

09MnNiDR 钢焊接试验研究

申伟, 尤佳

(江苏省特种设备安全监督检验研究院, 江苏 南京 210036)

摘要:采用经验公式分析了 09MnNiDR 钢的焊接接头裂纹敏感性,研究了焊接工艺对焊接接头性能的影响。通过分析和斜 Y 型坡口焊接裂纹试验表明 09MnNiDR 具有良好的焊接性能,在室温条件焊接不会产生焊接冷裂纹。通过采用合理的焊接工艺,分别采用钨极氩弧焊、焊条电弧焊和埋弧焊焊接 09MnNiDR 钢,得到综合性能良好的焊接接头,能够满足工程需要。

关键词:09MnNiDR; 焊接裂纹; 接头性能

中图分类号:TG44 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)06-0072-03

Study of Welding Test for 09MnNiDR Steel

SHEN Wei, YOU Jia

(Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China)

Abstract: The crack sensitivity of the welded joint of 09MnNiDR steel is analyzed by empirical formula theory, and the influence of welding technology on the welding joint performance is studied. The theoretical analysis and the Y-groove restraint weld cracking test show that the 09MnNiDR has good welding characteristics, and welding cold cracks can not appear at room temperature. 09MnNiDR steel is welded by GTAW, SMAW and SAW and reasonable welding technology. Its welded joint is of good comprehensive performance. It can meet the engineering needs.

Keywords: 09MnNiDR; welding cracks; welding joint performance

0 引言

随着国民经济的快速发展,低温、深冷设备在国内外炼油、化工设备中得到了越来越广泛的应用。09MnNiDR 钢在低温钢板中占有较大的比重,逐渐取代国外进口低温钢板^[1]。为了保证 09MnNiDR 钢焊接接头的综合性能能满足高强度、高可靠性的设计及要求,达到国际先进水平,本文对 09MnNiDR 钢的焊接裂纹敏感性、配套焊接材料及焊接工艺进行了研究,为 09MnNiDR 钢的应用提供可行的依据。

1 试验材料

本文采用的试验母材为武钢开发的 09MnNiDR 钢,交货状态为正火,组织为铁素体+少量珠光体,试验钢板厚度为 8 mm 和 40 mm 两种规格,质量分数及力学性能分别见表 1 和表 2。

表 1 09MnNiDR 钢质量分数 单位: %

C	Mn	P	S	Si	Ni	Al	Nb
≤0.09	≤1.45	≤0.011	≤0.002	≤0.28	≤0.34	≤0.037	≤0.017

表 2 09MnNiDR 钢力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/(%)	冲击功 $A_{KV-70℃}$ /J
500	355	32.5	60

2 09MnNiDR 钢焊接裂纹敏感性分析

2.1 碳当量计算

钢材的质量分数与其焊接冷裂纹倾向有着密切的关系。导致焊接冷裂纹产生的 3 个主要因素是淬硬组织、拘束应力和氢。采用国际焊接学会碳当量公式计算其碳当量^[2]。

$$C_{eq} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

根据上述公式,结合表 1 中的质量分数计算出碳当量 C_{eq} 值为 0.35,表明 09MnNiDR 钢无淬硬倾向,焊前无需预热。

2.2 冷裂纹敏感性指数计算

目前一般采用焊接裂纹敏感指数来评估冷裂纹敏感指数。若考虑到焊缝金属中扩散氢及不同板厚对焊接冷裂纹的影响,可在 P_{cm} 的基础上进一步得到 P_c 值,根据 P_c 值可以计算出理论最低预热温度 T_0 。

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$P_c = P_{cm} + \frac{[H]}{60} + \frac{\delta}{600}$$

$$T_0 = 1.440P_c - 392$$

按照上述公式计算出 40 mm 厚的 09MnNiDR 钢的焊

接冷裂纹敏感指数 P_{cm} 、 P_c 分别为 0.178%、0.278%，进一步得出预热温度值 T_0 为 9℃。可知 09MnNiDR 的 P_{cm} 为 0.178% < 0.20%，表明 40mm 厚的 09MnNiDR 钢没有冷裂敏感性，焊前无需预热。

2.3 再热裂纹敏感指数和热裂纹敏感指数计算

母材中多种成分之间由于特性不同，这些成分大多都是有碳元素、一种或一种以上的合金元素，常常会作用产生不利于焊接的裂纹。热裂敏感指数和再热裂敏感指数法可以有效分析 09MnNiDR 钢热裂纹和再热裂纹的敏感性。根据式(1)和式(2)分别计算 09MnNiDR 钢的再热裂纹敏感指数 PSR 和热裂纹敏感指数 HCS 。

$$PSR = Cr + Cu + 2Mo + 5Ti + 7Nb + 10V - 2 \quad (1)$$

$$HCS = \frac{C(S+P+Si/25+Ni/100)}{3Mn+Cr+Mo+V} \times 10^3 \quad (2)$$

Mn/S 比值越大，焊接中产生热裂纹的几率就越小。当 Mn/S 的比值超过 25，一般认为就不会产生热裂纹。根据 09MnNiDR 钢中 Mn、S 含量算出其 Mn/S 为 725，远远 > 25，根据式(1)、(2)计算得出 PSR 为 $-1.711 \leq 0$ ，表明 09MnNiDR 钢产生再热裂纹的可能很小， HCS 为 $0.57 \leq 4$ 。由于热裂纹的临界值，即 $HCS = 4$ 远远大于它，表明 09MnNiDR 钢不会很容易产生热裂纹。

3 斜 Y 型坡口焊接裂纹试验

本试验按照 GB4675.1-1984《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》进行，采用双面焊接方法焊接拘束焊缝，要求不能产生角变形和未焊透等缺陷。焊完将试件放置在空气中自然冷却 12h。焊接试验焊缝采用 W107DR 焊条，焊接方法为焊条电弧焊。选择 3 种预热温度为室温、50℃ 和 80℃，如表 3 所示。

表 3 焊接试验结果

预热温度/℃	表面裂纹率/(%)	断面裂纹率/(%)	根部裂纹率/(%)
室温	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0

由表 3 可知，09MnNiDR 钢在室温、50℃、80℃ 3 种预热温度下，均未发现表面裂纹、断面裂纹和根部裂纹，说明 09MnNiDR 在室温条件下具有优良的焊接性。

4 09MnNiDR 钢焊接工艺研究

4.1 09MnNiDR 钢焊接工艺制定

根据 NB/T47014-2011《承压设备焊接工艺评定的有关规定》进行焊接工艺评定试验，试验方法分别采用钨极氩弧焊、焊条电弧焊和埋弧自动焊，综合评价 09MnNiDR 钢焊接接头性能。钨极氩弧焊焊接试板采用 8mm 的 09MnNiDR 钢板，坡口尺寸如图 1 所示，焊丝采用 HS09MnNiDR 氩弧焊丝，熔敷金属力学性能如表 4 所示，

采用单面焊双面成型技术焊接。焊条电弧焊和埋弧焊焊接试板采用 40mm 的 09MnNiDR 钢板，坡口尺寸如图 2 所示；焊条采用 W107DR 焊条，熔敷金属力学性能如表 5 所示；埋弧焊丝和焊剂采用 H06Mn35DR+SJ208DR，熔敷金属力学性能如表 6 所示，采用双面焊+背面清根焊接。通过理论分析和斜 Y 型坡口焊接裂纹试验得出 40mm 的 09MnNiDR 钢无需预热，但是根据 NB/T47015-2011《压力容器焊接规程》推荐的 40mm 厚 09MnNiDR 钢需预热 80℃ 左右^[3]。

在多层多道焊中，后一道也是对前面焊道的热处理，层间温度太低会产生淬硬组织，层间温度太高会造成晶粒粗大，韧性变差。因此控制好层间温度可以有效地改善焊接接头的性能。实践表明，焊接 09MnNiDR 钢时，层间控制在 200℃ 以下，可以得到优良的接头韧性^[4]。

消应力退火处理对焊接接头的低温冲击韧性十分重要。采用焊后消应力退火可以有效地消除残余应力，改善焊接接头的性能。根据相关文献资料显示，09MnNiDR 钢消应力热处理的最佳温度为 600 ± 20 ℃。

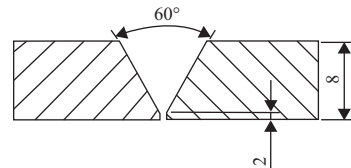


图 1 GTAW 试板坡口尺寸

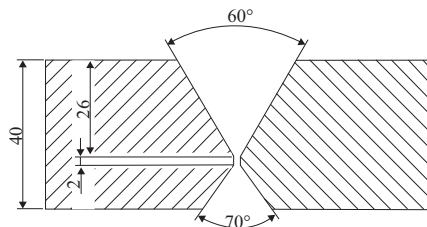


图 2 SMAW 和 SAW 试板坡口尺寸

表 4 HS09MnNiDR 熔敷金属力学性能

数值类别	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/(%)	冲击功 $A_{KV-80^\circ C}$ /J
标准值	≥550	≥470	≥24	≥47
实测值	590	495	28	571/170/148

表 5 W107DR 熔敷金属力学性能

数值类别	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/(%)	冲击功 $A_{KV-101^\circ C}$ /J
标准值	480~600	≥400	≥22	≥27
实测值	550	460	24	52/77/90

表 6 H06Mn35DR+SJ208DR 熔敷金属力学性能

数值类别	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/(%)	冲击功 $A_{KV-101^\circ C}$ /J
标准值	480~600	≥400	≥22	≥34
实测值	535	440	28	68/85/63

焊接工艺参数如表 7 所示。

表 7 焊接工艺参数

焊接方法	焊接电压/V	焊接电流/A	焊接速度/(cm/min)	层间温度/°C	热处理温度/°C
GTAW	12.5	120	6.0		
SMAW	25	160	16	≤200	600±20
SAW	34	450	58		

4.2 09MnNiDR 钢焊接接头力学性能

焊后对试板进行 100% 外观检测+100% 射线检测,根据 NB/T47014-2011《承压设备焊接工艺评定》进行取样,测定焊接接头的抗拉强度、冷弯性能和-70℃ 冲击韧性,试验结果如表 8 所示。

表 8 09MnNiDR 钢焊接接头力学性能

焊接方法	抗拉强度/MPa	弯曲性能/MPa	冲击吸收功 $A_{kv-70℃}$ /J	
			焊缝中心	热影响区
GTAW	520	合格	100	56
SMAW	517	合格	169	187
SAW	519	合格	87	120

根据表 8 分析可知:

1) 100% 外观检测发现焊缝表面无裂纹、咬边、焊瘤等缺陷;100% 射线检测 I 级合格。

2) 对比抗拉强度试验结果可知,3 种焊接方法所得到的抗拉强度在 520 MPa 左右,高于母材的抗拉强度,满

足要求。

3) 根据弯曲试验结果可知,3 种焊接方法所有试样的弯曲结果全部合格,弯曲面上无裂纹,表明 09MnNiDR 钢焊接接头在常温下韧性良好。

4) 焊缝中心和热影响区的冲击功都满足工程上的低温韧性要求。

5 结语

1) 采用经验公式计算分析,09MnNiDR 钢无焊接冷裂纹、热裂纹和再热裂纹敏感性,具有良好的焊接性。

2) 采用斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法,测量在不同预热温度下的表面裂纹率、断面裂纹率和根部裂纹率,表明 09MnNiDR 钢在室温下焊接不会产生冷裂纹。

3) 采用匹配的焊接材料和钨极氩弧焊、焊条电弧焊和埋弧焊焊接 09MnNiDR 钢对接接头,焊接接头的综合性能良好,能够满足工程需要。

参考文献:

- [1] 梁宝珠,易勋,宋晓亮. 低温压力容器用 09MnNiDR 的力学及焊接性能试验[J]. 鄂钢科技,2011(3):5-8.
- [2] 邹家生. 材料连接原理与工艺[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.
- [3] 王元华. 09MnNiDR 钢的焊接[J]. 甘肃科技,2007,23(8):67-68.
- [4] 齐玉宏. 09MnNiDR 钢焊接接头的低温韧性控制[J]. 安装,2000(5):21-23.

收稿日期:2019-08-13