

文章编号: 1002-025X(2001)SO-0050-03

首钢 210 t 转炉用美国产 A387-22 Cr-Mo 钢制作及焊接分析

张青山, 诸葛卸梅, 张彦峰

(首钢设备结构厂, 河北 迁安 064400)

关键词: 210 t 转炉; A387-22 钢板; 焊接工艺; 分析

中图分类号: TG441

文献标识码: B

美国产 A387-22 钢属 2.25Cr-Mo 系列的低合金耐热钢, 是动力工业、石油化工部门应用于高温条件下的重要材料, 主要用于制造工作温度高于 500 ℃ 的高温压力容器, 具有很好的抗氧化性、抗腐蚀性, 高温强度和抗蠕变性能。是首钢为解决炉壳变形问题, 经专家论证决定专门从美国进口的钢板。钢板厚 72 mm、80 mm, 属厚板制作, 应用于大型转炉, 国内尚属首例, 其冷作、焊接难度相当大, 容易发生冷裂纹, 出现近缝区硬化、热影响区软化以及热处理过程中可能发生再热裂纹, 所以制作中必须采取有效的冷作、焊接、热处理工艺, 才

能确保转炉质量。

1 210 t 转炉结构形式、技术要求及 A387-22 钢板性能

结构型式: 210 t 转炉炉壳总重 200 255 kg, 直径 8 160 mm, 总高 11 122 mm, 罐体结构。

技术要求: 要求焊缝表面 100% 磁粉或者色检验, 不允许存在表面裂纹, 焊缝 100% 超声波 JB 4730—94 I 级合格, 炉身纵缝错边量 ≤ 4 mm, 环缝错边量 ≥ 6 mm, 炉体同轴度 ≥ 5 mm, 炉口与转炉轴线垂直度 ≥ 4 mm, 椭圆度 ≥ 12 mm, 直径

声波探伤方法和探伤结果分级》(GB 11345—89) 的规定……”。但是 GB 11345—89 标准中明确规定: “本标准不适用于铸钢及奥氏体不锈钢焊缝; ……”。因此严格来讲, 本工程铸钢节点焊缝检验的执行标准与设计指定的标准是有冲突的。

6.2 铸钢焊缝超声波探伤的特点

铸钢焊缝超声波探伤的特点就在于铸钢材质晶粒粗大, 组织不均匀、不致密, 对超声波造成较大衰减, 影响了探伤精确度。但是, 只要进行相应的材质衰减补偿, 完全可以参照 GB 11345—89 标准进行超声波探伤。

6.3 材质衰减补偿试验

6.3.1 探头的选取

对铸钢件焊缝的超声波探伤需采用低频探头。本工程铸钢件焊缝超声波探伤的探头选择频率为 1.25 MHz 或 2.5 MHz 的横波斜探头。

6.3.2 材质衰减补偿测量

①超声仪型号: CTS-22A 探头规格: 2.5P 8×12 K2

②取工程所用铸钢件做成厚度 40 mm、表面粗糙度不超过 12.3 μm 的平面试块。

③按深度 1:1 调节仪器时基扫描线。

④另选一只规格完全相同的斜探头, 两探头按图 2 所示置于试块上, 两探头入射点间距为 1P, 仪器调为一发一收状

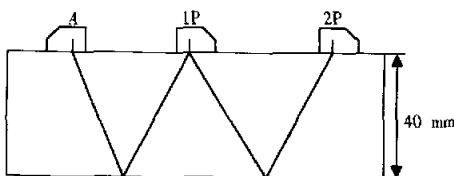


图 2 超声波衰减的测定

态, 找到最大反射波幅, 并调到基准波高(80%), 记录此时衰减器读数 H_1 (58 dB)。

⑤将两探头拉开距离为 2P, 找到最大反射波幅, 调到基准波高, 此时衰减器读数 H_2 (42 dB)。

⑥实际探伤中超声波是往返的, 故双声程衰减系数 α 为:

$$\alpha = \frac{H_1 - H_2 - 6}{\Delta S}$$

其中 $\Delta S \approx 40/\cos \beta$ (β 为探头折射角)

将数据代入, 可得衰减系数 $\alpha = 0.11$ 。

按照工程铸钢件的实际壁厚, 分别计算出采用直射法和一次反射法检测时的声程, 乘以衰减系数即可得出相应的材质衰减补偿量。参照 GB 11345—89 制作距离 - 波幅曲线, 在此基础上增加材质衰减补偿量, 即可作为铸钢件焊缝超声波探伤的距离 - 波幅曲线。

7 结论

该工程工期紧, 焊接量大, 且焊接难度大, 但按照科学的焊接工艺及严格的质量把关, 整个工程进展相当顺利, 经超声波探伤, 焊缝一次合格率达到约 99%。对缺陷部位进行返修, 发现大部分缺陷为根部未焊透, 这与构件制作过程中的几何尺寸误差有很大关系。通过返修复检, 焊缝质量全部过关。总之, 通过对焊接工艺及铸钢节点焊缝超声波探伤方法的充分研究, 既保证了本工程的焊接质量, 也为铸钢节点焊缝的超声波探伤积累了一定经验。铸钢节点在空间管结构中的应用将复杂的管 - 管相贯焊接转变成管 - 管对接, 既便于现场快速定位和焊接施工, 又加快了安装进度, 提高了焊接质量。相信铸钢节点在以后的大型钢结构工程中应用具有良好的发展前景。

8 160±10 mm, 高度 11 122±15 mm。

2 切割

根据国际焊接学会提供的碳当量公式, 计算 A387-22 钢板的碳当量为 0.86。是一种可空气淬硬钢, 切割过程中可能出现淬硬裂纹, 热切割边缘的低塑性淬硬层往往成为钢板卷制和冲压过程中的开裂源, 为防止厚板火焰切割边缘开裂, 采取以下工艺措施加以控制:

(1) 采用数控切割, 清除切口附近 30~50 mm 的氧化皮斑点、污物, 控制氧气纯度不低于 99.5%, 否则切割速度明显降低, 切割面粗糙, 下缘粘附熔渣。

(2) 引弧孔要求钻制, 切割前对割缝预热(预热温度>150 °C), 要求确保氧气、乙炔压力充足(可将多瓶氧气串联使用)。

切割后采用着色探伤, 表面未发现任何裂纹, 经硬度试验切割面硬度达 HV367, 而原始母材硬度只有 HV223, 如此高硬度层不适应于焊接。为此, 通过打磨试验, 切口硬化层深度 0.6~1 mm, 打磨后硬化层完全可以消除。

3 卷制

经试验及分析 A387-22 钢板不宜冷卷, 根据国内外卷制厚板的经验, 结合我厂设备能力, 经反复测试应采用预热卷制。

预热温度 230~300 °C, 在此温度下, A387-22 钢板的力学性能相当于 Q235A 的屈服强度, 设备完全可以承受。同时可以减少冷作应力, 易于控制卷制回弹量。A387-22 钢板(76~100 mm 厚)高温性能参见表 1。

表 1 A387-22 钢高温性能

温度/°C	100	150	200	250	300	350	400
屈服强度/MPa	240	226	221	216	206	191	172

卷制时每端留 750 mm 打头量, 每次下压量为 2 mm。

钢板温卷时, 终卷温度为 100 °C, 有较大回弹量, 所以到计算尺寸后应逐渐过压 1~2 mm, 松开后测量弦长, 防止过卷及弧度不够, 最终下压量包括确定的回弹量。卷制后用弦长大于 1 500 mm 样板检查, 最大间隙不得大于 2 mm。

4 组装

组装质量直接影响到转炉壳体的几何尺寸、形位公差, 并对下一步的焊接质量有直接影响, 210 t 转炉壳体筒形结构, 关键控制筒体组装的椭圆度, 椭圆度符合要求, 相应其它控制尺寸才容易保证。

纵缝采用刚性支撑加固, 焊接后变形量较小, 环缝组对不用采用倒链, 一般采用立装法, 用刀把板加楔铁局部调整错边量即可, 同样采用 4 mm 间隙垫控制。

5 焊接

A387-22 钢淬透性和淬硬性都很大, 钢板厚, 拘束应力大, 容易发生冷裂纹, 在热处理过程中, 有可能发生再热裂纹, 因此必须采取严格的焊前预热、控制道间温度、焊接过程、焊后消氢和消除应力热处理的措施。

5.1 焊接材料选用低氢型药皮耐热钢焊条 R407。

5.2 预热温度选为 230~270 °C

5.3 斜 Y 形坡口焊接裂纹试验

试验条件为板厚 72、80 mm, 焊条为 φ4 mm R407 经 400~420 °C 烘干, 1.5 h, 焊接电流 180 A, 电弧电压 24 V。试验温变分别为, 150 °C, 190 °C, 230 °C, 270 °C, 均未发现裂纹。

5.4 斜 Y 形再热裂纹试验

A387-22 再热裂纹敏感系数 2.17, 易产生再热裂纹。进行斜 Y 形坡口再热裂纹试验, 预热温度 230~270 °C, 热处理温度 720±10 °C 保温 4 h, 焊接参数同小铁研试验, 未发现任何裂纹。

5.5 焊接参数的确定

焊接电流采用小电流, 短弧操作, 但热输入量不能过小, 否则会使热影响区的韧性降低。具体焊接参数以工艺评定合格后的参数为准, δ=72 mm, X 形对接, 工艺评定试验参数见表 2。

表 2 焊接参数

焊接 层次	焊接 方法	填充金属 牌号	直径/mm	焊接电流		电弧电压 /V	焊速 (cm·min⁻¹)
				极性	电流/A		
打底层	手弧焊	R407	4.0	直流	140~150	22~24	25
第二层	手弧焊	R407	4.0	直流	140~160	22~24	25
中间层	手弧焊	R407	5.0	直流	180~200	24~26	25
封面层	手弧焊	R407	5.0	直流	180~210	24~26	25

为了防止冷裂纹及减少延迟裂纹倾向, 焊后立即消氢处理, 后热温度 250~300 °C, 保温 2~3 h, 石棉被保温缓冷, 然后 720±10 °C 热处理。钢板焊接力学性能试验结果合格。

6 焊后热处理

热处理是 A387-22 钢焊接的关键工艺, 必须严格控制。

采用框架式加热片加热, 用厚度不得小于 100 mm 的石棉被保温。热处理曲线见图 1。

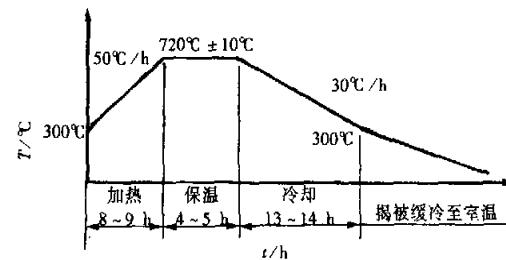


图 1 A387-22 钢热处理曲线

7 具体焊接工艺规程

A387-22 钢在焊接过程中不允许中断热循环, 以控制显微组织变化及焊接残余应力。特殊情况中断, 必须后热消氢处理, 然后一直保持道间温度, 继续焊接时检查焊缝表面, 有缺陷清除后再焊接。

7.1 焊前准备

7.1.1 施焊焊工必须经过培训和实践、理论考试, 完全掌握焊接工艺规程的优秀焊工方可上岗施焊。

7.1.2 坡口表面及两侧50 mm范围内将水、铁锈、油污、积渣和其它有害杂质清除干净。

7.1.3 焊缝不准朝向风口，风速大于10 m/s时，必须有防风措施。

7.1.4 焊条烘干温度400~420 °C，保温1~2 h，保存温度150 °C，保温筒盛装，随用随取。

7.1.5 点固焊时需局部火焰预热，预热温度大于230 °C，预热区周围焊缝200 mm范围内，点焊焊点长约50~60 mm，间隔200~300 mm，电流可比正常焊接时大10%~20%，点焊部位应在清根一侧。

7.1.6 焊前预热是防止耐热钢冷裂纹和消除应力的有效措施之一。采用履带式加热片预热，预热区宽度大于焊件厚度的4倍，且不小于150 mm，要求焊件内外表面均达到规定的预热温度(230~270 °C)，焊接过程中道间温度不得低于预热温度，焊接时一侧加热，另一侧焊接，随时测量道间温度，整个过程中加热不允许中断。

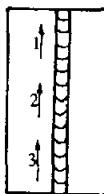
7.2 焊接

7.2.1 工艺评定合格后方可焊接，要求采用短弧，多层次多道焊，控制每层焊缝厚度，层间仔细清理药皮、飞溅，发现缺陷立即清除。

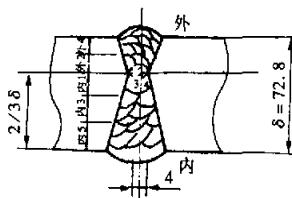
7.2.2 除第一层及封面外，其余各层需用风镐振动消应。

7.2.3 坡口背面用磨光机打磨清根，要求打磨出金属光泽，可用5倍放大镜检查表面，不允许存在微裂纹。

7.2.4 纵缝由4名焊工对称施焊，焊接参数、焊速一致，采用分段退焊法，严格控制摆动幅度不得大于10 mm，严禁大幅度拉焊，注意控制母材两侧热影响区的熔合质量。内侧焊完1/3后，外侧磨光机清根并焊完1/2后内，内侧焊中间1/3，外侧焊接封面，内侧焊接封面(图2)。



纵缝分段退焊法



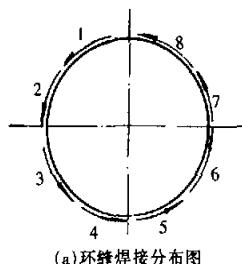
焊接顺序简图

图2

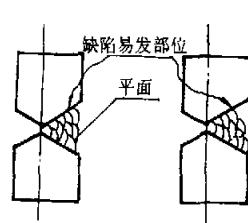
7.2.5 环缝由8~10名焊工对称施焊，焊接参数、焊速一致，专人指挥，接口处相互错开200 mm左右，要求尽量平面成形，严禁斜面成形，整层焊缝焊完后才能停顿，注意上部坡口熔合处打磨过程中严格振动消应。焊接层次同纵缝(图3)。

7.2.6 焊后立即后热消氢处理(250~300 °C，保温2 h)，超声波探伤合格后，打磨焊缝外观，不允许咬边，然后按热处理

工艺退火。



(a) 环缝焊接分布图



(b) 平面成形



(c) 斜面成形

图3

8 焊接过程中问题处理

因转炉外径大，无法运输，只能现场组焊，现场正在风口处，内侧焊完1/3，外侧清根焊完三层时，其中正对着风口的焊缝脆性断裂，其余焊缝不同程度出现裂纹。分析原因如下：

A387-22钢是空气淬硬钢，焊缝温度较高，大流动的空气中形成淬硬组织，另现场预热温度低于200 °C，形成了片状马氏体组织，厚钢板焊接拘束应力大。焊接时摆动幅度过大，大幅度拉焊造成应力局部集中等原因。

采取措施

(1) 将4条焊缝切开，重新切割坡口打磨，坡口根部间隙必须大于3 mm，以便于磨光机清根。

(2) 外部应设防风装置，确保预热温度≥230 °C，履带式加热片预热时外边同样包裹石棉被，提高预热效果，控制道间温度，消除风淬现象。

(3) 严格按工艺程序，专人指挥，同时、同速、同参数焊接，每层焊后用磨光机清理焊缝表面，风镐振动消应。

(4) 热循环不允许中断，及时进行后热、消氢处理，使形成的马氏体自回火增加韧性，同时超声波检查内部焊缝质量。出现超标缺陷按焊接工艺及时清根、打磨、焊接处理，保证热处理前焊缝超声波I级合格。避免有缺陷焊缝在热处理时，由缺陷源引起再热裂纹。

9 结论

(1) A387-22钢虽然焊接难度较大，但采取严格的焊前预热、焊中控制道间温度，焊后后热，探伤合格后采取热处理措施，便能够保证焊缝质量。为我国采用Cr-Mo厚板制做大型炼钢设备转炉探索出一条成功经验，值得借鉴和推广。

(2) A387-22钢屈服强度及硬度较高，采用温卷成形，既不影响材料的整体性能，减少冷作应力，改善施工环境，又可确保卷制质量。温卷工艺是一个行之有效的方法，值得推广应用。

中国将全面推行ISO 14000环境管理体系标准

日前，中国环境管理体系认证机构认可委员会成为太平洋地区认可合作组织(PAC)的正式成员，中国认证人员国家注册委员会环境管理专业委员会也成为国际审核员培训与注册协会(IATCA)的正式成员。这标志着我国环境管理体系认证与国际接轨工作已全面展开，我国将全面推行ISO 14000环境管理体系标准。

ISO 14000系列是继ISO 9000之后的又一个管理体系标准，是一种现代环境管理模式。推行ISO 14000将促进污染物全过程控制和清洁生产工作的开展，将使我国的环境保护工作更加标准、规范化，更符合国际社会对保护环境的要求。