

不锈钢窄焊带埋弧堆焊工艺试验

赵瑞辉

【摘要】 规格为0.5mm×30mm的不锈钢窄焊带在实际产品中较少应用，通过采用牌号为TBD—309L、TBD—308L、TBD—347L三种焊带分别进行一系列焊接工艺评定试验，在合理制定过渡层或盖面层热处理工艺的前提下，堆焊层金属力学性能和耐蚀性能满足标准规范要求。

带极埋弧堆焊因具有熔敷率高，稀释率低，焊道宽且成形美观等优点，在压力容器内壁大面积堆焊中广泛应用。目前压力容器堆焊广泛应用的是规格为0.5mm×60mm的焊带，但该焊带所用机头仅能堆焊内径＞1 000mm的筒体或接管内壁。而我公司内径600~1 000mm的接管内壁堆焊原工艺采用焊条电弧焊方法，堆焊效率低，影响产品工期。为解决该问题，我公司引进专用的小内径接管内壁带极埋弧堆焊设备，该设备采用规格为0.5mm×30mm的窄焊带，可以堆焊ϕ350~ϕ1 000mm的接管内壁，机头对比如图1所示。

规格为0.5mm×30mm的不锈钢窄焊带在实际产品中较少应用，我公司使用该设备进行堆焊工艺评定试验，制定合理的堆焊工艺参数，以验证该焊带的使用能否保证堆焊层力学性能和耐蚀性要求。

1. 堆焊试验方案

（1）堆焊母材和焊材　堆焊基层选用Q345R板材：300mm×300mm×20mm，共8件。焊材选用天泰焊材（昆山）有限公司生产的0.5mm×30mm的不锈钢窄焊带，牌号分别为TBD—309L、TBD—308L、TBD—347L，所配焊剂均为SL—305。

（2）堆焊参数　拟定的堆焊参数如表1所示，采用双层堆焊，过渡层选用TBD—309L+SL—305焊材，盖面层分别选用TBD—308L+SL—305、TBD—347L+SL—305焊材。焊前基层预热温度为室温，焊接过程中道间温度控制在100℃以下。

（3）工艺评定试验方案　8件试件分别标记为PQR1501、



（a）0.5mm×60mm焊带用机头



（b）0.5mm×30mm焊带用机头

图1　带极埋弧堆焊机头对比

表1　堆焊参数

层数	焊接材料	规格/mm×mm	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}	热输入/kJ·cm^{-1}	搭接量/mm
过渡层1	TBD—309L+SL—305	0.5×30	DC，EP	520~550	28~30	15~18	≤66	6~8
盖面层2~3	TBD—308L+SL—305							
过渡层1	TBD—309L+SL—305							
盖面层2~3	TBD—347L+SL—305							

PQR1501A、PQR1501B、PQR1501C、PQR1502、PQR1502A、PQR1502B、PQR1502C，按堆焊材料和热处理的不同进行焊接工艺评定，具体区分如表2所示。热处理升降温速率均为55~150℃/h。

2. 试验结果与分析

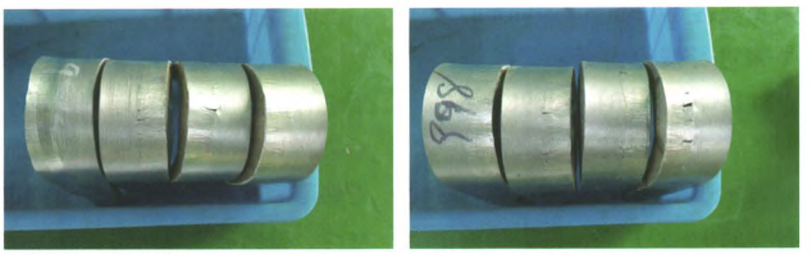
8件试样堆焊过渡层和盖面层经表面无损检测合格，按NB/T47014—2011标准取样进行化学成分分析、弯曲试验、铁素体测定和晶间腐蚀试验等项目，其中评定编号为PQR1501和PQR1502的弯曲试样经侧弯试验后出现超标开裂（>3mm），开裂部位在过渡层与基层之间的熔合区，评定不合格，如图2所示。

其余6个评定试验结果：晶间腐蚀试验按GB/T4334—2008标准E法均验收合格，侧弯试样受拉伸面上没有出现开口缺陷，化学成分分析取样为熔合线以上3mm处，结果如表3所示，符合堆焊层化学成分要求。铁素体测定部位为堆焊盖面层表面，结果如表4所示，铁素体平均值在3%~10%，具有良好的抗裂性能。

经对比分析，PQR1501和PQR1502评定弯曲试验不合格主要有以下原因：堆焊基层为碳钢，堆焊熔敷金属为不锈钢材料，两者在热导率和线膨胀系数上存在较大差异，堆焊时材料在加热和冷却过程中会产生较大的残余应力；两者化学成分不同，在碳钢的稀释作用下，会在过渡层与基层熔合区部位产生马氏体淬硬组织；两者含铬量差别较大，铬为碳化物形成元素，促使碳向覆层迁移扩散，而在其交界的焊缝金属区域形成增碳层和脱碳层，加剧熔合区的脆化，在外力作用下会产生应力集中。而其他6个评定试验的弯曲性能良好，是因为在过渡层或盖面层焊后进行消除应力热处理，不仅降低焊缝中的残余应力，而且改善了过渡层与基层之间熔合区的金相组织，所以在产品焊接应用中，应当制定合理的焊后消除应力热处理工艺。

3. 产品焊接应用

在我公司所承制的某化工企业120万t/a精细化学品示范项



(a) PQR1501弯曲试样　　(b) PQR1502弯曲试样

图2　不合格弯曲试样

表2　工艺评定试验方案

序号	评定编号	基层材料	过渡层/盖面层焊材	热处理
1	PQR1501	Q345R	TBD—309L+SL—305 TBD—308L+SL—305	过渡层：无 盖面层：无
2	PQR1501A		TBD—309L+SL—305 TBD—308L+SL—305	过渡层：（560±10）℃/3h 盖面层：无
3	PQR1501B		TBD—309L+SL—305 TBD—308L+SL—305	过渡层：无 盖面层：（620±20）℃/12h
4	PQR1501C		TBD—309L+SL—305 TBD—308L+SL—305	过渡层：（560±10）℃/3h 盖面层：（620±20）℃/12h
5	PQR1502		TBD—309L+SL—305 TBD—347L+SL—305	过渡层：无 盖面层：无
6	PQR1502A		TBD—309L+SL—305 TBD—347L+SL—305	过渡层：（560±10）℃/3h 盖面层：无
7	PQR1502B		TBD—309L+SL—305 TBD—347L+SL—305	过渡层：无 盖面层：（620±20）℃/12h
8	PQR1502C		TBD—309L+SL—305 TBD—347L+SL—305	过渡层：（560±10）℃/3h 盖面层：（620±20）℃/12h

表3　堆焊层化学成分（质量分数）　　(%)

评定编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb
PQR1501A	0.023	0.50	0.94	0.018	0.005	18.86	10.30	0.04	0.01	—
PQR1501B	0.024	0.40	1.37	0.021	0.003	18.69	10.46	0.04	0.03	—
PQR1501C	0.023	0.45	1.26	0.016	0.005	19.12	10.20	0.04	0.02	—
PQR1502A	0.022	0.47	1.07	0.020	0.005	18.62	10.04	0.01	0.03	0.39
PQR1502B	0.024	0.53	1.40	0.019	0.002	18.58	10.48	0.02	0.01	0.36
PQR1502C	0.027	0.38	1.23	0.018	0.003	19.02	9.82	0.02	0.03	0.41

表4　堆焊层铁素体测定　　(%)

评定编号	NO.	1	2	3	4	5	6	平均值
PQR1501A	FN	6.8	7.4	7.8	6.9	6.7	7.8	7.2
PQR1501B	FN	7.1	7.0	6.5	7.4	6.9	6.8	6.9
PQR1501C	FN	7.2	5.9	6.3	7.4	6.5	5.7	6.5
PQR1502A	FN	6.8	7.1	7.6	5.4	6.3	6.6	6.6
PQR1502B	FN	6.3	7.6	8.0	7.5	6.9	7.2	7.3
PQR1502C	FN	5.9	6.3	5.7	6.4	5.2	6.0	5.9

目净化装置变换气分离器设备制造中成功应用。该批产品主壳体为Q345R+S32168复合板材料，管口中接管和法兰均为16MnⅢ/Ⅳ+堆焊S32168材料，其中气体进口、出口、人孔均为ϕ500mm或ϕ600mm的接管，采用规格为0.5mm×30mm的窄焊带进行接管内壁双层堆焊，过渡层焊材为TBD—309L+SL—305，盖面层焊材为TBD—347L+SL—305，过渡层焊后进行（550±10）℃，保温1h的消应力热处理，盖面层焊后随产品进行（610±10）℃，保温2.1h的消除应力热处理，焊接参数按照堆焊工艺试验拟定的参数。

堆焊过程中注意事项及检测要求如下：

第一，堆焊前锻件毛坯内表面应进行机械加工，并进行100%MT检测，确认无缺陷。

第二，因锻件厚度较厚，堆焊前应对基层表面进行预热至50~80℃，堆焊过程中控制堆焊层道间温度＜100℃。

第三，过渡层堆焊一层，焊后进行消除应力热处理，热处理后进行100%PT检测，确认表面无缺陷后，再开始进行盖面层的堆焊，盖面层堆焊两层，确保后续加工裕量，堆焊后进行外观表面检查，确保无明显的气孔、夹渣缺陷，如有缺陷，应及时进行清理补焊。

第四，对盖面层进行机械加工，加工至图样要求的堆焊层厚度，加工后进行100%PT检测，确认表面无缺陷。

第五，产品热处理后和水压试验后还应对堆焊表面进行100%PT检测，确认表面无缺陷。

4. 结语

该批产品采用规格为0.5mm×30mm的窄带极小内径接管内壁埋弧堆焊，代替了以往所使用的焊条电弧焊堆焊，不仅提高了生产效率，节省了人力，而且堆焊质量稳定，返修部位少，值得推广应用。

作者简介：赵瑞辉，中船圣汇装备有限公司。

MW 20151009

（上接第43页）

实现驱动射线机和成像板同步运动，实现数字化检测。

（2）检测作业　检测人员通过手机或平板电脑操控检测装置。首先开启动力驱动装置，将射线机与成像板分别调整到12点和6点位置。启动检测作业开关，启动X射线机，射线机和成像板沿管道焊缝匀速、平稳同步运动一个检测步长，速度控制在2m/min，探测器采集数据，此时计算机屏幕上显示出焊缝图像，检测人员实时察看焊缝图像，检查焊接质量。每次检测的长度就是每次行走步长也称为一次透照长度，要依据管径尺寸计算确定。装置沿管道运行一周，即可完成焊缝的无损检测作业。

4. 应用分析

在大口径管道工程无损检测作业中，管道焊缝双壁透照作业常处于山区、河流、陡坡等复杂地段，检测效率低、难度大。以ϕ1 016mm×17.5mm大口径管道检测为例，采用双壁单影，以捆绑的方式将探伤机固定管道上，每拍一张片子将探伤机换个位置，工人需要从二三十米外的安全地带来回跑五六次（与片子长度相关）才能完成一道焊口的检测，检测时间需四五个小时，工人劳动强度大，检测效率低。尤其是在现场不能洗片看片，不能确保拍片质量，检测质量难以保证。若采用大口径管道焊缝数字成像检测装置，该装置采用模块化设计，自动化控制，检测一道口的时间包括装置安装、整道焊口的检测和拆卸时间加在一起不超过50min，用人少效率高。焊缝质量现场即检即看，焊缝数字图像还可以通过数字化处理得到优良的影像，电子存档方便快捷，网络传输实现远程评定，这些技术优势进一步保证了检测质量。

5. 结语

综上分析，大口径管道焊缝数字成像检测装置解决了管道焊缝双壁透照无损检测难题。对于无法使用管道射线爬行器的中口径油气管道，当射线探伤比例很高时，采用双壁单影透照法，应用该检测装置将展现其极大的优越性。

数字化检测技术是管道焊缝射线无损检测的发展方向，因此大口径管道焊缝双壁透照数字成像检测技术的推广应用前景广阔。

作者简介：林春文、徐峰，大庆油田工程建设有限公司天宇设计院；张先龙，大庆油田工程建设有限公司培训中心。

MW 20151009