

文章编号:1673-9981(2010)04-0564-04

E级船用结构钢板的开发

何矿年, 李 桦, 刘年富, 廖卫团

(广东省韶钢钢铁集团公司, 广东 韶关 512123)

摘 要:按照 E 级船用结构钢板的技术要求及市场需求, 通过合理的低 C, Nb 和 Ti 微合金化的化学成分设计, 结合控轧控冷工艺及正火热处理工艺成功开发了以正火状态交货的 E 级船板, 其性能完全符合 GB712-2000 标准的要求及各国船级社船规的要求, 得到了九国船级社工厂的认可。

关键词:E 级船板; 微合金化; 正火热处理; 产品开发

中图分类号: TG142. 33; TG142. 1

文献标识码: A

随着国内外造船技术的高速发展, 船舶的大型化、高速化、轻量化为高级别船体结构钢的应用开创了广阔的前景^[1]。船舶制造要求造船结构钢板不但具有一定的强度, 而且还要有良好的低温冲击韧性。因此, E 级船结构钢具有更广泛的开发前景, 2008 年, 广东省韶钢钢铁集团公司(以下简称韶钢)的技术人员成功地开发出这一产品, 并于 12 月份顺利地通过了九国船级社工厂的认可。

1 技术要求

GB712-2000 中对 E 级船钢板的化学成分要求列于表 1; 对机械性能、冲击韧性、工艺性能的要求列于表 2。E 级船板除要保持 A、B 级船板的强度外, 还对冲击韧性提出了更高的要求, 要以 -40 ℃ 的低温冲击性能交货。另外, 在进行工厂认可时, 还

必须保证 -40 ℃ 的时效冲击性能合格。低温时效冲击性能是钢厂开发更高级别船板的难点。

2 E 级船板开发的工艺

2.1 工艺路线

E 级船板钢的冶炼工艺:

高炉铁水→铁水预脱硫→120 t 顶底复吹转炉冶炼→LF 炉外精炼→RH 真空精炼→板坯连铸→切割→入库。

E 级船板的轧制及热处理工艺:

铸坯加热→四辊可逆式轧机轧制→层流冷却→矫直→精整→检验→表面抛丸→正火热处理→空冷→检验→标识→入库。

表 1 E 级船板的化学成分

元素	C	S	P	Mn	Si	Als
含量 w/%	≤0.18	≤0.035	≤0.035	0.70~1.20	≤0.35	≥0.015

收稿日期:2010-10-09

作者简介:何矿年(1963—),男,广东封开人,高级工程师,大学本科。

表2 E级船板的力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	-40℃冲击值/J(纵向)	120°宽冷弯试验,弯径为3a
≥235	400~520	≥22	≥27	完好

2.2 确定钢板成分

为了保证-40℃的时效冲击韧性,降低碳含量是一个比较好的手段,但这会在一定程度上降低钢板的强度,而且随后进行的正火热处理,还会导致强度的进一步下降,这就需要添加一定量的细晶化微合金元素,如Nb和Ti等。微合金元素Nb和Ti可以扩大形变奥氏体未再结晶区的温度范围,有利于在热轧变形过程中通过增加奥氏体未再结晶区的轧制变形量,依靠生成的细小弥散的氮化物、碳化物和碳氮化合物钉扎晶界,阻碍奥氏体晶粒长大,起细化晶粒作用;同时析出的弥散晶粒又起到沉淀强化作用,从而通过细晶强化作用和沉淀强化作用弥补强度的损失。另外,通过添加微合金元素结合控轧控冷工艺细化晶粒,可以提高钢板的塑韧性。钢中的有害元素S、P、H、O及夹杂物对韧性及韧脆转变温度均有明显的影响,N元素是导致钢材出现应变时效效应的根本因素。所以E级船板钢对钢的纯净度的要求更高。因此,正火E级板的成分设计的总体原则是低C高Mn以及Nb、Ti微合金化。

根据船板钢的相应规定以及现有设备和E级船板的工艺要求,E级船板的熔炼成分列于表3。

表3 E级船板的熔炼成分

成分	内控要求 w/%	目标 w/%
C	0.05~0.09	0.07
S	≤0.010	≤0.005
P	≤0.020	≤0.015
Mn	0.90~1.10	1.05
Si	0.025~0.030	0.028
Als	0.020~0.030	0.025
Nb	0.01~0.05	0.03
Ti	≤0.040	0.015

2.3 炼钢

2.3.1 转炉冶炼

为了获得较低的P含量,转炉采用双渣法冶

炼;强化挡渣出钢;为防止回磷,合理控制终点C含量,防止钢水的氧化性过强。

2.3.2 精炼

在LF炉中使用Si-Ca线进行钙化处理,促使钢中的夹杂物球化,从而改善钢中夹杂物的形态;同时确保白渣时间;RH炉的真空压力保持在≤133 Pa,真空脱气保持时间不小于15 min,以保证尽可能地脱气、去除夹杂物。

2.3.3 连铸

连铸的控制要点是:确保中间包钢水的温度起伏较小;确保连铸机结晶器液面的稳定,以减少夹渣、卷渣和下渣;连铸全程保护浇注,大包到中包采用保护套管,密封圈并氩封,中间包采用浸入式水口,结晶器采用专用低碳钢保护渣浇注;浇注过程拉速控制稳定;为了减少中心偏析还应尽量降低过热度。

2.4 轧钢

2.4.1 板坯加热

加热温度控制在1150~1280℃,加热时间为2~3 h,出炉温度低于1200℃,出炉后采用高压水除鳞。

2.4.2 板坯轧制

板坯轧制及冷却采用二阶段控轧(即奥氏体未再结晶区轧制)工艺控制。第二阶段开轧温度不高于880℃,终轧温度不高于820℃,开冷温度不高于790℃,终冷温度不高于700℃。

大量的研究表明,细晶强化是获得较好强度,并能显著改善低合金钢的低温韧性的有效强化机制。通过在未再结晶区轧制确保大于60%以上的累积形变量,即低温大变形诱导铁素体机制,结合适当的控冷措施可有效地控制晶粒的长大,从而获得晶粒超细、大小均匀的铁素体。另外在整个轧制过程中要加强除鳞以确保船板的表面质量。

2.5 钢板正火热处理

E级船板属低合金钢系列,结合前期的试验结果,确定E级船板的正火工艺为:加热温度按 A_{c3} (加热时奥氏体与铁素体相变临界温度)+(50~100

℃)来设计,正火按三段温度区域控制,预热段温度860℃,加热段温度(920±10)℃,均热段温度(910±10)℃.考虑到辊底式热处理炉的实际使用情况及钢板热处理生产时的节奏控制,采用恒速加热,加热速度为1.5~2.0 min/mm(包括加热及均热时间),正火后空冷至200℃以下.

3 性能结果及分析

在韶钢宽板厂采用150 mm的连铸坯结合正火工艺轧制了厚度为18 mm和36 mm两个规格的成分钢板.其力学性能和微观组织情况分别列于表4和表5,微观组织结构如图1所示.

品钢板.其力学性能和微观组织情况分别列于表4和表5,微观组织结构如图1所示.

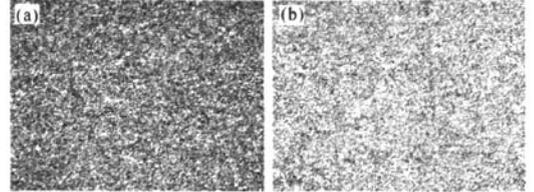


图1 正火后E级船板的微观组织,100×
(a) 18 mm 船板; (b) 36 mm 船板

表4 正火E级船板钢的力学性能

规格/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	-40℃冲击值/J(纵向)	-40℃时效冲击值/J
18	325~345	435~450	35~38.5	250~326	234~297
36	315~325	435~450	33~39	200~310	90~248

表5 正火E级船板钢的金相组织

规格/mm	组织	带状组织评级	铁素体晶粒度评级	夹杂物评级 ¹⁾
18	铁素体+珠光体	0.5	10.0	C类0.5
36	铁素体+珠光体	0.5	9.5	A类1.0,C类1.0

注1):夹杂物评级中,A类夹杂物表示硫化物夹杂,C类表示硅酸盐夹杂

由表4可见,通过Nb、Ti微合金化和控轧控冷工艺以及正火工艺处理,所获得的E级船板的机械性能全部符合GB712-2000的规定,而且关键的认可指标-40℃时效冲击韧性也都合格,各项性能指标的富余量较大,完全满足船级社工厂认可的要求.

从表5及图1正火后对应的组织情况来看,船板的组织晶粒非常细,且晶粒大小均匀.在A₃温度之上,珠光体重新向奥氏体转变,获得的起始奥氏体晶粒均一旦细小.加入的Nb、Ti和Al等合金元素的低合金钢,是本质细晶粒钢,在钢中形成细小的C、N化合物第二相粒子分布在奥氏体晶界上,阻碍晶界移动从而阻止了晶粒的长大^[2].因此,在合适的加热温度和保温时间下,晶粒长大倾向较小,在空冷后保持了较细小的晶粒.另外,夹杂物主要是硫化物和硅酸盐类,其级别较低.经过正火热处理后的组织晶粒均匀,带状组织级别很低,几乎为0级.可见经正火热处理后,组织的晶粒得到了显著的细化及晶

粒度均匀性较好,这是正火E级船板具有适中的强度的同时可以获得良好低温冲击韧性主要原因.

4 结论

通过合理的低C及Nb、Ti微合金化和控轧控冷工艺以及正火工艺处理,所获得的E级船板的机械性能全部符合GB712-2000的规定,最关键的认可指标-40℃时效冲击韧性也符合要求,且各项性能指标的富余量较大,完全能满足船级社工厂认可对钢板的要求.

参考文献:

- [1] 马云亭,叶建军. Nb在低温高强度船体结构钢EH36中的应用[J]. 宽厚板,2002,8(3):18-23.
- [2] 赵品,谢辅洲,孙文山. 材料科学基础[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社,1999:171.

Development of the grade E hull structure plate

HE Kuang-nian, LI Hua, LIU Nian-fu, LIAO Wei-tuan

(Guangdong Shaoguan Iron & Steel Group Co., Ltd., Shaoguan 512123, China)

Abstract: Based on the technical requirement and the market demand, the grade E hull plate with normalizing delivery condition is successfully developed by reasonably low C, Nb, Ti chemical composition of micro-alloying design, combine with the TMCP and normalizing process, of which the product quality fully conforms to the requirement of GB712-2000 standard and classification societies standard, and receives the approval of nine country classification societies.

Key words: grade E hull plate; micro-alloyed; normalizing heat treatment; product development