

16MnDR厚钢板焊接裂纹的分析与处理

淮南舜化机械制造有限公司 (安徽 232033) 周子业

【摘要】 16MnDR是石油化工机械行业常用的低温压力容器用钢, 最低使用温度在 -40°C , 其材料含碳量较低, 硫、磷含量较少, 具有良好的焊接性。但如果在厚板焊接时, 焊接工艺设计不合理, 也会出现大量的焊接热裂纹。对34mm厚的16MnDR焊接工艺评定时出现裂纹, 通过分析原因, 提出了解决方法, 及时修正了焊接参数, 确保了产品按时按质完成。

1. 概述

2011年6月, 淮南舜化机械制造有限公司为内蒙古伊东访集团九鼎化工公司制造了两台中压仪表空气储罐, 技术参数如表1所示, 设备形式和尺寸如图1所示。

表1 技术参数

设计压力/MPa	工作压力/MPa	设计温度/ $^{\circ}\text{C}$	工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	介质	全容积/ m^3	安全阀整定压力/MPa	焊缝系数	容器类别	设备净重量/kg
3.0	2.72	$-30 \sim 60$	$-21 \sim 40$	压缩空气	64.2	2.9	1.0	II类	30 260

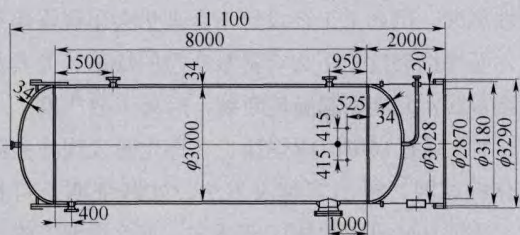


图1 中压仪表空气储罐

2. 焊接

(1) 焊接工艺设计 由于设计温度低于 -20°C , 设计选用GB3531—2008《低温压力容器用低合金钢板》标准中16MnDR钢板和JB4726—2000《压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》标准中16MnDR锻件。由于16MnDR钢是我公司首次使用

的新钢种, 依据JB4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》要求: 压力容器制造单位首次焊接的新钢种必须进行焊接工艺评定, 以确立合适的焊接参数, 保证焊缝接头满足设计要求和使用要求。为此, 我公司为这两台产品提出了6项焊接工艺评定任务书。其中前5块厚度34mm的试件(与产品主体材料同厚度)都按原拟定的焊接工艺指导书顺利地完成了焊接评定, 试件原拟定的焊接工艺评定指导书中规定: 坡口形式为X形, 如图2所示, 焊接方法为SAW。

由于16MnDR属低温钢种, 焊接时对焊缝强度要求不是主要的, 主要是保证焊缝金属在低温下具有足够的低温韧性和抗脆性破坏的能力。因此, 要采用小的焊接热输入, 焊接电流不宜过大, 焊接参数如表2所示。同时, 为消除焊缝金属的含量氢, 提高低温韧性, 焊剂宜选用抗氧化性强的碱性焊剂, 基于上述理论, 选用J507RH焊条进行定位焊。焊接时采用SAW, 焊丝为 $\phi 4\text{mm}$ 的H10Mn2, 焊剂为SJ101。焊接材料烘干温度均为 $350 \sim 380^{\circ}\text{C}$, 保温2h。

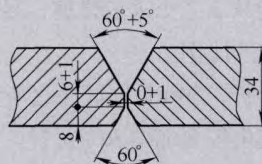


图2 试件坡口形式

表2 焊接参数

层次	焊接方法	焊接材料	极性	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
定位焊	SMAW	J507RH	反	170~180	20~22	12~13
正1	SAW	H10Mn2 SJ101	反	650~680	32~34	52~54
反1	SAW	H10Mn2 SJ101	反	650~680	32~34	52~54

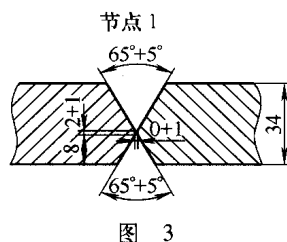
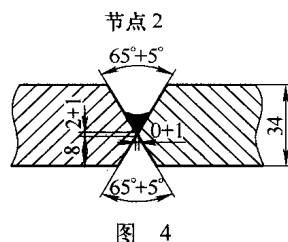
(2) 裂纹产生原因分析 焊前仔细清除坡口及两侧20mm以内的水、锈、油等污物。组对试件，试件错边量控制在2mm以内。预热50℃后（采用氧乙炔烘烤）定位焊和焊接。正面焊接完后用碳弧气刨清根清除粘渣，打磨焊缝。在正面底层焊道的埋弧焊过程中，将熔渣清除后在焊缝表面目测检查，发现沿焊缝结晶中心线有结晶裂纹（热裂纹的一种）。这种热裂纹是焊缝金属在高温下初次结晶过程中形成的，是一种焊缝金属沿初次结晶的开裂。

焊缝金属裂纹形成的决定性因素是冶金因素：即熔池中存在过多的低熔点共晶体（也就是我们常说的杂质），按照金属学的原理，先结晶的是纯度较高的合金，最后凝固的是低熔点共晶体。当低熔点共晶体在凝固时，受到焊接收缩应力的作用，在晶体边界就会被拉开而形成缝隙，这个缝隙是因为熔池最后结晶时没有液态金属及时补充，于是就形成了裂纹。由于产生结晶裂纹最根本的原因是熔池中存在低熔点共晶体，所以防止焊缝金属结晶裂纹最有效的方法是严格控制焊缝金属中硫、磷和其他形成低熔点合金成分的含量，这些元素和杂质的含量越低，焊缝金属抗结晶裂纹的能力越强。

按我国现行的压力容器用钢标准GB713—2008规定，16MnDR的 $w_C < 0.20\%$ ， w_S 、 $w_P < 0.030\%$ ，低于碳钢的 $w_C = 0.22\%$ ， w_S 、 w_P 的0.035%，如果不采用相应的措施，焊缝金属的结晶裂纹也在所难免。由于焊接材料的纯度较母材高，抗结晶裂纹能力较强。所以，只能从工艺上采取措施，尽量减少焊缝金属中母材所占的比例。

通过以上分析，34mm厚试件之所以出现结晶裂纹是因为焊缝中较多地熔入了母材，使焊缝中的低熔点共晶体含量增加。一是从坡口形式来看，坡

口钝边过厚，焊接时为增加熔深采用了过大的电流；二是由于正面坡口过深，焊缝的成形系数过小使焊缝结晶有利于裂纹的形成，为增加成形系数，将V形坡口改为U形坡口，由于坡口的加工是气割加工的（没有刨边机），只有在V形坡口内用SMAW打底焊一层，改变坡口形状。建议坡口钝边减薄到(2+1)mm，坡口角度由 $60^\circ + 5^\circ$ 增加到 $65^\circ + 5^\circ$ 。坡口形式仍为X形，如图3所示，SMAW打底焊后的坡口形式如图4所示。



(3) 焊接参数变更 焊接电流为550~600A，电弧电压为34~36V，重新制取两块试件进行工艺评定。正面SMAW打底焊一层后，SAW焊接底层，SAW焊后对焊缝表面进行仔细的目视检查未发现结晶裂纹，试件焊制完成后，经X射线检验均未发现类似裂纹。34mm厚16MnDR焊接工艺评定经后来的力学性能检测，焊接接头完全符合设计要求。在往后的产品制作过程中，也未发现结晶裂纹，RT检测一次合格率100%，从而保证了产品按质按时完成。

3. 结语

16MnDR材料尽管焊接性良好，产生裂纹的可能性不大，但如果工艺设计不合理仍会出现焊接裂纹，而焊接裂纹是压力容器最危险的缺陷，尤其是低温容器，它能引起脆性断裂，后果十分严重。

本文通过16MnDR焊接工艺评定时发现热裂纹并分析原因，提出了解决方法，实践证明是可行的。通过16MnDR焊接工艺评定，再次说明了焊接工艺评定的重要性。当前随着石化行业的发展，16MnDR材料用量也越来越大，大厚度的材料使用也越来越多。我们只有了解了这些材料的焊接特点，在生产中精心操作，认真总结，分析焊接生产中出现的问題，才能制定出正确的焊接工艺规程，生产出优质合格的产品，满足用户的需要。MW

(20120101)