

16Mn 钢板自动螺旋焊制 $\phi 720 \times 9$ 毫米管低温破裂分析

张春堂 赵维娟 景桂兰 李治广

前 言

人所共知,具有体心立方结构的材料均存在它特有的韧性——脆性转变温度。16 Mn 钢的正常使用温度通常不应低于 -40°C [1], 其临界脆性转变温度约 -75°C [2]。

随着低温技术的发展其应用范围愈来愈广泛,低温技术在原油管线检修中的应用引起许多国家有关部门和技术人员的重视。

输油管通常用 A3F ($\leq \phi 529$ 毫米管) 和 16 Mn ($\geq \phi 720 \times 9$ 毫米管) 钢的热轧板自动螺旋焊制造。由于这些管子的材质所限,它们在 -100°C 以下的力学性能较差,如 A3F 和 16 Mn 钢在液氮温度下的断裂韧性分别只有 $87.5 \sim 127$ 公斤/毫米^{3/2} 和 $86.7 \sim 137$ 公斤/毫米^{3/2}, 而它们的屈服强度不能低于 80 公斤/毫米², 怎样才能确保这种在 -196°C 下只有低韧度的管子承受 15 公斤/厘米² 内压时在液氮温度下仍不脆裂的研究引起人们的极大兴趣。尤其是当管子开了大孔加上补强圈和 T 型短接管后,低温时此处应力分布相当复杂。引起更多人的广泛研究兴趣。虽然许多人用有限元法对其做过计算,但是计算中均没有包括由于低温造成的热应力。更重要的是计算中没有考虑到试验材料处于远低于其临界脆性转变温度以下的材料性能。即材料处于完全脆性时的情况。这种情况下是否仍然在短接管弯角处应力最大。有待重新计算和从试验中获得数据来验证。

一、试验管段的加工制作

取一支长 1800 毫米的 $\phi 720 \times 9$ 毫米的 16 Mn 钢自动螺旋焊管。管材的化学成份列于表 1。

表 1 16Mn 钢自动螺旋焊 $\phi 720 \times 9$ 毫米管的化学成份

化学成份	C	Si	Mn	S	P
%	0.19	0.26	1.42	0.010	0.021

两个平板封头的焊接:

两个平板封头采用厚为 24 毫米的 16 MnR 板,它的外侧用 8 * 普通槽钢加强,以防打压时封头外突变形造成封头与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管壁之间用结 506 焊条焊接的焊缝被拉开。

焊接程序是首先把开好焊接坡口的封头平板与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管壁焊接,焊接时的室温为 $+5^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$, 焊接前没有对管壁和 24 毫米厚的板预热。共焊 14 层,然后焊槽钢到平板

上,顶端与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管壁焊接,焊后没采取任何消除应力处理。因烘烤焊条供不上,而平板加筋补强封头全部与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管焊完,前后断续施焊约10天。

在 $\phi 720 \times 9$ 毫米管上气割开 $\phi 300$ 毫米的孔,从 $\phi 720 \times 9$ 毫米管上气割一个 $\phi 600$ 毫米的圆环作补强圈,用10*钢制 $\phi 325 \times 10$ 毫米,长200毫米的无缝钢管作短接管。首先把短接管、 $\phi 720 \times 9$ 毫米管和补强圈内孔焊为一体,焊接时由于焊条没烘烤而产生近5毫米深的气孔,然后把补强圈外缘与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管焊接。根据现场施工的工艺要求,此短接管和补强圈焊接时焊前不能预热,焊后不能高温退火消除焊接残余应力。此两条焊缝均采用结506焊条多道焊。

为了向 $\phi 720 \times 9$ 毫米管内装入液氮并加压,在管上焊两支 $\phi 38 \times 3.5$ 毫米管,因此管径较小,无须在开孔焊管处补强。焊前没预热,焊后也没作退火消除焊接残余应力热处理。

现场施工中,短接管与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管壁处要承受近60吨米的弯矩。本试验目的 仅供考查 $\phi 720 \times 9$ 毫米管加了补强板和短接管后的低温强度与脆性,所以对承受弯矩的试验内容没包括进来。

二、试验程序

把1800毫米长的试验管段装入一个用珠光砂保温的不锈钢槽内,四支尼龙管直接分别向不锈钢槽内和通过 $\phi 38 \times 3.5$ 毫米的管内试验管段内输送液氮,向槽和管段内输送液氮时它们均不承受压力。但是,试验管段破裂了。

三、试验结果

试验结果发现有明显可见的三个裂纹,它们几乎处于同试验管段轴向平行的同一直线上。关于裂纹的分布,扩展方向和尺寸示意图于图1。

补强圈与 $\phi 702$ 管焊接的两处裂纹源均起源于焊缝的收弧点上。此处焊肉几乎要比其它焊肉处高2毫米。

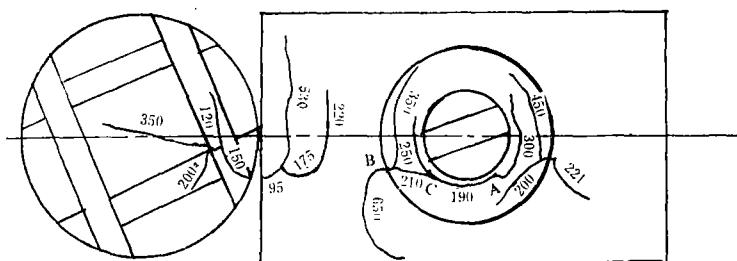


图1 裂纹源裂纹分布扩展方向及其尺寸示意图

四、讨论

由我们拍的照片和图1可知,管段上的裂纹基本平行于焊缝向外扩展,而8*槽钢加强的平板封头上的裂纹扩展规律性不太明显。这表明由于焊接造成的残余应力的影响是不可忽视的。

任何一项工程及设备采用合理的焊接顺序是十分重要的。即尽量使焊缝能自由收缩,光焊收缩量比较大的焊缝。8*槽钢加强厚度24毫米,16MnR板作为平板封头,其焊接程序应是,首先把8*槽钢焊到24毫米厚的16MnR板上,然后把 $\phi 720 \times 9$ 毫米试验管段的端部预热再把带加强槽钢的封头焊接在一起。加强用槽钢不应与 $\phi 720 \times 9$ 毫米管壁焊接(间隙应为5~10毫米)。

从槽钢加强的平板封头上的裂纹扩展方向明显可见,其应力分布是十分复杂的。仔细研究其裂纹性质可以发现,裂纹基本沿焊接应力(对应焊缝产生热应力交界处)交界处扩展。

因为焊接过程中封头和 $\phi 720 \times 9$ 毫米管均没预热和焊后热处理。所以在试验管段端的两条裂纹纯属焊接热应力和降温热应力的迭加拉裂的,裂纹长度分别为 530 和 220 毫米,均平行于环向焊缝。因为试验管段内只充液氮,没有任何可指示出的压力,所以此试验管段的轴向和环向外应力为零。由此可见,管子破裂完全是由于降温应生的热应力与焊接残余应力的迭加以后已达到或超过了材料强度极限所引起的。

由照片的分析可知,处于补强圈上的两个裂纹源起裂之后裂纹的扩展方向应平行于试管段的轴向。但是,一旦裂纹扩展开始,它在试检管段方向扩展几毫米之后就立即转向垂直于轴向的环向扩展。由此可以说明,补强圈与 $\phi 720 \times 9$ 毫米壁焊缝上的两个裂源除焊接引起的残余应力外,还有由于管道降温时冷收缩(径向),而补强板与试验管段焊接后,厚度达到 18 毫米,则刚性较大,不易变形的原因。就 16 Mn 钢来说,这种大口径管子的焊接必须预热,尤其冬季(本试验管段于 12 月下旬焊接)焊接时,气温较低,必须做预热和焊后热处理,否则,焊缝处的拉应力往往达到材料的屈服强度水平,再加上冷冻时的热应力,使焊缝处很快达到其材料的强度极限水平。则在焊缝的薄弱处沿轴向开裂,由于焊缝的拉应力,裂纹稍扩展立即转向距焊缝 100 毫米左右的热影响区并平行于焊缝扩展。

其中有一条长 210 毫米的裂纹由补强圈上的 B 点沿轴向(试验管段轴向)向 $\phi 325 \times 10$ 毫米短接管与补强圈焊接的焊缝扩展,当接近焊缝时,扩展方向又改向沿平行于焊缝的方向扩展。但是,此扩展裂纹与其它所有裂纹一样,也没有贯穿焊缝的性质。这条裂纹从 B 点扩展到 C 点时,在 C 点分叉(明显由于焊接残余应力和焊接热影响造成),在两个方向平行焊缝扩展。在 C 点,裂纹扩展转向的另一个原因可能是由于 $\phi 325 \times 10$ 毫米管冷却时收缩造成的热应力所致。

另外,试验管段冷冻(-196°C)过程中从焊缝处脆裂的原因可能与焊接的不连续性有关。焊接这种低合金钢大件时,必须把全部施焊条件准备好,一次施焊成功。否则,在停焊时应将施焊的部位加热保护,以防由于冷热循环造成微纹,促使冷冻时裂纹扩展。这种加热保护通常用电阻加热法,一是加热温度可以控制且很方便,二是加热温度均匀。至少应在焊后进行加热消除焊接残余应力(平板封头焊接),最简单的方法是用稻草火焰加热一定时间。

五、结 论

16Mn 钢自动螺旋焊制的 $\phi 720 \times 9$ 毫米管在液氮温度下施工时,焊接部位必须预热和进行焊后热处理消除应力。

应尽量减薄补强圈。采用在液氮温度下有良好韧性和塑性的材料,以良好的塑性变形抵消或部分抵消由于冷冻收缩引起的热应力,补强圈以用重迭多层结构为宜。

焊接时应把焊条在 $+250^{\circ}\text{C}$ 左右烘烤 1 小时左右,清除 $\phi 720$ 管上的全部防腐物质,以保证良好的焊缝质量。

试验时,冷却管道应避免局部急冷,应首先缓慢向保温槽内送液氮,让冷氮气充分冷却 $\phi 720$ 管。这样可以防止造成巨大的局部冷收缩热应力。又可以节省液氮(冷氮气的显热得到更好的利用)。

参 考 文 献

- [1] 冶金工业部钢铁组,《普通低合金钢》,中国工业出版社(1971)
- [2] 石油化工机械设计建设组,“化工机械设备”,5 (1972)