

# 高强船板 E36-Z35 的研制开发

许海平,杜琦铭,王丽岩

(河北钢铁集团邯钢 技术中心,河北 邯郸 056015)

**摘要:**通过合理控制碳当量( $\leq 0.42\%$ ),添加适量微合金元素Nb,采用低硫铁水、LF+RH双精炼工艺冶炼,连铸保护浇注,TMCP工艺轧制,正火处理,邯钢成功开发出E36-Z35高强船板。各项检测表明,船板具有较高的强度、良好的韧性、优良的抗层状撕裂能力和焊接性能,钢板NDT温度达 $-65\text{ }^\circ\text{C}$ , $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 冲击功不低于34 J,完全满足船级社规范要求。

**关键词:**高强船板;E36-Z35;微合金化;控制轧制;正火

中图分类号:TC142

文献标识码:B

文章编号:1004-4620(2011)06-0016-02

## 1 前言

随着造船业的发展,我国已成为主要的造船大国之一,船板需求量逐年增加。邯钢结合自身中厚板生产线的工艺装备优势,依据9国船级社规范,自主研发开发了厚度为50 mm、正火状态交货的高强船板E36-Z35,产品实物质量得到了美国、中国、日本、韩国、德国、意大利、英国、挪威、法国9国船级社工厂认可。

## 2 E36-Z35 船板的试制工艺

试制工艺路线:铁水预处理 $\rightarrow$ 120 t转炉冶炼 $\rightarrow$ 120 t LF精炼 $\rightarrow$ 120 t RH精炼 $\rightarrow$ 板坯连铸 $\rightarrow$ 铸坯加热 $\rightarrow$ 3 500 mm四辊可逆式轧机轧制 $\rightarrow$ 控制冷却 $\rightarrow$ 钢板矫直 $\rightarrow$ 空冷 $\rightarrow$ 探伤 $\rightarrow$ 正火 $\rightarrow$ 标识 $\rightarrow$ 发货。

### 2.1 成分设计

高强船板E36-Z35要求钢质纯净,要求具有较高的强度、良好的韧性、优良的抗层状撕裂能力和焊接性能。因此,成分设计思路主要依据9国船级社规范和正火交货状态。

为了保证获得良好的低温韧性和优良的焊接性能,成分设计应适当降低碳当量;考虑正火后对强度的影响,碳当量又不能太低。因此设计选择E36-Z35碳当量 $\geq 0.42\%$ 。添加适量微合金元素Nb,有利于得到细小的铁素体晶粒,以提高强韧性;适当添加Ni元素可以确保获得良好的低温韧性。为了保证钢板具有优良的抗层状撕裂性能,需严格控制S含量。E36-Z35成分设计见表1。

表1 E36-Z35化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Als	Nb+Ni	Ceq
$\leq 0.16$	$\leq 0.40$	1.20 ~ 1.50	$\leq 0.020$	$\leq 0.005$	$\geq 0.015$	$\leq 0.35$	$\leq 0.42$

收稿日期:2011-09-02

作者简介:许海平,男,1979年生,2002年毕业于武汉科技大学金属材料工程专业。现为邯钢技术中心工程师,从事中厚板新产品开发工作。

### 2.2 冶炼工艺

E36-Z35转炉冶炼采用低硫铁水顶底复吹;采用硅锰铁、中碳锰铁、铝、铌铁脱氧合金化;LF喂铝线造白渣精炼,精炼时间 $> 30\text{ min}$ ;RH采用本处理模式,纯脱气时间 $> 5\text{ min}$ ,钙处理后保证充足的净吹氩时间,净吹时避免钢水液面裸露。连铸采用保护浇注,拉速控制在 $0.90 \sim 1.10\text{ m/min}$ 。

### 2.3 轧制和正火工艺

#### 2.3.1 加热工艺控制

铸坯加热奥氏体晶粒的大小将影响轧后钢板晶粒的大小,奥氏体晶粒随加热温度的升高而长大。为了防止因加热温度过高造成晶粒粗化,在保证微合金元素碳、氮化物充分固溶的前提下,E36-Z35加热温度控制在 $1\ 180 \sim 1\ 250\text{ }^\circ\text{C}$ ,加热时间控制在 $3 \sim 3.5\text{ h}$ 。

#### 2.3.2 轧制工艺控制

E36-Z35采用两阶段控制轧制,铸坯开轧温度为 $1\ 050 \sim 1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$ 。在完全再结晶区,尽可能采用较大的压下量,以细化奥氏体晶粒,道次压下率控制在 $10\% \sim 20\%$ 。当轧到成品钢板厚度的 $2 \sim 3$ 倍时开始待温。根据Nb能提高奥氏体再结晶温度的特点,E36-Z35未再结晶区的开轧温度不高于 $950\text{ }^\circ\text{C}$ ,道次压下率 $> 15\%$ ,终轧温度不高于 $880\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>。

#### 2.3.3 冷却工艺控制

控制轧制过程中,通过反复变形一再结晶,可以细化晶粒,但形变过程诱发相变,使 $A_3$ 温度提高,致使铁素体在较高温度下析出,若轧后缓慢冷却易使晶粒长大。E36-Z35轧后钢板进入ACC装置冷却,钢板终冷温度 $\geq 720\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup>。

#### 2.3.4 正火工艺控制

E36-Z35正火温度设计为 $880 \sim 910\text{ }^\circ\text{C}$ ,加热时间 $1.6 \sim 1.9\text{ min/mm}$ ,以有效消除组织缺陷,改善钢板心部质量,充分细化晶粒,最终获得优良的综合力学性能。

### 3 试制结果

邯钢生产试制 6 炉 E36-Z35 高强船板, 采用 220 mm 厚铸坯, 生产钢板厚度 50 mm, 正火状态交货, 按照船级社规范要求, 对其中两批 E36-Z35 各项性能进行检验。表 2、表 3 为 E36-Z35 力学性能结果, 图 1、图 2 为金相组织及金相检验结果。钢板落锤试验、焊接性能试验由中国船舶重工 725 研究所进行, 两批号 E36-Z35 板 NDT 温度为 -65 °C, 焊接接头不同部位冲击功 ( $A_{kv}$ ) 见表 4。邯钢自主研发生产的

E36-Z35 高强船板, 强度均匀, 横纵向波动范围小, 冷弯、冲击、落锤、焊接性能良好, 晶粒细小, 组织均匀, 各项性能指标全部符合各国船级社规范要求。

表 2 E36-Z35 板的拉伸、冷弯、Z 向性能

批号	取样位置	$R_{m}/MPa$		$R_{w}/MPa$		$A/\%$		冷弯	断面收缩率/%		
		横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向				
4514	头部	440	435	570	565	30	30	合格	80	77	77
	尾部	450	430	565	555	28	28	合格	75	73	75
4515	头部	455	450	560	560	28	32	合格	77	78	79
	尾部	445	440	565	565	30	30	合格	74	72	76

表 3 E36-Z35 板的  $A_{kv}(-40\text{ °C})$  及时效  $A_{kv}(-40\text{ °C})$  J

取样位置	4514 板						4515 板						
	横向 $A_{kv}$		纵向 $A_{kv}$		纵向时效 $A_{kv}$		横向 $A_{kv}$		纵向 $A_{kv}$		纵向时效 $A_{kv}$		
	实测	平均	实测	平均	实测	平均	实测	平均	实测	平均	实测	平均	
近表面	256	255	252	254.3	288	292	278	286.0	282	272	258	270.7	
头部	1/4 处	220	216	284	240.0	278	300	286	288.0	277	259	220	252.0
	1/2 处	185	200	187	190.7	186	198	232	205.3	189	180	169	179.3
近表面	254	251	245	250.0	262	253	257	257.3	268	266	265	266.3	
尾部	1/4 处	281	223	246	250.0	283	274	211	256.0	237	238	285	253.3
	1/2 处	183	181	167	177.0	186	195	200	193.7	162	165	174	167.0
		264	265	263	264.0	281	281	288	283.3	266	271	262	266.3
		296	220	237	251.0	248	237	229	238.0	219	231	211	220.3
		207	168	209	194.7	234	214	202	216.7	256	193	219	222.7
		260	268	218	248.7	271	287	288	282.0	267	257	210	244.7
		244	261	221	242.0	281	273	248	267.3	224	216	262	234.0
		195	183	192	190.0	187	203	232	207.3	168	186	177	177.0

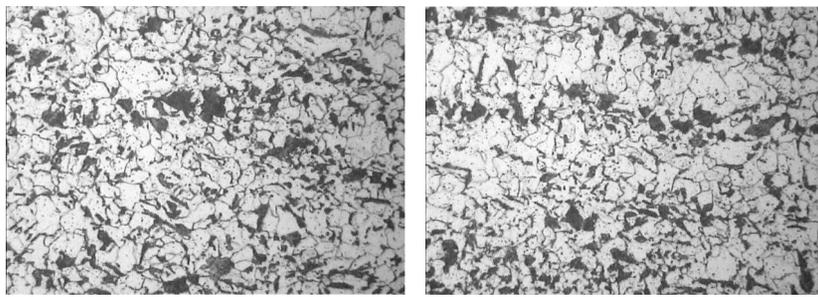


图 1 批号 4514 板金相组织 500 ×

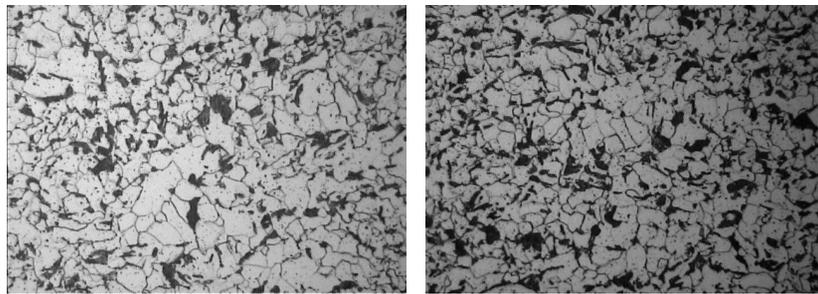


图 2 批号 4515 板金相组织 500 ×

表 4 钢板焊接接头不同部位  $A_{kv}(-40\text{ °C})$  J

批号	项目	缺口位置			
		熔合线	熔合线 2 mm	熔合线 5 mm	熔合线 20 mm
4514	实测	48	194	296	298
		60	200	298	298
		68	208	298	299
	平均	58.7	200.7	297.3	298.3
4515	实测	55	183	296	297
		62	190	298	295
		70	192	299	298
	平均	62.3	188.3	297.7	296.7

### 4 结语

邯钢采用 Nb 微合金化、LF+RH 双精炼工艺、TMCP 工艺轧制、正火状态交货, 自主研发的 50 mm 厚 E36-Z35 高强船板, 钢质纯净, 组织均匀, 晶粒细小, 具有较高的强度、良好的韧性、优良的抗层状撕裂能力和焊接性能, 落锤检验钢板 NDT 温度达 -65 °C, -40 °C 冲击功不低于 34 J, 完全满足船级社规范要求。

(下转第 20 页)

态下会导致温度分层,将需要增加的延迟时间完全用于钢水软吹,延长第1炉软吹时间,更有利于促进夹杂物上浮。

## 4 结 论

4.1 实现恒速浇注的工序时间条件为:连铸工序必须是整个生产线的“瓶颈”,冶炼及精炼周期必须小于连铸周期,在工序能力上,冶炼及精炼工序应强于连铸。

4.2 受实际工序能力制约,当非连铸工序构成“瓶颈”而不满足恒速浇注工序时间条件时,可以通过缩短“瓶颈”工序作业时间或在开浇第1炉前增加延

迟时间的方法来实现恒速浇注,延迟时间应略大于式(9)的理论计算值。

### 参考文献:

- [1] 李凤喜,李具中.连铸“典型拉速下恒拉速”的生产实践[C]//中国金属学会.第四届发展中国家连铸国际会议论文集,2008.
- [2] 王南,李勇,董尉民,等.小方坯恒拉速浇注工艺实践[J].河南冶金,2011,19(2):43-44.
- [3] 李刚利.唐山建龙恒速浇注生产实践[C]//中国金属学会.2010年全国炼钢连铸年会论文集,2010:209.
- [4] 陈荣秋,马士华.生产与运作管理[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [5] 郑邦民,汤志忠.计算机系统结构[M].北京:清华大学出版社,1998.

## Control Method of Working Procedure Time in the Constant Speed Casting

ZHAO Guang-fu, LUO Jun, HUANG Sheng-yu, HU Li-gang

(The Steelmaking Plant of Fangda Special Steel Technology Co., Ltd., Nanchang 330000, China)

**Abstract:** The constant speed casting reflects the ability of steelmaking production organization and process control, it is often necessary to plan working procedure time for it. Working procedure time conditions based on pipeline technology is analyzed, the method of using delaying first task and the optimal delay time are presented, and the practice shows that the method is feasible.

**Key words:** steelmaking; constant speed casting; pipeline; working procedure time

(上接第15页)

## Analysis of the Slag Stopping Effects by Sliding Gate in Converter

YU Li-guo<sup>1</sup>, WANG Jing-jian<sup>2</sup>

(1 Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China;

2 Shandong Metallurgical Industry General Company, Jinan 250014, China)

**Abstract:** In order to reduce the amount of converter slag, based on analyzing and profiting from the domestic and foreign control technologies of slag stopping, Laiwu Steel adopted infrared slag detection and the slag stopping mean of auto sliding gate opening and closing. The success rate of slag stopping reached 100% and the average thickness of slag carry-over was only 32 mm. After slag stopping by it, the average rephosphorization in LF refinement was only 0.001 4%, while reducing the amount of the deoxidation reagents and improving refining rhythm.

**Key words:** converter; sliding gate; slag stopping; rephosphorization

(上接第17页)

### 参考文献:

- [1] 孙本荣.中厚钢板生产[M].北京:冶金工业出版社,1993.

- [2] 王有铭,李曼云,韦光.钢材的控制轧制与控制冷却[M].北京:冶金工业出版社,1995.

## Development of High Strength Hull Structural Steel E36-Z35

XU Hai-ping, DU Qi-ming, WANG Li-yan

(The Technology Center of HBIS Handan Iron and Steel Group Co., Ltd., Handan 056015, China)

**Abstract:** Through controlling carbon equivalent ( $\leq 0.42\%$ ) reasonably, adding appropriate microalloy element Nb, adopting liquid iron with low sulfur content, LF+RH refining processes, protection casting technology, TMCP process and normalizing treatment, Handan Steel developed E36-Z35 high strength ship plates successfully. The test results showed that the E36-Z35 hull plates have high strength, good toughness and excellent lamellar tearing resistant ability and welding performance, the NDT temperature achieved minus 65 °C by DWTT and the absorbed-in-fracture energy at minus 40 °C was not less than 34 J, meeting the requirements of the rules of Classification Society fully.

**Key words:** high strength ship plate; E36-Z35; micro-alloying; controlled rolling; normalizing