

## 国内外高强度船板钢的研发现状和发展

陈 妍 齐殿威 吴美庆

(鞍钢股份公司技术中心, 鞍山 114009)

**摘 要** 概述了近年来高强度船板钢的重点研发领域- 低温韧性、优良耐腐蚀性、大线能量焊接性、疲劳性能等研究, 介绍了最新高强度船板钢的研究和开发特点, 生产典型高强度船板钢的关键技术。当前船板钢的开发趋势为通过低 C、高 Mn、复合微合金化、控轧控冷工艺和表面技术生产高强度、高韧性、耐腐蚀和制造工艺性能优良的船用钢板。

**关键词** 高强度船板钢 微合金化 韧性 焊接性 控轧控冷 研究和发展

### R&D Present Status and Progress of High Strength Ship Plate Steel At Home and Abroad

Chen Yan, Qi Dianwei and Wu Meiqing  
(Technology Center, Ansteel Co Ltd, Anshan 114009)

**Abstract** Key R&D field for high strength ship plate steel in recent years including low temperature toughness, excellent corrosion resistance, weldability with high heat input welding and antifatigue performance of steel has been summarized in article. The characteristics of research and development of new high strength ship plate steels and key technologies to produce typical high strength plate steel are presented. At present the trend of development of ship plate steels is to produce high strength-toughness, excellent corrosion resistance and manufacturing performance ship plate steel by using low C, high Mn, multicomponent microalloying technologies combining with control rolling-cooling and surface technologies.

**Material Index** High Strength Ship Plate Steel, Microalloying, Toughness, Weldability, Control Rolling-Cooling, Research and Development

船舶的大型化、高速化以及海洋油气田的开发, 为高强度船用钢的应用提供了广阔的前景, 同时, 为了保证船舶的安全航行和使用的可靠性, 从强度、韧性、疲劳性能、焊接性以及耐腐蚀性能方面, 也对船用钢提出了更高的要求。因此, 世界各大钢铁企业也在不断地进行满足不同性能要求船板钢的研发。本文主要对 2010 年公开的高强度船用钢专利进行分析, 揭示其研发现状和发展趋势。

#### 1 专利公司公开的总体情况

2010 年首次公开船舶及海洋平台用钢相关专利 98 件, 其中包括可用作高强度船板的专利 73 件。2010 年公开的高强度船板钢的重点研发领域见表 1。

#### 2 高强度船板钢的研发特点

最新公开的船板钢研发成果设计成分均以低碳、增锰和微合金化为主。成分设计特点如表 2 所示。

高强度船板钢轧制工艺的研究大多采用 TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) 工艺, 通过再结晶区轧制重新细化奥氏体晶粒, 在非再结晶区轧制使奥氏体晶粒伸长, 结合冷却制度, 控制累计压下量, 获得规定性能的钢板。除此之外, 在最新公开研发成果中, 还包括两种非常规轧制方法, 其特点如下:

(1) 特殊的细化奥氏体晶粒技术: 经过奥氏体再结晶区域轧制后在奥氏体未再结晶区域进行累计压下率 40% 以上的轧制, 然后急速将中间坯加热至

表 1 最新高强度船板钢研发领域

Table 1 Recent research and development field for high strength ship plate steels

公司	韧性	耐腐蚀性	焊接性	疲劳性能
新日铁	低温韧性	-	大线能量焊接性能	-
JFE	强度、韧性匹配	原油舱和压载舱用钢板的耐腐蚀	大线能量焊接性能	疲劳裂纹产生和止裂性能
神户制钢	止裂韧性; 低温韧性; 低屈服比高韧性	原油舱和压载舱用钢板的耐腐蚀	大线能量焊接性能	-
住友金属	Z 向性能	压载舱用钢板的耐腐蚀	焊接变形量小的厚板; 大线能量焊接性能	疲劳裂纹产生和止裂性能
POSCO	低温韧性	原油舱用钢板的耐腐蚀	大线能量焊接性能	-
现代制铁	-	-	大线能量焊接性能	-
宝钢	低温韧性	-	大线能量焊接性能	-
沙钢	低温韧性	-	-	-

表2 最新研发高强度船板钢的成分设计特点  
Table 2 Composition design characteristics of recent studied and developed high strength ship plate steels

性能	成分设计思路	具体措施
低温韧性	C-Mn-Si-Al 系, 加入微合金化元素	(1) 添加 Nb、Ti 微合金化 <sup>[1]</sup> ; (2) 复合添加 1.6% ~ 1.8% Ni, 1.1% ~ 1.3% Cu, 用 Ni 抑制 Cu 在轧制过程中引起的热脆 <sup>[2]</sup> ; (3) 加入 2.0% ~ 4.5% 的 Ni, 配合 2 次热轧工艺 <sup>[3]</sup> 。
大线能量焊接性	利用微合金元素细化奥氏体晶粒 利用氧化物等夹杂促进晶内铁素体生成 减少 M-A 组元	利用钢中的析出物 TiN 或 ZrB 细化晶粒 <sup>[4]</sup> 。 (1) 在含 B 低碳贝氏体钢中微量添加 N 和 V <sup>[5]</sup> ; (2) 控制 Ca、S、O 含量, 形成复合硫化物 <sup>[6]</sup> 。 减少 Nb、Mo 含量, 加入 Mn、Cu 和/或 Cr <sup>[7]</sup> 。
耐腐蚀性	提高钢材表面锈层致密性 调整钢材表面的粗糙度	合理使用 Sn、Sb、W、Mo、Cu、Cr 元素 <sup>[8,9]</sup> 。 添加 Cu、Ni 元素, 并控制其含量 <sup>[10]</sup> 。

Ar<sub>3</sub> 相变点以上到奥氏体再结晶区域, 之后再与 TM-CP 工艺相结合, 获得优良韧性<sup>[11]</sup>。

(2) 2 次热轧工艺: 为了解决钢板中 Ni 偏析 (含 2.0% ~ 4.5% Ni) 问题, 先将板坯加热至 1 250 ~ 1 380 °C, 保温 8 h, 压下比 1.2 ~ 10.0, 最后 1 道次前温度 800 ~ 1 250 °C, 空冷到 300 °C, 然后再加热到 900 ~ 1 270 °C, 压下比 2.0 ~ 40.0, 最后 1 道次前温度为 680 ~ 1 000 °C, 2 次热轧后, 进行水冷, 时间在 100 s 以内, 终冷温度在 200 °C 以下, 获得低温韧性和强度各向异性小的钢板<sup>[3]</sup>。

### 3 典型高强度船板钢的关键技术

#### 3.1 韧性优良的船板钢

##### 3.1.1 止裂韧性

JFE 和神户制钢公开的止裂韧性优良的船板钢

均是以提高母材韧性为出发点, JFE 是通过控制轧制条件和板厚方向的织构, 即提高板厚 1/4 部位 {100} <011> 取向强度, 进一步提高母材韧性以实现止裂; 神户制钢是控制母材的化学成分 (调整固溶 B 含量) 和内部组织, 提高板厚 1/4 ~ 1/2 厚度位置的韧性以实现止裂。止裂韧性优良船板钢的化学成分实例、关键技术分别见表 3、表 4<sup>[12,13]</sup>。

##### 3.1.2 低温韧性

宝钢 F40 级、沙钢 F460 级和 F550 级 HSLA 钢板、神户制钢低碳贝氏体钢板等低温韧性优良船板钢主要采用低 C、Nb、V、Ti 微合金化, 结合控轧控冷保证船板具有优良的低温韧性。但对于一定厚度的超高强度船板钢, 特别是 F620 和 F690 级的船板钢, 是难以通过微合金化和控轧控冷工艺获得所需要的屈服强度和低温韧性的。为此, 沙钢采用复合添加 Ni、Cu, 结合加热-保温-两阶段轧制-空冷-热处理工艺, 开发出 F620 级低温冲击韧性良好的船板钢。新日铁主要采用加入 Ni 元素, 配合特殊的轧制工艺实现 -70 °C 韧性优良。典型低温韧性优良船板钢的化学成分、关键技术分别见表 3、表 4<sup>[1-3]</sup>。

##### 3.1.3 强韧匹配

JFE 从两个途径实现晶粒细化提高韧性: (1) 采用上述特殊的细化奥氏体晶粒的方法, 获得 15 μm 以下奥氏体晶粒, 抗拉强度 ≥ 950 MPa, 韧脆转变温度 -40 °C 以下; (2) 采用两相区大累计压下率轧制, 使铁素体连续再结晶, 将铁素体晶粒细化到 3 μm 以下, 并与 Cu 或 Nb 的析出强化相结合, 获得良好的韧性 (表 3、表 4)<sup>[11,14]</sup>。

#### 3.2 大线能量焊接性能优良的船板钢

通常情况下, HAZ (Heat-affected Zone) 强度和冲击韧性随输入线能量的增大而降低。为解决

表3 典型的具有优良止裂韧性、良好低温韧性或高强韧性船板钢的化学成分/%

Table 3 Chemical composition of typical ship plate steels with excellent crack arrest property, better low temperature toughness or high strength-toughness performance /%

韧性指标	公司	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	N	Nb	Ti	B	其他
止裂韧性	神户制钢	0.06	0.15	1.55	0.007	0.003	-	-	-	0.035	0.004 2	0.04	0.01	0.000 7	0-0.002 0
	JFE	0.06	0.50	1.40	0.005	0.002	-	-	0.20	0.040	0.003 3	-	0.01	0.001 0	
低温韧性	神户制钢	0.12	0.27	1.30	-	-	-	-	-	0.050	0.003 0	0.02	0.01	0.001 9	Ca-0.000 3, Mg-0.000 3; RE-0.000 1
	沙钢	0.04	0.24	0.84	0.007	0.004	0.49	1.90	0.50	0.030	-	0.04	0.01	-	Cu-1.15
	新日铁	0.09	0.39	0.91	0.006	0.003	0.30	4.10	0.49	0.060	0.005 8	-	-	-	V-0.04
高强韧性	JFE	0.16	0.23	1.55	0.006	0.001	0.27	0.19	0.41	0.020	-	0.02	0.01	0.000 9	Cu-0.18 V-0.04
	JFE	0.08	0.16	1.30	0.012	0.002	0.24	-	0.08	0.041	0.003 8	0.01	0.01	-	Cu-0.07

表 4 优良止裂韧性、良好低温韧性或高强韧性船板钢的关键生产技术和性能

Table 4 Key produce technologies and properties of ship plate steels with excellent crack arrest property, better low temperature toughness or high strength-toughness

韧性指标	公司	板厚/mm	组织	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	止裂指标 Kca 值/ (N·mm <sup>-3/2</sup> )	低温韧性	轧制工艺	冷却工艺	热处理
止裂韧性	神户制钢	60	准多边铁素体 69%	573		716.4 (-10℃)		加热 1000℃, (Ar <sub>3</sub> + 100 ~ Ar <sub>3</sub> + 150)℃; 累计压下率 15%, Ar <sub>3</sub> ~ (Ar <sub>3</sub> + 50)℃ 累计压下率 15%, 轧后等待 50 s。	Ar <sub>3</sub> ~ 400℃ 的平均冷却速度 15℃/s。	550℃ 回火。
	JFE	55		514	392	7800 (-50℃)		加热 1000℃, ≥(Ar <sub>3</sub> + 100)℃ 累计压下率 60%; Ar <sub>3</sub> ~ (Ar <sub>3</sub> + 60)℃ 累计压下率 50%。	冷却速度 7.1℃/s, 终冷 500℃。	
低温韧性	神户制钢	60	95% 贝氏体				韧脆转变温度 -61℃	加热 1100℃, 980℃ 压下率 50%, 860℃ 压下率 43%	冷却速度 1.5℃/s。	-
	沙钢	32		852	813		-60℃; 母材 185 J, HAZ 159 J	开始粗轧 1120℃, 总压下率 50%, 开始精轧 910℃, 各道次压下率分别为 (%) 14.1、14.8、14.4、14.6、15.8	空冷	900℃ 30 min 淬火, 680℃ 60 min 回火
	新日铁	50		883	850		-70℃; 母材 190 J, HAZ 129 J	第 1 次热轧: 加热 1257℃, 10 h, 压下率 1.6%; 第 2 次热轧: 加热 1125℃, 压下率 5.0%。	水冷, 终冷温度 194℃。	630~680℃ 回火。
高强韧性		15		1120	970		韧脆转变温度为 -78℃	未再结晶区压下率 60%, 终轧 800℃, 从 780℃ 加热至 890℃, 加热速度为 6℃/s。	冷却速度 10℃/s。	回火 550℃, 加热速度 6℃/s。
			84% 铁素体, 13% 马氏体	676	575			板坯加热至 1150℃, 以 10℃/s 冷却, 开轧 630℃, 两相区低温区域累计压下率 90%。	直接淬火。	

HAZ 韧性问题, 国内外相继开展了大线能量焊接用钢的研究工作:

(1) 宝钢通过对钢中析出物 (TiN 或 ZrB<sub>2</sub>) 和/或夹杂物 (氧化物和包裹于其上的 MnS) 形态的控制, 最终实现优良的 500 kJ/cm 以下的大线能量焊接性。

(2) JFE 通过: ①降低 C 和 P 含量, 抑制焊接加热时奥氏体晶粒粗大, 在冷却过程中促进晶内铁素体生成, 同时减少 MA 量; ②控制 Ca、S、O 含量, 满足  $0 < \frac{Ca - (0.18 + 130Ca) \times O}{1.25S} < 1$ , 形成 CaS 和 MnS 复合硫化物, 控制硫化物形态改善大线能量焊接韧性; ③减少 Mo、Nb 等强碳化物形成元素的含量, 增加弱碳化物形成元素 Mn 的含量以及加入 Cu、Cr 等元素, 抑制 MA 生成。

(3) 对于 500 kJ/cm 以上的大线能量 HAZ 韧性优良钢板的研发, 神户制钢在低 C、增 Mn 的成分设计前提下, 根据化学成分的含量, 使 Ti、Al、Ca 的氧化物系夹杂物适当地分散, 并控制其大小, 实现 HAZ 韧性良好, 同时通过控制钢的晶粒直径和 MA 量, 获得了母材低温韧性良好的效果。另一种研发

思路是采用控制 TiN 的数量和大小的方法, 实现 HAZ 韧性良好, 同时进一步抑制规定位置的 MA 生成, 实现母材韧性优良。

(4) 住友金属通过调整化学成分, 控制 Ti/N 值, 控制钢板表面和中间部位的硬度, 实现 50 mm 以上钢板 400 kJ/cm 以上的大线能量焊接性良好。

(5) POSCO 的研发思路是利用 (Ti-Mg)O 或 (Ti-Mg)O-(Ti, B)N 的复合析出的数量和大小, 并适当分布, 促进针状铁素体和多边铁素体形成。实现 100 kJ/cm 以上的大线能量焊接性良好。大线能量焊接韧性优良的高强度船板专利的化学成分和关键技术分别见表 5 和表 6<sup>[4,6,7,15-17]</sup>

### 3.3 耐腐蚀性能优良的船用钢

#### 3.3.1 压载舱用钢材

JFE 侧重对涂膜损伤部位如何抑制腐蚀进一步恶化, 在钢中添加 Sn、Sb、W 等元素, 并结合含 Zn 和 W 底漆, 延长钢材寿命; 神户制钢侧重在高温条件下, 暴露在恶劣腐蚀环境下钢材的耐蚀性, 在 C、Si、Mn、Al 等基本组成成分基础上, 添加 Cu、Ni 等元素的钢材, 并对底漆组成物的成分、平均粒径和界面的粗糙度等方面进行控制, 实现防腐蚀。JFE 和神户

表5 大线能量焊接性优良的典型高强度船板钢化学成分/%

Table 5 Chemical composition of typical high strength ship plate steels with excellent high heat input welding performance / %

公司	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Ca	N	Nb	Ni	B	其他元素
宝钢	0.06	0.29	1.32			0.033						0.001 0	Zr-0.000 5
JFE	0.06	0.10	1.70	0.009	0.002	0.060	0.009	0.002 1	0.005 5	0.006		0.001 0	O-0.002
JFE	0.05	0.08	1.82	0.004	0.002	0.036	0.013	0.001 8	0.004 1	0.010		0.001 4	Cr-0.12; O-0.002 3
神户制钢	0.05	0.11	1.54	0.007	0.003	0.030	0.020	0.001 6	0.007 5	0.007	0.36	0.001 6	Cu-0.24; Zr-0.002 0
住友金属	0.05	0.14	1.69	0.015	0.001	0.042	0.006		0.004 0	0.015	0.70	0.001 4	O-0.001 6; Cu-0.39
POSCO	0.06	0.19	1.54	0.010	0.005	0.010	0.057		0.005 2		0.06	0.005 6	Mg-0.001; O-0.020

表6 大线能量焊接性优良的典型高强度船板钢的关键生产技术和性能

Table 6 Key produce technologies and properties of typical high strength ship plate steels with excellent high heat input welding performance

公司	板厚/ mm	组织	性能				生产方法		
			抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	线能量/(kJ·cm <sup>-1</sup> )	母材 HAZ 韧性	轧制制度	冷却制度	热处理制度
宝钢	40		572	462	500	V <sub>E-20</sub> ≥ 50 J	220 mm 板坯, 加热 1 200 °C 1 ~ 2 h; 1 070 ~ 1 000 °C, 从 220 mm 轧到 120 mm; 950 ~ 800 °C, 从 120 mm 轧到 40 mm	8 °C/s, 终冷 500 ~ 550 °C	-
JFE	40		607	486	230	V <sub>E-40</sub> ≥ 104 J	板坯加热 1 060 °C, (Ar <sub>3</sub> + 10) ~ (Ar <sub>3</sub> + 50) °C 累计压下率 50%	轧后 8 °C/s, 终冷 320 °C	-
JFE	30	微细贝氏体	573	463	400	V <sub>E-40</sub> ≥ 232 J	板坯加热 1 150 °C 2 h, 板厚中心温度 850 °C 以上进行热轧。	板厚中心冷却速度 8 °C/s	500 °C 10 min 回火
神户制钢	80	MA 量 5.4%			500	V <sub>E-40</sub> ≥ 280 J	总压下率 76%, 未再结晶区压下率 54%	5 °C/s, 终冷室温	-
住友金属	70		634	489	420	焊接接头 V <sub>E-40</sub> ≥ 224 J	板坯加热 1 100 °C, 850 °C 以下的累计压下率为 50%, 终轧 750 °C	720 °C 水冷 (40 °C/s), 终冷 180 °C	-
POSCO		针状铁素体 92%	焊接接头 640		120	V <sub>E-20</sub> ≥ 197 J		-	-

制钢研发的压载舱用钢材的化学成分和关键技术如表 7 和表 8 所示<sup>[8,18]</sup>。

### 3.3.2 原油舱用钢材

日本研发原油舱用钢材的主要思路是通过研究整体和局部腐蚀机理,从成分设计角度提高耐腐蚀性能,JFE 主要是适量添加 Cu、Cr、Sn、Sb、W 等元素,在钢板表面形成致密锈层,并配合涂有锌或含锌涂层延长海水或原油腐蚀环境下钢材的使用寿命。神户制钢是适当调整 C、Si、Mn、Al 等成分,特别是控制(Cu + Ni)/S 及 S 含量,调整钢材表面粗糙度,

在钢材表面形成以锌为主要成分的涂层,在减少腐蚀发生量的前提下抑制生成物脱落(表 7、表 8)<sup>[9,10]</sup>。

## 4 高强度船用钢的发展趋势

(1) 船板开发总的趋势是向着高强度和高韧性方向发展。为适应使用环境要求和提高生产效率,满足低温韧性和大线能量焊接性能也成为船板需具备的性能,从公开的最新研发成果来看,目前,国内外有关低温韧性的研究基本上是采用低 C 高 Mn、Ti

表7 优良耐蚀性船用钢材的化学成分/%

Table 7 Chemical composition of steel products for ship with excellent corrosion resistance / %

用途	公司	C	Si	Mn	S	P	Al	N	Cu	Ni	Cr	Ti	Ca	Mo	其他
压载舱	JFE	0.07	0.28	1.06	0.007	0.010	0.028	0.003 2	0.17	0.39	0.01	0.02	0.001 8	0.05	O-0.001 9; W-0.01; Sn-0.035; Sb-0.130
	神户制钢	0.08	0.24	1.98	0.004	0.008	0.028	-	0.47	0.03	0.21	-	-	-	
原油舱	JFE	0.14	0.33	0.99	0.001 4	0.008	0.033	0.002 6	0.07	0.08	0.11	-	-	-	Sn-0.033; Sb-0.06; W-0.06
	神户制钢	0.15	0.30	0.95	0.002	-	0.015	-	0.36	0.26	0.20	0.01	0.002 0	-	Zr-0.02

表 8 优良耐蚀性船用钢材的关键生产技术  
Table 8 Key produce technologies for steel products for ship with excellent corrosion resistance

用途	公司	主要技术措施
压载舱	JFE	(1)适当添加 Mo、W,使锈层中含有 $WO_4^{2-}$ 和 $MoO_4^{2-}$ 的盐或氧化物;(2)船舶的底漆为富锌底漆,上层为环氧系涂膜。
	神户制钢	(1)调整钢的化学成分,复合添加 Cu、Ni、Cr 等元素;(2)调整钢材表面的粗糙度,同时调整防锈底漆的组成以及防腐涂层的平均粒径。
原油舱	JFE	(1)在添加 Cu、Cr、Sn 的基础上,适当添加 W、Sb,提高钢板整体耐腐蚀性;(2)板坯加热到 $1\ 000 \sim 1\ 350\ ^\circ\text{C}$ ,终轧温度 $\geq 750\ ^\circ\text{C}$ ,冷却速度 $2\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ ,终冷温度 $450 \sim 650\ ^\circ\text{C}$ ,板厚 $1/4$ 位置含有 $2\% \sim 20\%$ 珠光体;(3)钢材表面涂有 Zn 或含 Zn 涂层。
	神户制钢	(1)适当调整 C、Si、Mn、Al 含量,控制 $(\text{Cu} + \text{Ni})/\text{S}$ 值及 S 含量;(2)调整钢材表面粗糙度,在表面形成以锌为主要成分的涂层。

等元素微合金化配合 TMCP 工艺,大线能量焊接性能的研究方向为利用微合金化元素细化晶粒、氧化物夹杂促进晶内铁素体生成以及降低强碳化物形成元素、加入弱碳化物形成元素降低 MA 量。

(2)随着研发的不断深入,传统的 TMCP 工艺还将会不断地发展和演变,同时,提高生产率和适合

工业化生产的技术也将不断涌现。

(3)近年,日本和韩国对耐腐蚀船板钢进行了大量的研究,尤其是日本针对原油舱和压载舱的腐蚀机理进行了深入地研究。在今后的一段时间内,对耐腐蚀涂层材料的组成以及提高钢材表面锈层致密性等方面的研究仍然是耐腐蚀船板钢的主要研发方向。

#### 参考文献

- 1 神户制钢. 厚壁钢板及其制造方法. CN, 101633994 [DB/OL]. 2009-07-22 [2010-01-27]. <http://search.cnipr.com/search.do?method=detailSearch>
- 2 江苏沙钢钢铁研究院. 具有超高强度和冲击韧性的船板钢及其制备方法. CN, 101705434 [DB/OL]. 2009-12-18 [2010-05-12]. <http://search.cnipr.com/search.do?method=detailSearch>
- 3 Nippon Steel Corp. Steel Plate Which Exhibits Excellent Low-temperature Toughness Both in Base Metal and in Weld Heat Affected Zone and Has Small Strength Anisotropy and Process for Manufacturing Same; WIPO, WO2010038470. [DB/OL]. 2009-10-01 [2010-04-08]. [http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20100408&CC=WO&NR=2010038470A1&KC=A1](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20100408&CC=WO&NR=2010038470A1&KC=A1)
- 4 宝钢. 高强度高韧性 Zr-B 复合合金钢及其生产方法. CN, 101660092 [DB/OL]. 2008-08-27 [2010-03-03]. <http://search.cnipr.com/search.do?method=detailSearch>
- 5 燕山大学. 一种易焊接低碳贝氏体钢及制造方法. CN, 101787489 [DB/OL]. 2010-03-11 [2010-07-28]. <http://search.cnipr.com/search.do?method=detailSearch>
- 6 JFE. High Strength Thick Steel Plate Excellent in Toughness of High Heat Input Weld Zone and in Properties of Stopping Propagation of Brittle Crack, and Method for Manufacturing the Same; JP, 2010047805 [DB/OL]. 2008-08-22 [2010-3-4]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 7 JFE. Steel Material for High Heat Input Welding; WIPO, WO2010134220. [DB/OL]. 2009-09-25 [2010-11-25]. [http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20101125&CC=WO&NR=2010134220A1&KC=A1](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20101125&CC=WO&NR=2010134220A1&KC=A1)
- 8 JFE. Steel for Ship Having Excellent Corrosion Resistance; JP, 2010196113 [DB/OL]. 2009-02-25 [2010-09-09]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 9 JFE. Corrosion Resistant Steel for Crude Oil Tank, Manufacturing Method Therefor, and Crude Oil Tank; WIPO, WO2010087509. [DB/OL]. 2009-01-30 [2010-08-05]. [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20100805&CC=WO&NR=2010087509A1&KC=A1](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20100805&CC=WO&NR=2010087509A1&KC=A1)
- 10 Kobe Steel LTD. Steel for Crude Oil Tank Ceiling Having Excellent Corrosion Resistance, Crude Oil Tank and Upper Deck of Crude Oil Tanker; JP, 2010150582 [DB/OL]. 2008-12-24 [2010-07-08]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 11 JFE. Method for Manufacturing High Strength High Toughness Steel; JP, 2010248621 [DB/OL]. 2009-03-25 [2010-11-04]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 12 神户制钢. 厚钢板. CN, 101665888 [DB/OL]. 2009-09-03 [2010-03-10]. <http://search.cnipr.com/search.do?method=detailSearch>
- 13 JFE. High Strength Thick Steel Plate for Structure Excellent in Brittle Crack Propagation Arrest Property, and Method for Producing the Same; JP, 2010202931 [DB/OL]. 2009-3-4 [2010-9-16]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 14 JFE. High Tensile Strength Thick Steel Plate Superior in Balance Between Strength and Ductility, and Method for Manufacturing the Same; JP, 2010222615 [DB/OL]. 2009-03-23 [2010-10-07]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 15 Kobe Steel Ltd. Steel Plate; KR, 2010074009. 2008-12-12 [2010-07-01]. [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20100701&CC=KR&NR=2010074009A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20100701&CC=KR&NR=2010074009A&KC=A)
- 16 Sumitomo Metal Ind Ltd. Thick Steel Plate and Method for Producing the Same; JP, 2010074009. 2009-01-09 [2010-07-22]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>
- 17 POSCO. High Heat Input Arc Weld Metal Joint Having Excellent Low Temperature Impact Toughness; KR, 2010050039. 2008-11-04 [2010-05-13]. [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPDOC&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20100513&CC=KR&NR=2010050039A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPDOC&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20100513&CC=KR&NR=2010050039A&KC=A)
- 18 Kobe Steel Ltd. Steel Material for Ballast Tank, Ballast Tank, and Ship; JP, 2010018846. [DB/OL]. 2008-7-10 [2010-1-28]. <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL>

陈妍(1971-),女,工程师,2008年鞍山师范学院毕业,钢铁产品专利研究。

收稿日期:2011-04-15