

焊后热处理对 DQ THT80 钢热影响区 断裂韧性的影响

周志良 刘书华

(大连铁道学院)

摘要 研究了直接淬火回火调质钢 DQ THT80 多层焊热影响区的 CTOD 断裂韧性。焊态和焊后热处理状态下的试验结果表明:焊态下热影响区断裂韧性高于焊后热处理态。焊后热处理降低了该钢热影响区的断裂韧性。焊态下断口呈韧窝状,而焊后热处理断口呈解理状。模拟焊接热影响区粗晶区试验结果进一步证实了焊后热处理对韧性的不利影响。

关键词: 直接淬火回火钢 热影响区 断裂韧性 焊后热处理

0 序 言

焊后热处理(PWHT)应用于焊接接头旨在减小残余应力,改善热影响区组织,降低焊接接头硬度,从而有利于焊接热影响区韧性的提高。这种工艺已成功地用于低碳钢,低合金高强钢,低合金耐磨钢等焊接结构^[1]。DQ THT80 是一种新型调质高强钢,由于其良好的焊接性和使用性能受到潜艇、近海采油平台结构的青睐。按常规工艺往往要采用焊后热处理来改善整体结构尤其是焊接区的抗脆断的能力。然而对这类钢焊后是否需要热处理以及焊后热处理对热影响区断裂性能有何影响均未见报导。本文针对上述问题,采用 50mm 厚 CTOD 断裂性能试验和焊接热模拟研究了 DQ THT80 钢焊态和焊后热处理状态下的热影响区韧性。探讨了焊后热处理影响韧性的机制。为采油平台、潜艇等结构的焊接工艺制定及断裂安全评定提供了可靠依据。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试验用母材为含镍直接淬火回火调质高强钢。该钢的生产工艺为在奥氏体未再结晶温度进行控轧,随后快速冷却,并在 580℃回火。与同强度级别的传统调质钢相比,该钢具有低的碳当量,良好的韧性和焊接性。其主要化学成分列于表 1,主要力学性能列于表 2。

表 1 母材化学成分(%)

Table 1 Chemical composition of base steel(%)

C	Si	M n	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	Ti	Al	B
0.13	0.24	0.94	0.008	0.002	0.49	1.33	0.39	0.2	0.04	0.019	0.006	0.072	0.002

表 2 母材力学性能

Table 2 Mechanical properties of base steel

$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	δ_5 (%)	Ψ (%)	Charpy—V energy at—40℃/J
750	800	20	74	84

1.2 焊接

50mm 厚板开 K 型坡口,埋弧焊工艺填满坡口。焊接时背面采用强拘束。焊接预热温度为

100℃,层间温度控制在150℃左右。焊接线能量为3.0kJ/mm。其中一组试板焊后经受580℃、保温2h的热处理。

1.3 焊接热模拟

采用三维热传导方程^[2]模拟焊接热影响区粗晶区组织。模拟峰值温度1350℃,冷却时间 $t_{8/5}$ 为18s,该参数为上述埋弧焊试板实测冷却时间。并对部分热模拟试样进行焊后热处理。

1.4 断裂性能和冲击试验

焊态和焊后热处理态试板加工成贯穿板厚的三点弯曲试样(50mm×100mm×500mm)各10个,取样方向为T-L向。按照英国标准BS7448^[3],在200t的MTS力学性能试验机上进行CTOD试验,试验温度为-10℃。此温度为北海采油平台用钢规定试验温度。采用JSM-35C扫描电镜对断口进行分析。

热模拟试样制成标准夏比冲击试样,在-40℃对热模拟和焊后热处理态各冲击3个试样。

2 试验结果

2.1 热影响区 CTOD 断裂试验结果

贯穿板厚热影响区 CTOD 断裂性能见图1。焊后热处理态的试验结果用带有剖面线的直方图表示。9个有效试验数据表明:焊态下的断裂韧性值约是焊后热处理态的二倍。焊态下的9个有效试样除3个试样外,其CTOD值均大于0.25mm,而焊后热处理态的9个有效试样只有一个试样的CTOD值大于0.25mm。CTOD值大于0.25mm是北海采油平台结构所要求的断裂韧性指标^[4]。显而易见,焊后热处理工艺恶化了DQHT80钢焊接热影响区断裂韧性。

断口分析表明:焊态热影响区试样的裂纹起裂和扩展呈纤维状,断口上有韧窝,典型的断口照片见图2;而焊后热处理态热影响区试样的断口均为脆性,典型的断口照片见图3,在脆断起裂处,除了第二相外,晶界出现了长而深的裂纹。从而可以推断,晶界裂纹加速了脆断的扩展。

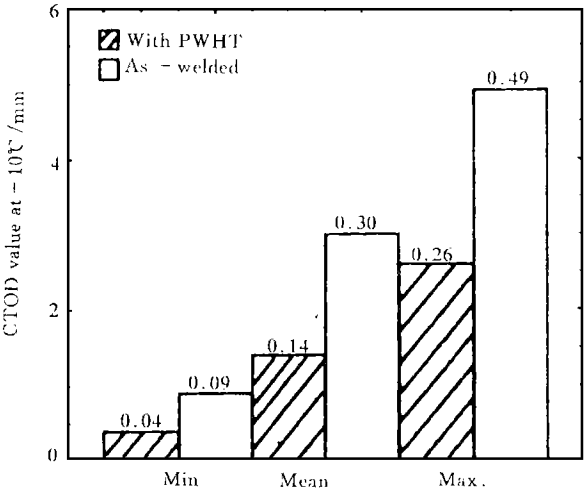


图1 焊态和焊后热处理态热影响区 CTOD 值
PWHT—焊后热处理态, As—welded—焊态
Fig.1 CTOD toughness of HAZ for as-welded and post weld heat treatment weldments

2.2 焊接热模拟试验结果

热影响区粗晶区往往是焊接热影响区中韧性最差的区域,常导致焊接热影响区的脆性断裂。因而是最薄弱环节。模拟热影响区粗晶区焊态和焊后热处理态的冲击试验结果列于表 3。

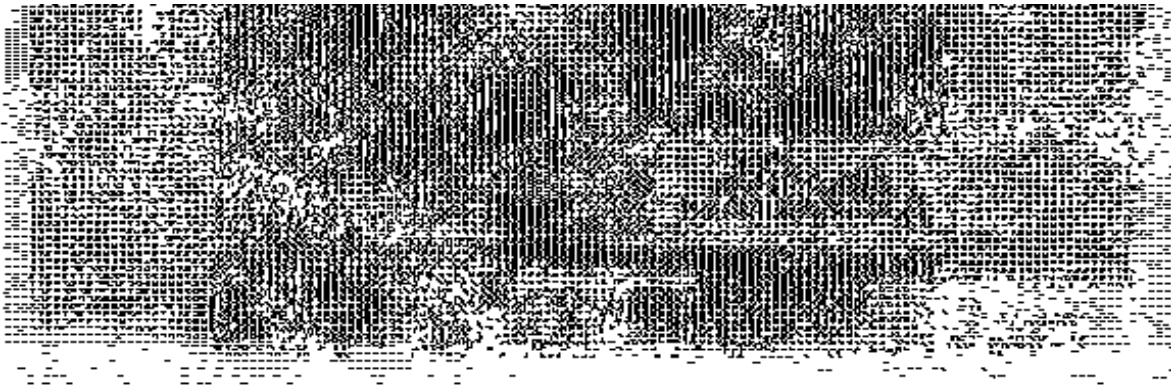


图 2 焊态热影响区 CTOD 断口照片× 600

图 3 焊后热处理态热影响区 CTOD 断口照片× 1000

Fig. 2 SEM fractograph of as-welded HAZ× 600

Fig. 3 SEM fractograph of post weld heat treated HAZ× 1000

由表 3 可见,热影响区粗晶区未经焊后热处理的平均冲击功为 41J,而经过焊后热处理的平均冲击功降为 16J,焊后热处理大大地降低了 DQ THT80 钢焊接热影响区薄弱环节的韧性,从而可导致厚板多层焊热影响区抗脆断能力的下降。

表 3 热模拟热影响区粗晶区冲击试验结果

Table 3 Impact energy of simulated coarse grained HAZ(CGHAZ)

Treatment of specimens	Charpy-V energy at- 40℃/ J		
Simulated CGHAZ	35	45	41
Simulated CGHAZ+PWHT at 580℃ for 2h	12	12	23

3 结果讨论

C—Mn 钢及低合金钢的焊后热处理通常可以改善热影响区的韧性。焊后热处理能使热影响区马氏体回火而降低其硬度,同时还可使热影响区粗晶区 M—A 组织分解,而有利于热影响区韧性的提高^[5,9]。但是焊后热处理对热影响区韧性的影响主要取决于材料的成分,后热温度和保温时间。在有些情况下,焊后热处理不能改善而是降低了热影响区的脆断抗力^[7,8]。在本研究中,焊后热处理使 DQ THT80 钢热影响区脆断起裂和扩展变得更容易,从而降低了该区的断裂韧性。

DQ THT80 钢含有微量合金元素 Nb 和 V。焊后热处理可使 Nb(C, N)和 V(C, N)析出^[7,9],这将使热影响区硬度进一步提高,从而降低其韧性^[9,10]。另一方面,焊后热处理使得碳化物主要是 Fe₃C 在马氏体板条间和原奥氏体晶间析出^[11]。由于碳化物对杂质元素主要是 P 和 S 的溶解度降低这样在碳化物析出的同时,杂质元素在碳化物和基体的界面以及碳化物和奥氏体界面上要富集,这种现象即使纯度很低的低合金钢也曾有过报导^[12]。这样富集在马氏体板条间及原奥氏体界面的杂质降低了聚合强度。虽然沿晶断裂在本研究中未曾观察到,但许多裂纹存在于平台界面和起裂处。这表明杂质富集未曾使沿晶韧性(沿晶断裂所需的功)小于穿晶韧性(穿晶断裂所需的功),但足以使穿晶断裂变得更容易,从而降低热影响区断裂韧性。由此可见,焊后热处理这种耗时费事的工艺不适于 DQ THT80 钢焊接结构。

4 结 论

(1) 厚板多层埋弧焊 DQ THT80 钢热影响区具有足够的断裂韧性, 满足大型结构对韧性的要求。焊后热处理较严重地降低了热影响区断裂性能。

(2) 焊态热影响区为韧性断裂, 而焊后热处理的热影响区为脆性断裂。焊后热处理降低了热影响区脆断抗力。

(3) 焊后热处理降低了热影响区粗晶区的冲击韧性。

(1997—03—24 收到初稿, 1997—11—05 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Shiga C, Gotoh A etc. State of the art review on effect of PWHT on properties of steel weld metal. 1995, IIW Doc., IX—1796—95.
- 2 Easterling K. Introduction to the physical metallurgy of welding. Butterworths & CO. published Ltd. 1983. 23 ~ 25
- 3 British standard for fracture mechanics toughness tests part 1. Method for determination of K_{IC} , Critical CTOD and critical J values of metallic materials BS7448. 1991.
- 4 Denham J B. EEMUAL steel specification for fixed offshore structures. Metal Construction, 1987; 479 ~ 484
- 5 Haze T and Hihara S. Metallurgical factors controlling HAZ toughness in HT50 steels. 1986, IIW Doc., IX—1423—86
- 6 Bosansky J etc. The effect of stress annealing treatments on the structure of high heat—input welds containing Nb and Mo. Scand J. Metallurgy, 1977, 6: 125 ~ 132
- 7 Tanaki K etc. Temper embrittlement in HAZ of $1 \frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ Mo steel. 1992, IIW Doc., IX—1665—92.
- 8 Bott Ivani de S etc. The effect of multipass Post—weld heat treatment (PWHT) on a quenched and tempered HSLA steel. Welding in the world, 1994, 32: 424 ~ 431
- 9 Hannerz N E. Influence of vanadium on the heat—affected zone properties of mild steel. Metal Sci., 1974, 8: 228 ~ 234.
- 10 Hannerz N E. Effect of vanadium on HAZ ductility in constructional HT Steel. Welding Journal, 1975, 54: 162s ~ 168s
- 11 Briant C L and Banerji S K. Tempered martensite embrittlement in phosphorus doped steels. Metal. Trans., 1979, 10A: 1729 ~ 1737
- 12 Briant C L and Banerji S K. Tempered martensite embrittlement in a high purity steel. Metal. Trans., 1979, 10A: 1151 ~ 1155

Effect of PWHT on Fracture Toughness of HAZ in a DQ THT80 Steel

Zhou Zhiliang, Liu Shuhua

(Dalian Railway Institute)

Abstract In this paper, the fracture toughness properties of thick weldment on a quenched and tempered DQ THT80 steel was investigated. The testing results show that the post weld heat treatment (PWHT) deteriorates the toughnees of HAZ of the studied steel. Ductile fructure and cleavage fracture were observed respectively in HAZ for as—welede and post weld heat treated specimens. Moreover, the toughness drop after PWHT was proved by simulation tests on coarse grain zone.

Key words directly quenched and tempered steel, fracture toughness, HAZ, post weld heat treatment