

试验研究

# 热处理对16MnDR低温压力容器钢板组织和性能的影响

李文钱,马光亭,麻 衡,王月香,吕晓峰  
(莱芜钢铁集团有限公司 技术中心,山东 莱芜 271104)

**摘 要:**试验探讨了16MnDR低温压力容器钢的热处理工艺对力学性能和微观组织结构的影响。结果表明,对热轧状态的16MnDR低温压力容器钢进行热处理,可以细化晶粒和改善组织,提高综合力学性能。910℃正火及910℃正火+620℃回火处理均可以得到比较理想的低温韧性,金相组织为均匀的铁素体+珠光体,断口形貌以低温冲击韧性较好的等轴韧窝为主。

**关键词:**压力容器钢;16MnDR;热处理;低温韧性;金相组织

中图分类号: TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2011)05-0102-02

## 1 前 言

随着石化工业的发展,新工艺、新设备不断出现,对压力容器的用材、设计、制造、检验、运输和安装都提出了新要求。石油化工设备用钢要求在各种使用条件下具有一定强度的同时,更要保证足够的塑性和低温韧性。通常将各种液化石油气、液氨、液氧、液氮等生产、储存容器和输送管道以及在寒冷地区服役的设备,称为低温容器,制造这些容器所用的钢,统称为低温钢。低温钢一般分为无镍钢和有镍钢,无镍钢一般指细晶粒钢和低温高强度钢,其使用温度在-60℃以上;有镍钢是指在钢中加入合金元素镍,使其固溶于铁素体,使基体的低温韧性得到显著的改善,改变体心立方晶格的金属材料共有的低温转脆现象,其使用温度可达到-196℃以下。随着石化设备大型化及气体的液化,分离、贮运及应用在各国已很普遍,这些低温技术和设备的开发促进了低温压力容器用钢的发展<sup>[1-3]</sup>。

16MnDR在主要强化元素Mn、Si的基础上,通过添加微合金元素Nb和Ti,采用高洁净度钢的冶炼方法,通过控制轧制控制冷却和热处理后得到的一种高韧性的钢种,其最低温度可达-40℃,在压力容器、化工设备、车辆等行业得到了广泛的应用。本研究探讨热处理对16MnDR低温压力容器钢板组织和性能的影响<sup>[4]</sup>。

## 2 试验方法

### 2.1 试验材料

试验材料采用工业试制钢板,钢板化学成分(熔炼成分)及力学性能符合GB 3531的规定要求,具体技术要求分别见表1、表2。

收稿日期:2011-08-08

作者简介:李文钱,男,1981年生,2008年毕业于北京科技大学材料加工工程专业。现为莱钢技术中心厚板研究所工程师,从事宽厚板冶炼及轧制工艺研究工作。

表1 化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	Alt	P	S
≤0.20	0.15~0.50	1.20~1.60	≥0.020	≤0.025	≤0.012

表2 力学性能要求

规格/mm	$R_m$ /MPa	$R_{mL}$ /MPa	$A_1$ %	180° 冷弯 ( $b \geq 35$ mm)	冲击试验 冲击温度/℃ $A_{kv}$ /J
8~16	≥315	490~620	≥21	$d=2a$	-40
>16~36	≥295	470~600		$d=3a$	-40
>36~60	≥285	460~590		$d=3a$	-30
>60~80	≥275	450~580		$d=3a$	-30

### 2.2 轧制及热处理工艺

在莱钢4 300 mm轧机上利用300 mm厚度的连铸坯轧制成80 mm厚钢板。加热温度1 200℃,中间坯厚度160 mm,精轧开轧温度900℃,终轧温度≤850℃。粗轧采用大压下轧制,至少有3道次保证道次压下率在15%以上,轧后水冷。

根据经验公式:

$$A_{c3}=910-203\sqrt{C}-15.2Ni+44.7Si+104V+31.5Mo,$$

计算出16MnDR钢的 $A_{c3}$ 温度为870℃。因此,制定的热处理工艺为:正火处理温度910℃,保温时间15 min;回火处理温度620℃,保温时间30 min。

### 2.3 取样检验

对热轧态、正火态和回火态钢板取样后,按GB/T 228《金属材料室温拉伸试验方法》和GB/T 229《金属夏比缺口冲击试验方法》进行常温拉伸试验和-30℃冲击试验。同时对试验钢热轧态、正火态、回火态试样进行力学性能测试,并利用光学显微镜和扫描电镜对显微组织进行观察。

## 3 试验结果

### 3.1 热处理对力学性能的影响

对试验钢按标准要求取横向拉伸和冲击试样进行力学性能试验,按标准要求加工成拉伸和冲击试样。检测钢板厚度方向1/4厚度处的性能,结果见表3(规格为80 mm)。

表3 16MnDR力学性能

项 目	$R_m$ /MPa	$R_{el}$ /MPa	$A/\%$	-30℃冲击功/J			
				1	2	3	平均
标准要求	275	450~580	$\geq 21$			$\geq 34$	
热轧态	430	530	21.5	19	41	30	30
实测 正火态	355	505	24.5	98	86	101	95
回火态	315	500	33.5	207	195	195	199

试验结果表明:试验钢热轧态的屈服强度、抗拉强度和延伸率均符合标准要求,但是冲击性能低于标准要求;正火处理后屈服强度和抗拉强度降

低,延伸率和冲击性能都有了很大的改善,全部力学性能均符合标准要求;回火处理后屈服强度和抗拉强度略微降低,但是低温冲击性能有明显改善。

### 3.2 热处理对组织结构的影响

试验钢热轧状态边部显微组织为贝氏体、铁素体和少量珠光体,边部组织晶粒度9级;中心位置显微组织为铁素体和珠光体,晶粒度7级,从边部到厚度1/4处贝氏体数量逐渐减少。该钢热轧状态的组织形貌见图1。

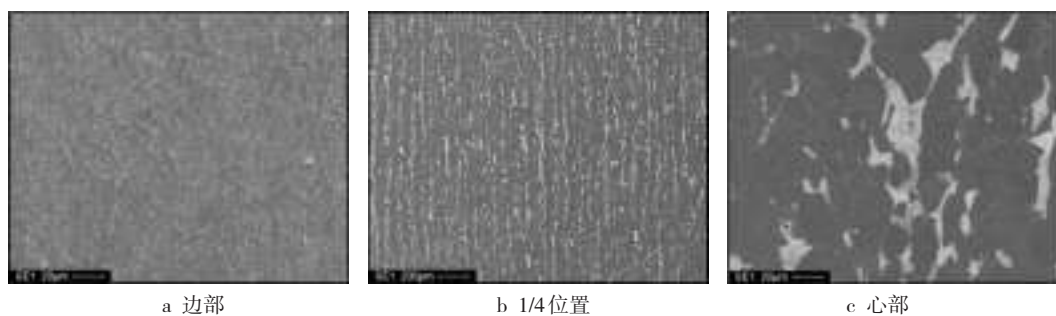


图1 16MnDR钢热轧状态金相组织

16MnDR正火处理后,边部和中心组织趋于均匀,均为铁素体和珠光体组织,晶粒度8.5级。正火态钢的组织形貌见图2。回火处理后,细粒状碳化

物的聚集和粗化,使钢的强度稍降,而韧性尤其是低温冲击韧性可明显提高。16MnDR钢回火后的金相组织见图3。

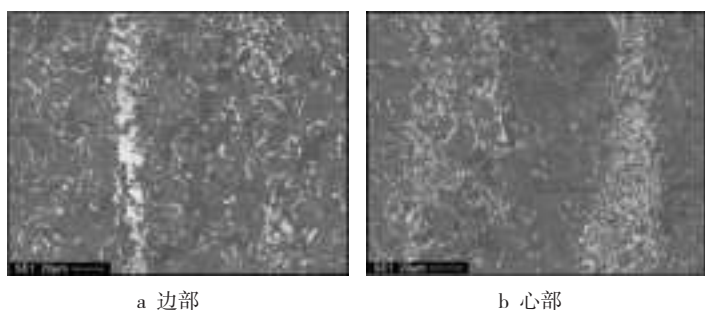


图2 16MnDR钢正火态金相组织

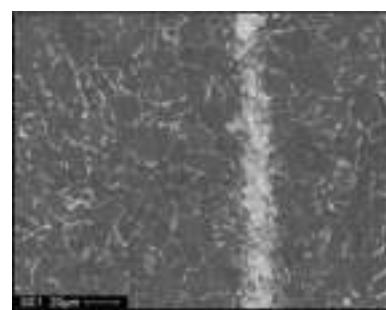


图3 16MnDR钢回火态心部金相组织

### 3.3 断口微观形貌分析

取回火态冲击试样进行扫描断口观察,16MnDR钢回火态试样断口形貌为等轴韧窝(见图4),大而深的韧窝分布比较均匀并且数量也较多,解理花样断口很少,说明材料低温韧性良好。

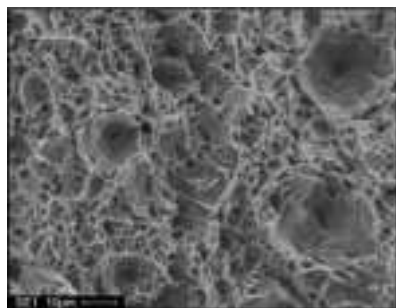


图4 16MnDR钢回火态断口形貌

## 4 结 论

### 4.1 通过微合金化、控轧控冷及热处理的16MnDR

低温压力容器钢板,其综合性能及内部组织完全符合标准及用户要求。

4.2 试验钢热轧后经过在910℃正火及910℃正火+620℃回火处理均可以得到比较理想的低温韧性,金相组织为均匀的铁素体+珠光体,断口形貌以低温冲击韧性较好的等轴韧窝为主。热处理后虽然强度有所降低,但是对提高钢板的低温韧性十分有效,正火和回火后低温冲击韧性明显改善。

#### 参考文献:

- [1] 张勇.低温压力容器用钢的现状与发展概况[J].压力容器, 2006, 23(4): 31.
- [2] 李建华, 习天辉, 陈晓.热处理对3.5Ni钢低温韧性的作用[J].物理测试, 2008, 26(6): 9-12.
- [3] 赵红艳, 刘宗奎.低温钢及其应用[J].山东理工大学学报(自然科学版), 2003(5): 102-104.
- [4] 黄静, 陈晓, 习天辉, 等. -50℃用15MnNiNbDR钢板的开发和试验研究[J].压力容器, 2006, 23(9): 7-11.

(下转第106页)

上机前的软吹时间 $\leq 15$  min,氩气流量控制在 $\geq 100$  L/min,让小的氩气泡携带夹杂物上浮。

为减少非稳态浇注可能带来的夹杂物及二冷水、轻压下变化对内部质量的影响,铸机恒速恒液面浇注,确保拉速 $\geq 0.9$  m/min,实行低过热度浇铸,以获得良好的内部质量。浸入式水口插入深度控制在130~160 mm,对中偏差不超过5 mm。烘烤前和烘烤过程中注意检查水口外形,严禁使用有裂纹、破损等缺陷的水口。矫直温度 $>910$  °C,根据钢种选择相对弱冷的冷却模式。

通过提高钢水纯净度、提升钢坯内部质量,减少钢坯内部原始裂纹、减少偏析、降低夹杂物数量及减少夹杂物的聚集,可有效改善高强度容器板探伤合格率。

#### 参考文献:

- [1] 周文奎.连铸板坯中间裂纹的成因分析与改进措施[J].天津冶金,2010(3):14-15.
- [2] 李梅广,胡淑娥,冯勇.低碳贝氏体高强钢探伤不合原因分析[J].山东冶金,2009(3):39-40.
- [3] 李海波,林伟,王新华,等.铝脱氧钢中尖晶石夹杂物的生成与转变[J].特殊钢,2007(4):30-32.

## Cause Analysis of Ultrasonic Flaw Detection Disqualification of High Strength Vessel Plates

LI Lian-ren, GAO Wei, DU Hai-tao, SUN Cheng-long

(The Medium and Heavy Plate Plant of Jinan Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** Aiming at ultrasonic flaw detection disqualification phenomena of high strength vessel plates, sampling in the ultrasonic flaw detection disqualification site carried out metallographic examination and SEM analysis. The results showed that center cracks and inclusions etc exist in the microstructure. Analysis consider that the main reasons of ultrasonic flaw detection disqualification are the original cracks in the slab, the cracks after rolling caused by the manganese segregation and the calcium-aluminates inclusions. The improvement suggestions are as follows: increasing the cleanliness, reducing the original cracks in the slab and decreasing the quantity and congregating of the inclusions.

**Key words:** high strength vessel plate; ultrasonic flaw detection disqualification; center crack; inclusion

(上接第101页)

- [5] 邓伟,高秀华,秦小梅,等.X80管线钢的冲击断裂行为[J].金属学报,2010,46(5):533-540.
- [6] B. Hwang, S. Lee, Y.M. Kim, et al. Analysis of Inverse Fracture Occurring in Ha mmer-impacted Region during Drop-weight

Tear Test of a High-Toughness Linepipe Steel[C]//Proceedings of The Thirteenth(2003) International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, 2003:129-134.

- [7] 张爱梅,陈勇,邱双全.显微组织对管线钢(X70)DWTT性能的影响[J].新疆钢铁,2010(1):8-10.

## Effect of the Microstructure on the DWTT Properties of X70 Pipeline Steel

HUO Xiao-xin, ZHOU Ping, HUANG Shao-wen, WU Hui-liang, DAI Ping

(The Technology Center of Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

**Abstract:** Based on the DWTT test results of X70 pipeline steels with different thickness from 12 mm to 33 mm, this article studied the microstructure evolution rules of the samples with different thickness and the influences of the microstructure on the DWTT properties by optical microscope and SEM. The results showed that with the plate's thickness increased, the microstructure of X70 steel changed from acicular ferrite and polygonal ferrite/quasi-polygonal ferrite that these grains's boundary intertwined together to the granular bainite and a few of acicular ferrite/polygonal ferrite, and the amount and the size of the precipitation carbide increase too. The samples with the former microstructure have better the DWTT properties. Through the control M/A island morphology and distribution can improve the X70 steel's DWTT properties.

**Key words:** X70 pipeline steel; drop weight tear test(DWTT) properties; microstructure

(上接第103页)

## Influences of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Low-temperature Pressure Vessel Steel 16MnDR

LI Wen-qian, MA Guang-ting, MA Heng, WANG Yue-xiang, LÜ Xiao-feng

(The Technology Center of Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

**Abstract:** Influences of heat treatment on the mechanical properties and microstructure of low-temperature pressure vessel steel 16MnDR were studied by test. The results showed that, for hot-rolled low-temperature steel 16MnDR, the heat treatment could improve the mechanical properties through fining the grain size and adjusting the microstructure. Excellent low-temperature toughness could be gained by normalizing at 910 °C or normalizing at 910 °C followed by tempering at 620 °C. The metallographic structure was uniform ferrite and pearlite, and the fractures with better equiaxial dimples were also gotten.

**Key words:** pressure vessel steel; 16MnDR; heat treatment; low-temperature toughness; metallographic structure