

油气输送用耐腐蚀双金属复合管

钱乐中

(上海上上不锈钢管有限公司, 上海 201802)

摘要 双金属复合管外层为碳钢, 如 B(L245)、X42(L290)、X52(L360)、X60(L415)、X70(L485) 等钢级, 钢管内层为 18-8 型奥氏体不锈钢或铁素体-奥氏体双相不锈钢。介绍了内外层复合工艺、外覆防腐技术、管体间焊接工艺和双金属复合管的性能和使用。

关键词 碳钢-不锈钢复合管 双金属复合工艺 焊接

Anti-Corrosion Bimetallic Clad Pipe for Oil and Gas Transfer

Qian Lezhong

(Shanghai Shang Shang Stainless steel Co Ltd, Shanghai 201802)

Abstract The outer layer of clad pipe is carbon steel such as grade B(L245), X42(L290), X52(L360), X60(L415), X70(L485), and the inner layer is 18-8 type austenite stainless steel or ferrite-austenite dual phase stainless steel. The cladding process, anti-corrosion technology of pipe outer surface, welding process of pipe and properties and application of bimetallic clad pipe are presented in this paper.

Material Index Carbon Steel-Stainless Steel Clad Pipe, Bimetallic Cladding Process, Welding

天然气中含有 H_2S 、 CO_2 、 SO_2 、 Cl_2 等酸性气体, 碳钢管不能承受酸性气体的腐蚀, 纯不锈钢管又非常昂贵。采用内衬不锈钢复合钢管, 既有不锈钢管的耐腐蚀性能, 又有碳钢管的高强度和价格低廉。内衬不锈钢复合钢管, 流体只和内层不锈钢接触, 不和外层碳钢管接触, 故能承受酸性气体的腐蚀; 外层厚壁无缝钢管能承受 10 MPa 天然气的工作压力, 将为国家开发酸性油气田节约大量资金。

1 复合钢管外层

内衬不锈钢复合钢管中的外层钢管是按 GB/T9711-1997“石油天然气工业输送钢管交货技术条件”和 API Spec 5L“输送管规范”进行生产的。钢管为无缝钢管或直缝埋弧焊钢管、螺旋缝埋弧焊钢管、直缝高频焊接钢管, 并经焊缝热处理。钢管口径为 DN 15 ~ 1 200, 外径为 $\Phi 21.3 \sim 1 219$ mm, 钢管壁厚为 2.8 ~ 31.8 mm, 试验压力为 4.8 ~ 20.7 MPa。钢管都经过严格的横向和纵向拉伸、焊接头拉伸、焊接头延性、压扁、弯曲、静水压、断裂韧性试验以及金相、无损检验。钢级采用 B(L245)、X42(L290)、X52(L360)、X60(L415)、X70(L485)。

2 复合钢管内层

内衬不锈钢复合钢管中的内层钢管技术标准采用 GB/T12771-2000“流体输送用不锈钢焊接钢管”,

钢号为 0Cr18Ni9、00Cr19Ni10、0Cr25Ni20、0Cr17Ni12Mo2、00Cr17Ni14Mo2。固溶处理的钢管经液压试验和压扁试验, 并能承受按 GB/T4334-1990 的耐腐蚀试验。钢管的拉伸强度 ≥ 520 MPa (00 级为 480 MPa), 屈服点 ≥ 210 MPa (00 级为 180 MPa)。

0Cr18Ni9(304) 不锈钢分别在 20 °C 10% 硝酸、10% 沸腾醋酸、20 °C 50% 柠檬酸、20 °C 20% 氢氧化钾及 60 °C 80% 磷酸中的腐蚀速度均 ≤ 0.1 mm/a, 在 50 °C 20% 硫酸中的腐蚀速度为 0.016 mm/a。采用内衬不锈钢复合钢管配以不锈钢焊接管件和不锈钢法兰, 可以用来输送弱酸性或弱碱性的流体化工物质。

为了更好地承受酸性油气的腐蚀, 推荐内层不锈钢使用双相不锈钢。双相不锈钢中第二相存在, 对裂纹扩展起机械屏障作用, 延长裂纹的扩展期。

双相不锈钢^[1] 00Cr22Ni5Mo3N, 相当于瑞典标准 SAF 2205, 美国标准 UNS S31803, 德国标准 DIN X2CrNiMoN 2253, 其化学成分为 (%): $\leq 0.03C$ 、 $\leq 1.0Si$ 、 $\leq 1.0Mn$ 、 $\leq 0.03S$ 、 $\leq 0.035P$ 、21.0 ~ 23.0Cr、5.5 ~ 6.5Ni、2.5 ~ 3.5Mo、0.18N。双相不锈钢 00Cr22Ni5Mo3N 在中性氯化物溶液和 H_2S 中的耐应力腐蚀性能优于 304L、316L 奥氏体不锈钢及 18-5Mo 型双相不锈钢。还有良好的强度及韧性等综合

性能,可进行冷热加工及成型,焊接性能良好。

在国内,碳钢-双相不锈钢的复合板应用在焦化分馏塔上部塔壁及塔盘已有25年。介质为汽油、柴油, H_2S 含量为 65×10^{-6} ,温度 $120 \sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$,压力 0.15 MPa 。原用碳钢时腐蚀速率为 3.3 mm/a ,原用 $0\text{Cr}13$ 时腐蚀速率为 1.2 mm/a 。

双相不锈钢管应用在我国减压塔顶水冷器,管内:水 Cl^- 浓度为 385×10^{-6} ,进口温度 $32 \text{ }^\circ\text{C}$,压力 0.3 MPa ;管外:油气 Cl^- 浓度为 35×10^{-6} , H_2S 含量为 $(2 \sim 50) \times 10^{-6}$,进口温度 $132 \text{ }^\circ\text{C}$,压力 0.02 MPa ,已使用12年。过去使用碳钢和 16Mn ,使用12个月后出现严重均匀腐蚀。

双相不锈钢 $00\text{Cr}22\text{Ni}5\text{Mo}3\text{N}$ 应用在油田、油井口的输送管道,水油比为 $9:1$, H_2S 含量为 2% , NaCl 含量为 9% , CO_2 含量为 $2\% \sim 3\%$, pH 值为 $4.5 \sim 6$,温度 $115 \sim 140 \text{ }^\circ\text{C}$,压力 7 MPa ,已使用25年。过去碳钢只能使用 $3 \sim 9$ 个月,使用 304 不锈钢短时间即产生应力腐蚀。

3 钢管内外层复合

内衬不锈钢复合钢管执行标准为 $\text{CJ/T}192-2004$ “内衬不锈钢复合钢管”。内衬不锈钢复合钢管外层为碳钢管,内层为薄壁不锈钢管,采用缩径法、冷扩法、爆燃法或钎焊法使内外层紧密地复合在一起。缩径法和冷扩法是采用生产无缝钢管的冷拔设备,用拉伸模放置在内作轴向扩挤动作,使内衬管内径扩大,使不锈钢管紧贴于碳钢管内表面;或将复合管穿过缩径模内孔,使外层碳钢管外径缩小,内外层之间形成过盈配合,使内外层复合。

爆燃法是将衬有薄壁不锈钢管的碳钢管两端封住,将管内炸药燃爆,产生强大的脉冲应力,通过使内层不锈钢管体积膨胀,发生塑性变形,粘结处金属的局部扰动以及热过程使内层不锈钢管和外层碳钢管焊接起来。为了达到对称爆轰,雷管和炸药必须对称放置。复合是同轴性进行的,所以不会引起钢管弯曲,但多少会引起扩管或缩管,为了防止碳钢管变形,通常需要在碳钢管的外面放置模具;内衬不锈钢管和外层碳钢管的接触面要抛光干净。目前使用爆燃法已能生产直径 1200 mm 以下的内衬不锈钢复合钢管,并能生产碳钢-双相不锈钢复合管。

钎焊法是在外层碳钢管和内层不锈钢管的夹层中加钎焊剂层,在高温下钎焊剂熔化,将内外层钢管熔成一体。通过钎焊剂缠绕和热扩散的钎焊法,使两种金属之间实现了冶金复合,有较高的界面结

合强度,将碳钢管和不锈钢焊管焊接在一起,成为无缝隙、无间隔的整体金属管,从而能较好替代纯不锈钢管。嘉兴中达集团公司和北京石油化工学院用钎焊法研制的冶金复合碳钢-不锈钢双金属复合管,在中石化总公司九江分公司和福建炼油化工有限公司的化工流体管道上经受了长期运行试验。嘉兴中达集团公司还和上海振栋工程成套设备研究所联合开发了不锈钢-碳钢双金属真空钎焊炉。从内外层之间的结合强度来看,钎焊法高于爆燃法,爆燃法高于缩径法和冷扩法。

4 外防腐

外覆防腐层可按 $\text{GB/T}3091-2001$ “低压流体输送用焊接钢管”规定做成热镀锌层,镀锌层厚度为 0.072 mm 。也可以按 $\text{CJ/T}120-2000$ “给水涂塑复合钢管”喷涂环氧树脂粉末和聚乙烯粉末。也可以按 $\text{SY/T}0413-2002$ “埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准”规定的二层结构或三层结构;二层结构底层为粘胶剂,外层为聚乙烯,三层结构底层为环氧粉末,中间层为粘胶剂,外层为聚乙烯。防腐层厚度可达 $0.5 \sim 3.0 \text{ mm}$ 。

管体焊接接头的外覆层可采用带胶水的热缩聚乙烯带,采用喷灯烘烤后热缩聚乙烯带收缩,形成聚乙烯包覆层紧紧地包裹在钢管的外表面。

外覆防腐层也可采用聚脲喷涂在焊缝处的外表面。聚脲是近10年来继高固体粉(如无溶剂环氧)、水性、光固化、粉末(如 PE 粉末)等涂料和三层结构涂层(如 3PE , 3PP)等材料 and 涂装技术之后,新研发出来的一种性能优、无溶剂、无污染、快速固化的新型防腐材料和新型涂装技术。市场上聚脲多用于地坪和防水涂层,由于聚脲的耐腐蚀性非常好,把聚脲用于钢管内衬和外覆,钢与聚脲结合强度也非常好。

目前聚脲喷涂已广泛使用在油气管内孔和焊缝表面作防腐用。由于聚脲涂层有优质的防腐蚀、老化性能及很强的附着力和机械强度,使用寿命可达30年以上。

5 管体间焊接

5.1 焊接工序

内衬不锈钢复合钢管之间可以采用焊接。焊接工艺可参照 $\text{GB/T}13148-1991$ “不锈钢复合钢板焊接技术条件”、 $\text{JB/T}4790-2000$ “钢制压力容器焊接规程”附录A、“不锈钢复合钢焊接规程”。焊接管件尺寸应符合 $\text{GB/T}12459-1990$ “钢制对焊无缝管件”、

GB/T13401-1992“钢板制对焊管件”、SY/T0510-1998“钢管对焊管件”或 SY/T5257-2004“钢制弯管”。焊接管件材质与内层不锈钢管材质应相同。

坡口形式可参照 GB/T13148-1991 的规定(见图 1)。焊条采用 GB/T983-1995“不锈钢焊条”规定的 A302(E309),焊条规格为 $\Phi 3.2$ mm, E309 焊条的主要化学成分见表 1。

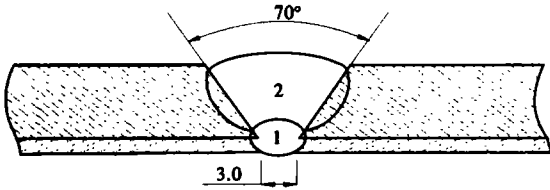


图 1 双金属复合管焊接图
Fig. 1 Schematic of bimetallic clad welding

表 1 E309 焊条的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of E309 welding rod /%

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
≤ 0.15	22.00~25.00	12.00~14.00	≤ 0.75	0.50~2.50	≤ 0.90	≤ 0.040	≤ 0.030	0.75

推荐采用手工电弧焊;对要求较高的焊缝可以采用钨极氩弧焊打底,在接近碳钢部位用手工电弧焊,或者全部采用钨极氩弧焊。采用钨极氩弧焊时,采用同 E309 相同成分的 A302 焊丝。焊接时先焊复材(不锈钢管),再焊过渡层,最后焊基材(碳钢管)。

5.2 焊接工艺评定

当产品技术条件要求进行焊接工艺评定时,须在开工前进行评定,详见 JB4708-2000“钢制压力容器焊接工艺评定”。

嘉兴中达集团公司研制的内衬不锈钢复合钢管的焊接焊缝,经机械科学研究院哈尔滨焊接研究所“复合管焊接工艺评定报告”,按 GB3323-1987X 射线探伤达到 1 级,焊缝拉伸试验达到抗拉强度 500 MPa,断裂在母材上。中国船舶工业总公司船舶工艺研究所的“焊接工艺评定报告”指出,嘉兴中达集团公司研制的内衬不锈钢复合钢管的焊接焊缝试样的抗拉强度达到 550~565 MPa。

5.3 双向不锈钢焊接

00Cr22Ni5Mo3N 焊接性能良好,热裂纹倾向低,脆化倾向小。一般不需焊前预热和焊后热处理,可以采用手工电弧焊(SMAW)、熔化极气体保护电弧焊(GMAW)、钨极氩弧焊(GTAW)、埋弧焊(SAW)。采用钨极氩弧焊(GTAW)时,要使用纯氩或 Ar +

2% N₂ 的保护气体,并需要填丝。建议使用的线能量为 0.5~2.5 kJ/mm,最高层间温度 150 ℃。焊条成分见表 2。

表 2 双相不锈钢 00Cr22Ni5Mo3N 用焊条的化学成分/%
Table 2 Chemical compositions of welding rod for dual phase stainless steel 00Cr22Ni5Mo3N /%

焊条	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
焊丝	≤ 0.02	0.5	1.6	≤ 0.020	≤ 0.015	22.5	8.0	3.0	0.14
钛型焊条	≤ 0.25	1.0	0.8	≤ 0.030	≤ 0.025	22.0	9.0	3.0	0.14
碱性焊条	≤ 0.04	< 0.9	0.8	≤ 0.030	≤ 0.025	22.0	9.0	3.0	0.14

6 复合管的性能

内衬不锈钢复合钢管能较大提高钢管在输冷热水、输煤气、输天然气、输油过程中的耐腐蚀性能;既表面光滑,流体阻力小,又保留了钢管机械强度高、可采用焊接、沟槽、螺纹连接和密封性好的优点,克服了镀锌钢管易腐蚀、采用热熔连接的塑料管易漏水和老化的缺陷,是输气、输水、输油钢管的升级换代产品。

不锈钢在 400 ℃ 时的抗拉强度仍达到 412 MPa,高于普通钢材在常温下的抗拉强度。由于内覆不锈钢双金属复合钢管有较好的耐高温性能,所以可用来输送热水、沸水、蒸汽。

内衬不锈钢复合钢管中的内衬不锈钢管是由冷轧不锈钢带焊接而成,冷轧不锈钢带表面平滑光洁,故不锈钢管内壁光滑,管内流体阻力小,不结垢,流体无污染。

因内衬不锈钢复合钢管配以不锈钢焊接管件,流体和外层钢管不接触,只接触不锈钢,故内衬不锈钢复合钢管可代替纯不锈钢管用来输送饮用净水。

内衬不锈钢复合钢管是在钢管内衬以薄壁不锈钢管,这样降低了制造成本,又确保了厚度以保证强度,使安装内衬不锈钢复合钢管的费用大大低于厚壁纯不锈钢管和厚壁纯铜管。

参考文献

1 吴 玫,韩俊媛,张宝林. 双相不锈钢. 北京:冶金工业出版社,1999
钱乐中(1941-),男,总工程师,中国金属学会特殊钢分会理事,上海重机学会理事,冶金、铸造工艺和钢管技术研究。

收稿日期:2007-02-07