost; mechanical property; impact toughness

(上接第 10 页)

表 7 40Mn 热轧窄钢带外形尺寸控制及允许偏差

规格/ (mm × mm)	厚度/mm		宽度/mm	
	实测	标准要求	实测	标准要求
3.2 × 320	-0.02 ~ 0.08	± 0.20	-1.0 ~ +1.8	-1.5 ~ +2.5
3.0 × 335	0.01 ~ 0.10	± 0.17	-0.8 ~ +1.8	-1.5 ~ +2.5
2.5 × 330	-0.03 ~ 0.07	± 0.17	-0.9 ~ 2.0	-1.5 ~ +2.5
3.0 × 415	0.03 ~ 0.08	± 0.17	-1.0 ~ +2.0	-1.5 ~ +2.5

运行,除鳞效果较好,对工艺通道打磨及时,轧后钢带表面光洁,未发现氧化铁皮压入及表面裂纹、划伤等缺陷。

## 5 结 语

莱钢 620 mm 热轧带钢生产线通过生产工艺和

表 8 40Mn 热轧窄钢带厚度 3 点差及同条差 mm

厚度规格	厚度		3 点差		同条差
3.3	3.31	3.38	3.36	0.07	0.07
3.0	3.00	3.05	3.02	0.03	0.05
2.5	2.52	2.51	2.54	0.03	0.02
标准要求				≤ 0.20	≤ 0.17

操作的优化,成功开发了 40Mn 热轧窄带钢,其力学性能、尺寸精度、板型质量、表面质量等控制良好,满足了下游用户再加工的需要,拓宽了产品品种,提高了窄带钢产品的市场竞争力。

今后将进一步完善和稳定生产工艺,提高包装质量,改进工艺制度,进一步提高产品质量,更好地满足用户的不同需求。

## Development of 40Mn Hot Rolled Narrow Strip Steel

YU Yunxia

(Yinshan Section Steel Strip Plant of Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271126, China)

**Abstract:** In view of easy cracking of the billet, easy decarburization in heating process of the billet and other problems, the molten iron was pretreated for desulphurization. By appropriately reducing single furnace loading, adopting full protection casting, high temperature fast heating process, the quality of the billet and the properties after rolling were ensured. The product quality of 40Mn hot rolled narrow strip steel developed can conform to the Standard requirements. The finished product rate is 98.26% and the qualified rate is 99.91%. The strip delivery state hardness (HSB 10/3 000) is 187-195. The average depth of decarburized layer is 0.042 mm. The strip with high precision of shape size and good surface quality meet the Standard and the user's requirements.

**Key words:** hot rolled narrow strip steel; 40Mn steel; hardness; decarburization layer