



压力烧结炉裂纹的返修

王育才

【摘要】 根据对一台钢制压力烧结炉裂纹的返修，对欧洲材料P460NH的焊接性进行了分析与验证，并提出了针对带夹套压力容器产品内部壳体进行返修的一种工艺方案。

关键词： 压力烧结炉；P460NH；20MnMoNb；焊接返修；夹套设备

1. 压力烧结炉缺陷描述

(1) 压力烧结炉简介 厦门某硬质合金公司于2008年从欧洲进口并投入使用的一台压力烧结炉，属于带夹套结构的钢制圆筒形压力容器。本压力烧结炉，按欧洲压力容器相关标准制造，所有材料均为欧洲标准材料。其中，作为主体材料的内部壳体厚度为40mm，材料为En10028—3，P460NH。夹套筒体材质为P265GH，壁厚8mm。壳体正上方有一组接管与法兰组件，材质不详，接管根部直径为100mm，壁厚40mm。接管根部与内部壳体焊接，中间位置与夹套筒体焊接。

(2) 缺陷剖析 2015年对设

备进行检修时，发现前面提到的接管与内部壳体的焊缝及周边保温棉破损，且在保温棉破损区域发现密集的表面裂纹，裂纹所在位置包括壳体母材、焊缝以及接管母材（见图1）。随后，揭开整个保温层，对壳体内壁进行整体检查时，再未发现裂纹或其他缺陷。由此判定，裂纹产生的主

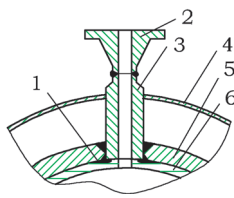


图1 烧结炉裂纹区域示意

1.裂纹区域 2.堆焊法兰 3.接管
4.夹套筒体 5.壳体 6.保温棉

要原因为局部热应力集中。

2. 返修方案

(1) 确定替代材料 由于时间限制，采购相应的欧标牌号材料无法实现，故决定在国标材料体系内，寻找力学性能与化学成分相当的材料代替设备原先使用的材料。经过对比，决定使用NB/T47008，20MnMoNb，II级锻件代替内部壳体的缺陷区域（两种材料的对比见表1~表3）；同时为了优化设计，使法兰-接管组件的力学性能与壳体等同，用20MnMoNb材料，锻造一件规格与原“接管-法兰”组件相同的高颈法兰。夹套筒体本身并无缺陷，但火焰切割后，割口粗大不

参考文献：

- [1] 张汝松，李志国，刘昌峰.哈氏合金的选用[J].石油化工腐蚀与防护，2012（01）：33-35.
[2] 于世行，郝丁华.镍基耐蚀合金焊接工艺[J].石油化工应用.

- 2008（03）：87-89.
[3] 邹玉清，张树. Alloy X与Alloy20的焊接工艺研究[J].热加工工艺，2014(3):206-207.
[4] 薄春雨，等.镍基耐蚀材料焊接结晶裂纹敏感性的研究

现状与趋势[J].焊接，2006（2）：15~18.

作者简介：张树，中国石油集团东北炼化工程有限公司吉林机械制造分公司。

MW 20161025

能再使用，用同厚度的Q235B材料代替，夹套本身是非受压件，且P265GH焊接性良好，公司以往的焊接经验累积中，已经验证过这两种材料的可替代性，本文不再另行分析。

通过表1至表3比较得出：① P460NH与20MnMoNb都是低合金高强度钢，虽然化学成分中微量元素含量的规定有所不同，但对材料焊接性能影响较大的几种主要元素含量大致相当，杂质元素S、P的规定也相同。②力学性能方面，20MnMoNb的常温拉伸性能，冲击性能以及高温强度都优于P460NH。

(2) 提出焊接工艺 按照返修方案，需要焊接的

焊缝有以下几处：① 锻件钢板与内部壳体（材质为P460NH+20MnMoNb）。② 锻件钢板与高颈法兰（材质为20MnMoNb +20MnMoNb）。③ 高颈法兰与夹套筒体的角焊缝（材质为20MnMoNb +Q235B）。④ 夹套筒体之间的连接焊缝（材质为P265GH/Q235B，由于夹套为非受压件，对此焊缝的焊接本文不做分析）。

结合现场返修的条件，决定对上述①、②、③三条焊缝的焊接使用焊条电弧焊焊接。

首先，拟定一个20MnMoNb之间相焊的工艺评定，可以覆盖②、③两条焊缝的焊接。另外，

虽然经过前面的分析，P460NH与20MnMoNb化学成分与力学性能相近，但P460NH是境外牌号的材料，首次使用仍然需要工艺评定支持，因此再拟定一个P460NH与20MnMoNb相焊的工艺评定。

(3) 焊接工艺评定 第一，准备工艺评定材料：母材：准备3块20MnMoNb-II的锻件，1块P460NH钢板，尺寸为40mm×125mm×400mm。每块板长边一侧，开双面30°坡口，钝边2mm。其中，P460NH钢板是在正式返修之前，与烧结炉内部壳体缺陷区域合并切割。

按照NB/T47015—2011《压力容器焊接规程》的推荐，

表1 P460NH与20MnMoNb的化学成分对比(标准值)

牌号	化学成分（质量分数，%）							
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb
20MnMoNb	0.17~0.23	0.15~0.40	1.3~1.6	≤0.30	≤0.30	≤0.30	0.45~0.65	0.025~0.05
P460NH	≤0.20	≤0.60	1.1~1.7	≤0.70	≤0.80	≤0.30	≤0.10	≤0.05
	V	Ti	Al(t)	P	S	N	Nb+Ti+V	
20MnMoNb	—	—	—	≤0.025	≤0.015	—	—	
P460NH	≤0.2	≤0.03	≥0.02	≤0.025	≤0.015	≤0.025	≤0.22	

表2 P460NH与20MnMoNb的力学性能比(标准值)

牌号	交货状态	钢板厚度/mm	拉伸试验			冲击试验	
			R_m /MPa	R_{el} /MPa	断后伸长率 (%)	温度/℃	冲击吸收能量/J
20MnMoNb	N+T	≤ 300	620~790	470	16	0	41
		>300~500	610~780	460	16		
P460NH	N	≤ 16	570~720	460	17	0 20 -20	40 50 30
		16< t ≤ 40		445			
		40< t ≤ 60		430			
		60< t ≤ 100	540~710	400			
		100< t ≤ 250	订货和询价时商定				

表3 P460NH与20MnMoNb的高温强度对比(标准值)

牌号	厚度/mm ⁻¹	试验温度/℃							
		50	100	150	200	250	300	350	400
		R_{el} 或 $R_{p0.2}$ 最小值/MPa							
20MnMoNb	≤300	—	—	—	405	395	385	370	355
	>300~500	—	—	—	405	395	385	370	355
P460NH	≤16	445	419	388	356	326	300	278	261
	16<t≤40	430	405	375	345	316	290	269	253
	40<t≤60	416	391	362	333	305	281	260	244
	60<t≤100	387	364	337	310	284	261	242	227
	100<t≤250	订货和询价时商定							

选择焊条型号为E6015—D1，
φ 4.0mm。

第二，计算碳当量(CEV)：
根据国际焊接学会推荐的碳当量
公式计算得出20MnMoNb的碳当
量上限为0.73，P460NH的碳当
量上限为0.7。

两种材料的碳当量都较高，
焊接性较差，焊接前需预热
150℃以上。焊接过程中，应选
择小的热输入。焊接后需进行消
应力热处理，（620±20）℃保
温，保温时间≥1.6h。

第三，拟定焊接参数：根
据对高强度钢的焊接经验以及
焊材厂家提供的焊接参数推荐
表，拟定焊接参数进行焊接，

如表4所示。焊接完成后，如果
不能立即进行热处理，加热至
250~350℃，保温30min以上，进
行后热处理。

第四，焊接结果分析。按以
上参数，同时焊接两幅工艺评定
试板，热处理完成后进行射线检
测，未发现裂纹以及其他缺陷。
对试板取样后，按NB/T47014—
2011《承压设备焊接工艺评定》
进行力学性能检验，试验结果如
表5和表6所示，根据试验结果判

定力学试验结论合格。

（4）产品的正式返修 产品
具体的返修步骤如下。

第一，烧结炉停止作业，去
除筒体内壁的保温层。

第二，用磁粉检测确定壳体
内壁缺陷区域，然后割掉接管与
夹套筒体之间的连接焊缝，并在
夹套筒体上割下一个外沿比将要
割下的内筒缺陷区域大10~15cm
的环板。将环板割成两半并取
出，以方便后续内筒的补焊。

表4 工艺评定拟定的焊接参数

焊接 方法	填充金属		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	预热温度 /℃	层间温度 /℃
	牌号	直径/mm							
SMAW	J607	4.0	DCEP	140~180	22~26	15~18	≤17.6	150	≤250

表5 力学性能试验数据（P460NH与20MnMoNb相焊的工艺评定）

拉伸试验			弯曲试验		冲击试验			
编号	抗拉强度 /MPa	断裂性质和部位	编号	试验结果	编号	缺口位置	试验温度	冲击吸收能量 /J
T-1-1	622	塑性断裂， 母材(20MnMoNb)	B-1	合格	I-1	焊缝区	0℃	84 65 94
T-1-2	632	塑性断裂， 母材(20MnMoNb)	B-2	合格	I-2	20MnMoNb热影 响区	0℃	173 183 175
T-1-3	628	塑性断裂， 母材(20MnMoNb)	B-3	合格	I-3	P460NH 热影响区	0℃	64 44 43
T-2-1	629	塑性断裂， 母材(20MnMoNb)	B-4	合格	—	—	—	—
T-2-2	630	塑性断裂， 母材(20MnMoNb)	—	—	—	—	—	—
T-2-3	638	塑性断裂， 母材(P460NH)	—	—	—	—	—	—

表6 力学性能试验数据（20MnMoNb对接焊的工艺评定）

拉伸试验			弯曲试验		冲击试验			
编号	抗拉强度 /MPa	断裂性质和部位	编号	试验结果	编号	缺口位置	试验温度	冲击吸收能量 /J
T-1-1	638	塑性断裂，母材	B-1	合格	I-1	焊缝区	0℃	104 102 75
T-1-2	626	塑性断裂，母材	B-2	合格	I-2	热影响区	0℃	224 215 218
T-1-3	642	塑性断裂，母材	B-3	合格	—	—	—	—
T-2-1	642	塑性断裂，母材	B-4	合格	—	—	—	—
T-2-2	627	塑性断裂，母材	—	—	—	—	—	—
T-2-3	629	塑性断裂，母材	—	—	—	—	—	—

第三,用氧乙炔火焰将壳体缺陷区域连同原有接管一起割掉(包括工艺评定以及材料复验用的焊接试板),并将余下的壳体边沿割出 30° 的单面坡口,开口向上。气割后的坡口,用砂轮机打磨掉割渣、氧化皮等杂物。

第四,确认割掉区域的尺寸,并准备一块尺寸相同的拼接板,材质为20MnMoNb,II级锻件。在拼接板四周开 30° 的单面坡口,并用卷板机将拼接板压出与割掉的壳体相同的曲率。最后按图2执行,在拼接板相应的位置开接管的安装预留孔以及坡口。打磨清理干净坡口内的割渣、氧化皮等杂物。

第五,按原有的法兰和接管尺寸准备一个一体式的高颈法兰,材质为20MnMoNbII,II级锻件。

第六,安装高颈法兰。按焊接工艺卡焊接拼接板与接管之间的焊缝,先焊接外侧坡口,反面清根后再焊接内侧。焊后入炉进行热处理,热处理后进行100%MT检测。

第七,现场组对内筒与拼接板,使内外表面平齐,坡口间隙 $\leq 3\text{mm}$,不得强力组对。按焊接工艺卡,焊接内筒与拼接板,先焊接外侧坡口,反面清根后再焊

接内侧。

第八,在烧结炉内部,沿通过缺陷区域的圆周,安装一圈电加热带,宽度要超出缺陷边缘各100mm,电加热带上面覆盖保温棉,固定加热装置;焊缝的外表面,盖一层保温棉,保温棉至少要覆盖整个返修区域,并超出该区域100mm。通电进行热处理。

第九,热处理完成后对内筒与拼接板之间的拼缝做100%RT探伤。

第十,备两块厚度为10mm的Q235B半圆板,尺寸与割下的夹套相同,打磨其边缘以及切割的夹套边缘,使半边呈约 30° 夹角,重新将半圆板安装到原来位置并进行点焊固定,这些部件之间形成 60° 的坡口。

第十一,用钨极氩弧焊焊接半圆板之间以及半圆板与夹套筒体的坡口焊缝,焊丝为ER50-6。保证根部熔透,层间清理。焊完后进行PT检测。

第十二,按焊接工艺卡焊接半圆板与接管之间的角焊缝。

第十三,沿角焊缝安装一圈电加热带,宽度要超出焊缝边缘各100mm,电加热带上面覆盖保温棉,固定该加热装置。通电进行热处理。

(5) 返修过程注意事项 ① 焊接前预热至 150°C 以上。尽量选择小的焊接参数施焊,焊接完成后,如果不能立即进行热处理,应加热至 $250\sim 350^\circ\text{C}$,保温30min以上,进行后热处理。② 根据NB/T47015—2011《压力容器焊接规程》的推荐,产品返修的热处理保温温度为 $(620\pm 20)^\circ\text{C}$,保温时间

$\geq 1.6\text{h}$ 。

3. 结语

返修工作完成后,设备可以正常运行,至今性能良好,证明我们提出的返修方案可行。在本次返修中,也得出不少宝贵的高强钢焊接及设备返修经验。

作者简介:王育才,上海齐达重型装备有限公司。

MW 20161026

ABB中国制造第5万台机器人下线



2016年11月11日,ABB宣布在中国制造的第5万台机器人下线。这台机器人是ABB中国研发中心研发、本土生产的ABB小型机器人代表产品IRB 1200,将安装在比亚迪电子有限公司位于惠州的电子产品工厂,和众多其他ABB机器人产品共同应用于手机产品的机械加工、外壳抛光和组装。ABB中国下线的第5万台机器人IRB 1200是今年比亚迪从ABB购买的多台机器人之一。作为比亚迪公司战略的一部分,这些ABB机器人将用于打造更安全、更环保的生产技术。2016年6月,ABB集团顺利交付第30万台机器人,巩固了其欧洲第一工业机器人制造商和全球领导者的地位。(ABB)

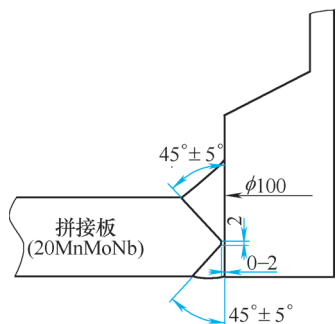


图2 拼接板与接管坡口示意