

# **LNG 储罐用 06Ni9DR (9Ni) 钢板研制开发简介**

舞阳钢铁有限公司

2010 年 4 月

## LNG 储罐用 06Ni9DR (9Ni) 钢板研制开发简介

### 一、前言

随着现代工业的发展，世界上能源的消耗越来越多的集中在气态能源上，尤其是天然气，天然气是清洁、方便、高效的优质能源，世界上天然气资源丰富，天然气贮量估计为 400~600 万亿  $m^3$ 。按现在的年产量水平，可供开发二、三百年。然而，天然气一般都储存在远离主要消耗区的地方，这使得大量的天然气的存贮和长距离运输成为迫切需要解决的问题。如果能把天然气制成液态，体积就能缩小 600 倍，这就使得天然气的运输和贮存成本大大降低，通常天然气的液化温度是  $-162^{\circ}C$ ，那么运输液态天然气的 LNG 船和存储液态天然气的储罐就要用到大量的低温用钢 06Ni9DR。

作为绿色能源的液化天然气 (LNG) 在我国的需求越来越大，我国沿海在建和未来十年内将要建设的 LNG 工程达 20 多个，这些工程将大量用到 06Ni9DR 钢板制造 LNG 储罐。目前这些钢板大部分依赖于进口。舞阳钢铁有限公司于 2009 年 12 月~2010 年 2 月研制开发了 10、20、35、50mm 的 06Ni9DR (9Ni) 钢板，冶炼、连铸、轧制、热处理一次成功，目前在申请评审之中。

### 二、技术要求

06Ni9DR 钢板的主要技术要求见“低温容器用 06Ni9DR (9%Ni) 钢板供货技术条件”

### 三、试制钢板规格

10×2500×12000	2 块	20×2000×12000	2 块
35×2500×8000	1 块	50×2500×6500	1 块

#### 四、实物质量

##### 1、化学成份

表 1、钢板化学成份 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	As	Sn	Sb	N	O	Al
≤0.10	≤0.35	0.30-0.80	0.005	0.001	8.5-10.0	0.005	0.004	0.001	0.004	0.0015	0.030

##### 2、钢板探伤合 JB/T4730.3-2005 I 级。

##### 3、机械性能

表 2 钢板的力学性能

钢种	批号	规格/mm	交货状态	屈服/MPa	强度/MPa	延伸率%	-196℃冲击功/J						
							方向	位置	规格	功1	功2	功3	均值
标准				≥575	680-820	≥18	横			≥100 (B型≥75)			
06Ni9DR	GCB008621	10	正火+回火	610	760	26.5	纵		B	184	149	190	174
				620	765	27	横		B	133	150	150	144
06Ni9DR	GZB008622	10	淬火+回火	660	715	25	纵		B	187	173	181	180
				660	715	25	横		B	153	136	148	146
06Ni9DR	GCB008671	20	正火+回火	610	725	27.0	纵		A	240	256	232	243
				610	725	26	横		A	212	198	204	205
06Ni9DR	GZB008672	20	淬火+回火	640	710	24.5	纵		A	233	244	216	231
				650	715	25	横		A	217	222	215	218
06Ni9DR	GZB000868	35	淬火+回火	635	715	27.5	纵	1/4	A	223	261	227	237
				635	715	25	横	1/4	A	188	198	226	204
06Ni9DR	GZB000868	35	淬火+回火				纵	1/2	A	267	219	228	238
							横	1/2	A	183	252	204	213
06Ni9DR	GZHB000992	50	淬火+回火	630	715	26.5	纵	1/4	A	224	222	214	220
				630	715	26.5	横	1/4	A	214	203	206	208
06Ni9DR	GZHB000992	50	淬火+回火				纵	1/2	A	221	226	218	222
							横	1/2	A	215	197	192	201

由上表可知，从 10mm 到 50mm，从钢板板厚 1/4 到板厚 1/2，钢板在-196℃纵向和横向冲击功均稳定在 200J 以上，说明钢板有良好的性能均匀性。并且对于厚度≤20mm 的钢板，正火+回火和淬火+回火的钢板的性能也相差不大。

#### 4、模拟焊后性能

对 50mm 钢板做了 560℃ 保温 2h、6h、10h 和 580℃、600℃ 保温

3 小时的模拟焊后热处理，之后性能测试如下表所示：

表 3 钢板模拟焊后热处理后性能

钢种	批号	规格	热处理工艺	屈服	强度	延伸	延伸率	-196℃冲击功/J				
								方向	位置	功1	功2	功3
06Ni9DR	GZHB000992	50	模拟焊后 560±5℃ 保温 2H	615	710	A	26.0	横	1/2	196	202	220
				620	715	A	26.0	纵	1/2	231	233	242
								横	1/4	212	204	212
								纵	1/4	217	195	236
06Ni9DR	GZHB000992	50	模拟焊后 560±5℃/6H	600	695	A	25.5	纵	1/2	232	225	279
				610	700	A	26.5	横	1/2	258	247	234
								纵	1/4	300	195	201
								横	1/4	285	239	275
06Ni9DR	GZHB000992	50	模拟焊后 560±5 ℃/10H	605	695	A	26.0	纵	1/2	216	258	208
				605	695	A	25.5	横	1/2	203	242	222
								纵	1/4	275	261	253
								横	1/4	258	268	224
06Ni9DR	GZHB000992	50	模拟焊后 580±5℃/3H	615	705	A	27.5	纵	1/2	230	216	214
				610	710	A	28.0	横	1/2	213	245	207
								纵	1/4	201	217	227
								横	1/4	226	246	225
06Ni9DR	GZHB000992	50	模拟焊后 600±5℃/3H	590	715	A	29.0	纵	1/2	196	220	214
				590	715	A	27.0	横	1/2	228	201	220
								纵	1/4	210	224	201
								横	1/4	234	229	221

从表中数据看出，钢板在不同时间和不同温度模拟焊后热处理后，冲击功仍然保持在 200J 以上，屈服和强度仅略有降低，说明钢板具有良好的稳定性。

#### 5、夹杂物与晶粒度

表 4 夹杂物和晶粒度

厚度 (mm)	A	B	C	D	晶粒度	显微组织
10	0	0.5	0	1.0	9.5	回火索氏体+少量铁素体
20	0	0.5	0	0.5	9.5	回火索氏体+少量铁素体
35	0	0.5	0	0.5	9.5	回火索氏体+少量铁素体
50	0	0.5	0	1.0	9.0	回火索氏体+少量铁素体

## 6、钢板的剩磁

06Ni9DR 钢板是一种特殊的钢板，容易被磁化，经磁化的钢板在焊接过程中容易产生磁偏吹，给焊接带来困难，因此，钢板的剩磁也是一重要指标。舞钢研制开发的 06Ni9DR 钢板经检验，剩磁均小于 20Gs，能很好的满足焊接要求。

五、目前，钢板正在合肥通用机械研究院做综合性能检验，力争 6 月份通过国家锅炉与压力容器标准化技术委员会的评定。

# 低温容器用 06Ni9DR (9%Ni) 钢板供货技术条件

## 1 范围

本技术条件规定了低温储罐和压力容器用调质高强度 06Ni9DR (9%Ni) 合金钢板的尺寸、外形、技术要求、测验方法、检验规则、包装、标志和质量证书等。

本技术条件适用于厚度不大于 50MM 的钢板。

## 2 引用文件

- GB/T222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T223 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T232 金属材料弯曲试验方法
- GB/T228 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T229 金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T247 钢板和钢带验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
- GB/T709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T2975 钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备
- GB/T20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
- GB3531 低温压力容器用低合金钢板
- JB/T4730.3-2005 承压设备无损检测

## 3 尺寸、外形、质量及允许偏差

3.1 钢板的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T709 B 类的规定。

3.2 钢板按理论质量交货，理论计算用钢板质量密度为  $7.85\text{g/cm}^3$ 。

## 4 技术要求

### 4.1 牌号和化学成分

4.1.1 钢的牌号和化学成分（熔炼成分）应符合表 1 的规定。：

表 1 化学成分 wt%

牌号	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	V	Alt
06Ni9DR (9%Ni)	≤ 0.10	0.30~0.80	≤0.35	≤0.010	≤0.004	8.5~ 10.0	≤0.10	≤0.01	≥0.020

4.1.2 为改善钢的性能,可添加表 1 之外的其他微合金元素.

4.1.3 钢中 Cr+Cu+Mo 应不超过 0.50%

### 4.2 冶炼方法

钢采用电炉+炉外精炼方法,钢应经过真空处理。

### 4.3 交货状态

钢板以离线淬火+回火的调质热处理状态交货.为提高钢的韧性,也可以进行中间热处理(二次淬火),对厚度不大于 12mm 的钢板也可以两次正火加回火状态交货,钢板的回火温度不低于 540℃。

### 4.4 力学性能

4.4.1 钢板在交货状态下的室温拉伸性能和低温冲击性能应符合表 2 的规定

表 2 钢板的力学性能

产品厚度 t, mm	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	A%	横向 Ak <sub>v</sub> (-196℃)(J)
≤30	≥575	680-820	≥18	≥100
30<t≤50	≥565			

4.4.2 夏比冲击功按 3 个试样的算术平均值计算,允许其中一个试样的冲击功比表 3 规定值低,但不得低于规定值的 70%。

### 4.5 工艺性能

横向冷弯试验的试样宽度  $b=2a$ ,但不小于 20mm,弯芯直径  $d=3a$ 。钢板表面不加工。进行室温下 180℃冷弯,无裂纹。

### 4.7 表面质量

4.7.1 钢板表面不允许有裂纹、气泡、结疤、折叠和夹杂等缺陷。钢板不得有分层。如有上述表面缺陷,允许清理,清理深度从钢板实际尺寸算起,不得超过钢板厚度公差之半,并应保证钢板的最小厚度。缺陷清理处应平滑无棱角。

4.7.2 其他缺陷允许存在。但其深度从钢板实际尺寸算起,不得超过厚度允许公差之半,并应保证缺陷处厚度不超过钢板允许最小厚度。

4.7.3 由于残留氧化铁皮会遮盖钢板表面缺陷和损伤表面,要求热处理后去除钢板表面的氧化铁皮,钢板应采取防锈措施。

### 4.8 超声波检测

钢板应逐张进行超声波检测,检测方法按 JB/T4730 执行,合格级别为 I 级。

## 5 试验方法

5.1 每批钢板的检验项目、取样数量、取样方法及试验方法应符合表 3 的规定。

表 3 试验方法

序号	检验项目	取样数量 (个/批)	取样方法	试验方法
1	熔炼分析	1 (每炉罐号)	GB/T20066	GB/T223
2	成品分析	1 (逐张)	GB/T20066	GB/T223
3	拉伸	1	GB/T2975	GB/T228
4	低温冲击	3		GB/T229
5	冷弯	1		GB/T232
6	超声波检测	逐张	-	JB/T4730
7	尺寸外形	逐张	-	GB/T709
8	表面	逐张	-	目视

## 6 检验规则

6.1 钢板逐张进行力学性能检验。

6.2 其它未规定事宜按照 GB3531 的规定执行。

## 7 包装、标志、质量证明书

钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T247 的规定。