

加氢反应器堆焊层的铁素体含量检测及影响因素分析

石正岩 刘颖 王友龙

(青岛兰石重型机械设备有限公司 山东 青岛 266555)

摘要: 加氢反应器作为炼油过程中的核心关键设备,其生产工艺要求和检验相当严格,对其内壁堆焊奥氏体不锈钢中铁素体相含量的控制和检测就是一个重要的环节。本文通过对奥氏体不锈钢堆焊层中铁素体相作用的探讨,以及结合实际生产中对铁素体含量定量检测方法的应用情况,分析和总结了铁素体含量的影响因素,为加氢反应器内壁堆焊过程工艺控制提供了指导和帮助。

关键词: 铁素体含量;影响因素;检测方法;内壁堆焊;加氢反应器

0 引言

近年来,随着我国国民经济的快速发展,我国的加氢炼油技术也有了较大的发展。而其中加氢反应器是其核心设备,对其需求量和生产制造量也有了很大的提高。而在这些加氢反应器的制造中,为了抗高温高压下临氢环境的腐蚀,设备的主体材料很大一部分需要采用 Cr-Mo 钢,如 12Cr2Mo1R (H)。

由于反应器介质中含有硫化氢,而 Cr-Mo 钢不耐硫化氢腐蚀,因此,在加氢反应器的内壁常常需要堆焊一层耐腐蚀的不锈钢。一般采用 E-309L 作为堆焊过渡层、E-347L 为堆焊表层的奥氏体不锈钢堆焊层,厚度不小于 3mm (过渡层)+3.5mm (表层)。通常,技术条件要求堆焊层金相组织为均匀的奥氏体+铁素体,且铁素体含量控制在 3%~10%。从理论上讲,奥氏体不锈钢焊缝最佳铁素体含量为 3~8FN。

奥氏体不锈钢中一般不希望出现铁素体,因为铁素体的存在会增大材料的局部腐蚀倾向,促进 σ 相的形成,并使奥氏体不锈钢表现为弱铁磁性。但是,堆焊层中适量的铁素体存在,能使其在临氢环境中具有较高的抗腐蚀能力。因此,笔者重点探讨了在加氢反应器生产制造过程中内壁堆焊奥氏体不锈钢中铁素体相的作用、铁素体含量定量检测方法以及铁素体含量影响因素。

1 奥氏体不锈钢中铁素体相的作用

分析铁素体在奥氏体不锈钢中的作用应通过有利和不利两个方面来考虑,这样才能加以正确利用和控制。而对加氢反应器的内壁(一般有筒体、封头、弯管、接管、凸台、纵缝、环缝等内壁堆焊部位)堆焊来讲,铁素体相在奥氏体不锈钢中的作用首先是对焊接性能和耐腐蚀性能的影响,其次才是对力学性能的影响。

1.1 对焊接性能的影响

奥氏体不锈钢中形成一定量(3%~5%)的铁素体相,可以有效防止内壁堆焊时产生热裂纹(主要是凝固裂纹),显著改善堆焊层的焊接性能,提高堆焊层的安全程度。

这是由于铁素体相比奥氏体相能溶解更多的有害杂质

(如 S、P、Si 和 Nb 等),能防止这些元素偏析并减少低熔点共晶化合物的形成。此外,铁素体相可以细化奥氏体不锈钢组织,使柱状晶变细,晶界增多,同样数量的低熔点共晶化合物被分割而不连续地分散在各个晶界上,从而降低堆焊层热裂纹倾向。

实践经验证明,加氢反应器内壁堆焊出现裂纹时,对其铁素体含量检测表明,裂纹处的铁素体含量要比其它部位的低得多,数值甚至小于 1%。

1.2 对耐腐蚀性能的影响

奥氏体不锈钢中形成一定量(5%~10%)的铁素体相,可以有效提高内壁堆焊层的耐晶间腐蚀性能和耐应力腐蚀性能,显著改善堆焊层的耐蚀性,降低因为腐蚀而破坏失效的可能性。

这是由于铁素体成小坑状分散均布于奥氏体晶粒之间,削弱了它的方向性,隔断了网状碳化铬在晶界连续析出,从而防止晶间腐蚀产生。而且,由于铁素体对应力腐蚀开裂不敏感,因此,含有铁素体的奥氏体不锈钢的耐应力腐蚀性能优于同成分但含有很少铁素体的奥氏体不锈钢。此外,铁素体相中含铬量远高于奥氏体相,碳化铬优先在铁素体的边缘以内析出,因而不致于在奥氏体晶界上形成贫铬区,从而提高了奥氏体不锈钢组织的抗晶间腐蚀性能。

实践经验证明,按照 GB/T 4334-2008E 法检验的内壁堆焊试样弯曲外表面出现晶间腐蚀的裂纹时,其铁素体含量也是比较低,达不到技术条件要求的范围。

1.3 对力学性能的影响

奥氏体不锈钢中铁素体对堆焊层的力学性能也有显著影响。铁素体含量增加时,堆焊层强度、硬度增加,塑性、韧性降低。

这是由于铁素体相的增加,阻止了奥氏体不锈钢的晶粒长大,细化了奥氏体和铁素体两相晶粒,使其屈服强度、高温强度等提高。奥氏体不锈钢内壁堆焊层在经受一定时间的高温(550~900℃)加热后会沿晶界析出一种硬而脆的 σ 相,从而导致堆焊层脆化,塑性和韧性显著下降,

易产生裂纹。

实践经验证明，铁素体含量不同的堆焊层试样，对其测量的堆焊表层维氏硬度 HV10 也不相同。铁素体含量越高的堆焊层，HV10 也相对越高。

2 铁素体含量定量检测方法

奥氏体不锈钢中铁素体相有如此重要的作用，正确测定其铁素体含量就成为至关重要的问题。实际中常用的铁素体含量测定方法共有三种，主要包括磁性法、金相法和化学分析法。

2.1 磁性法

磁性法是采用专用的铁素体测量仪测定与铁素体含量相关的某一磁性物理量，如铁素体数 FN。铁素体测量仪需要用已知铁素体含量的标准块来校准，如美国焊接学会颁布的一项标准 AWS A4.2M/A4.2，对美、英、德制造的三种铁素体测量仪的校验程序做出了严格规定。

我国国家标准中，只有 GB/T 1954-2008 中介绍了磁性法，且此法适用于奥氏体型、奥氏体-铁素体型铬镍不锈钢焊缝金属，不适用于奥氏体不锈钢铸件和锻件。磁性法测量范围宽，操作简单，人为影响小，测量不确定度能满足生产要求，同时还可以实现铁素体含量现场无损检测，是比较理想的检测方法之一，被认为是测量奥氏体不锈钢内壁堆焊层铁素体含量最好的方法之一。

2.2 金相法

金相法可分为比较金相法和定量金相法。比较金相法通常采用与标准图谱进行对照来计算，如 GB/T 1954-2008 中采用所选视场与金相标准图谱比较的方法测定，金相标准图谱铁素体形态为不规则状，分 500 倍和 1000 倍两组，含量分为 8 个百分点(2%、5%、7.5%、10%、15%、20%、25% 和 30%)，测量范围为 0% ~ 30%，属于近似的或半定量的金相法。定量金相法采用图像分析仪对所选视场图像通过摄像后，使用专用分析软件通过比较组织与组织之间的灰度差来进行鉴别和测量，GB/T 1954-2008 中选中了显微镜测微目镜金相割线法定量检测铁素体含量。

定量金相法虽然具有准确度高的优点，但因其涉及被测堆焊层的取样、制样、腐蚀和染色、观测等诸多工序，具有破坏性，而且检测过程中对检测人员的要求较高(能

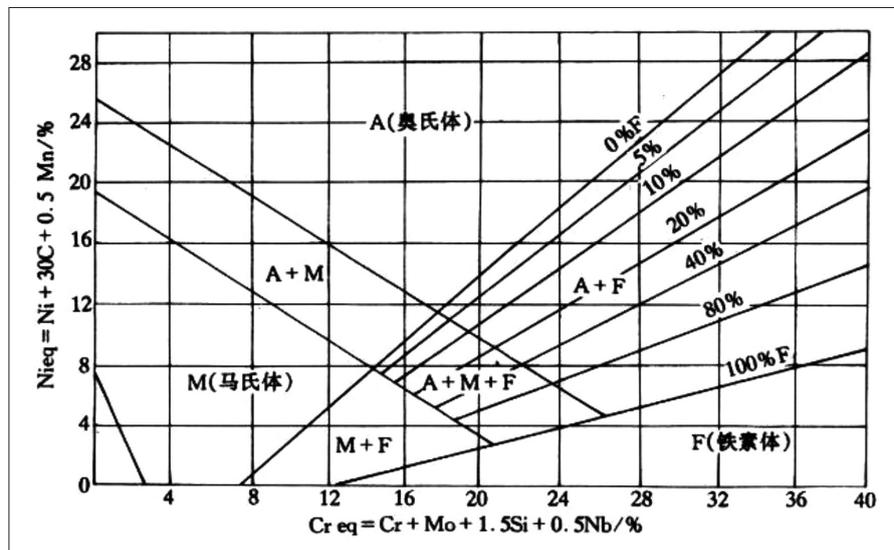


图 1 Schaeffler 组织图

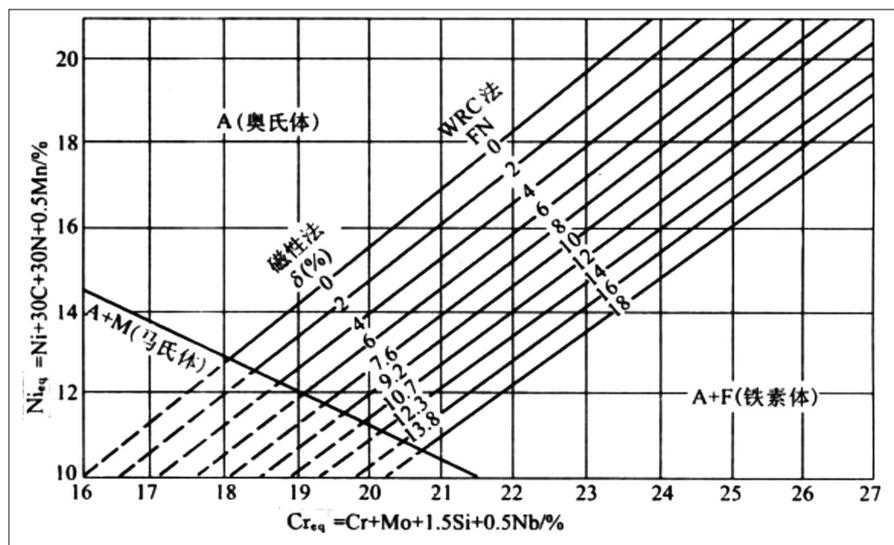


图 2 Delong 组织图

表 不锈钢铬当量和镍当量

组织关系图	铬当量 /%	镍当量 /%
Schaeffler 组织图	$Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb$	$Ni + 30C + 0.5Mn$
Delong 组织图	$Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb$	$Ni + 30C + 30N + 0.5Mn$
WRC-92 组织图	$Cr + Mo + 0.7Nb$	$Ni + 35C + 20N + 0.25Cu$

够准确识别组织中的铁素体或利用适当的手段将奥氏体和铁素体标记成不同的灰度)，需要检测多个视场，所以在加氢反应器制造过程中无法运用于内壁堆焊层的铁素体含量测定。

2.3 化学分析法

化学分析法是根据材料化学成分分析的结果，以及化学元素发挥的不同作用间接使用铬当量和镍当量计算出合金元素的当量值，然后在不锈钢组织图中找到坐标点来确定铁素体含量。依据哪种不锈钢组织图评定以及相应的铬当量和镍当量的计算公式，是采用化学分析法测量铁

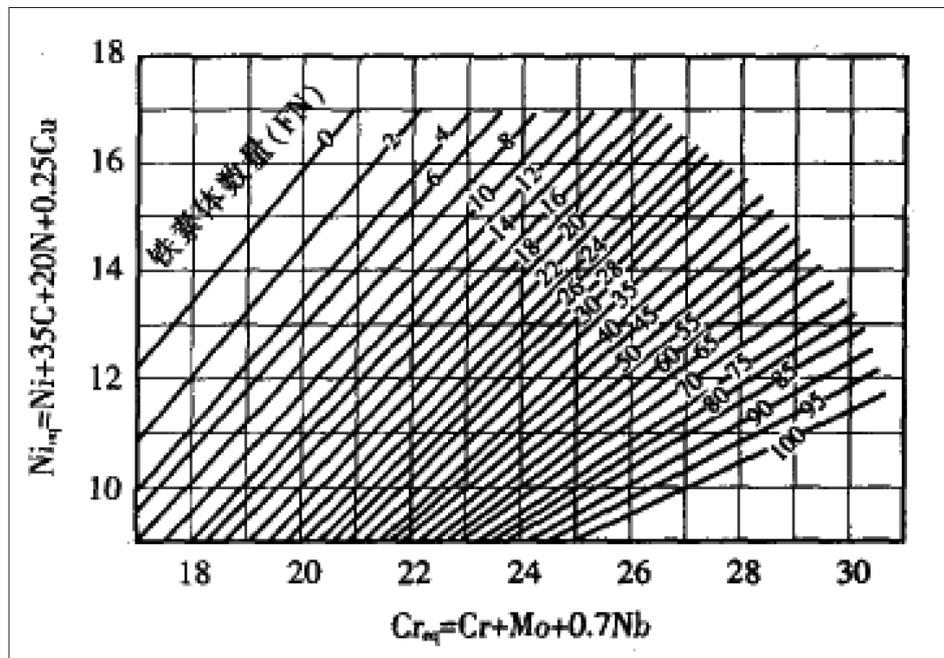


图3 WRC-92 组织图

素体含量的关键。目前,应用最多的主要有 Schaeffler 图、Delong 图和 WRC-92 图三种,其组织图分别如图 1、图 2 和图 3,铬当量和镍当量如下表所示。

Delong 组织图相比 Schaeffler 组织图,在镍当量中考虑了氮元素的影响,这是比较合理的,因为氮元素是强奥氏体形成元素,对铁素体含量的影响比较显著。因此, Schaeffler 图计算的精确度为 $\pm 4\%$, Delong 图计算的精确度为 $\pm 2\%$ 。但是,由于 Delong 图采用的是铁素体数 FN,而且只作到 18FN,不能满足实际需要。美国焊接研究学会通过大量研究,最后提出 WRC-92 组织图,该图把铁素体数 FN 扩大到 100FN,主要适用于双相不锈钢中铁素体含量的计算。

虽然这些组织图不能精确的计算铁素体含量,但对于定性估计铁素体相对含量还是具有一定的指导意义。而且,在生产实际中,如果使用便携式元素分析仪,就能实现奥氏体不锈钢产品铁素体含量的现场无损快速判断,该法目前较为实用。但是,由于热工艺因素、化学成分分析误差以及组织图本身的误差与局限性等综合因素的影响,将会在计算值与实测值之间造成较大的偏差。因此,在加氢反应器内壁堆焊奥氏体不锈钢中测定铁素体含量时化学分析法并不常用,通常还是选用方便、快捷的磁性法进行测量。

3 铁素体含量影响因素

了解了铁素体含量在加氢反应器内壁堆焊奥氏体不锈钢时对焊接性能、耐腐蚀性能和力学性能的影响情况以及铁素体含量的定量检测方法,研究铁素体含量的影响因素和如何在生产实际中控制铁素体的含量就变得十分重要。笔者公司生产的板焊式加氢反应器中对内壁堆焊的需求很大,而且通常采用 E-309L+E-347L 获得堆焊层。为了能够

了解和掌握焊接工艺参数对堆焊表层铁素体含量的影响情况,我们做了大量的实践和分析,总结出了如下的铁素体含量影响因素。

3.1 焊接电流的影响

焊接电流越大,内壁堆焊层铁素体含量越低。由于焊接电流越大,焊接时的热输入量就增大,使得堆焊时熔池温度大幅提高,造成堆焊层化学元素的氧化烧损,铁素体形成元素(如 Cr、Mo、Si、Nb)烧损较多,尤其是强铁素体形成元素 Cr 的烧损最为突出,这使得奥氏体不锈钢组织图中铬当量减小,进而影响到铁素体含量变小。

3.2 焊接电压的影响

焊接电压越大,内壁堆焊层铁素体含量越低。由于焊接电压越大,焊条药皮或焊剂与熔池的距离增加,使得对熔池的保护效果变差,造成空气中的氮元素渗入到堆焊层的量增大,氮是强奥氏体形成元素,这使得奥氏体不锈钢组织图中镍当量增大,进而影响到奥氏体含量变大、而铁素体含量变小。

3.3 层间温度的影响

层间温度越高,内壁堆焊层铁素体含量越低。由于层间温度越高,对堆焊表层的焊接起到了一定程度的预热作用,影响了堆焊时熔池温度使其增加,与焊接电流增大时的情况相类似,进而影响到铁素体含量变小。

3.4 冷却速度的影响

冷却速度越快,内壁堆焊层铁素体含量越高。由于冷却速度越快,缩短了堆焊层高温停留的时间以及高温与空气接触的时间,减少了铁素体形成元素(主要是 Cr)的氧化烧损和奥氏体形成元素(主要是 N)的渗入量,使得奥氏体不锈钢组织图中铬当量增加、镍当量减少,进而影响到铁素体含量变大。

4 结语

(1) 加氢反应器内壁堆焊奥氏体不锈钢中含一定量(3~8FN)的铁素体相会对堆焊层的焊接性能(热裂纹敏感性)、耐晶间腐蚀性能以及力学性能均有较好的帮助,实际生产中对其含量控制和检测应得到认识和加强。

(2) 加氢反应器内壁堆焊层铁素体含量的三种检测方法,在实际的生产中,磁性法测量简单、快捷,总体上优于化学分析法,而金相法不便于实际应用。

(3) 焊接参数对铁素体含量的影响显著、易懂,适宜的焊接工艺和工艺执行控制在加氢反应器内壁堆焊中应引起高度重视,这对保证内壁堆焊层奥氏体不锈钢焊接质量

(下转第 72 页)

液压油中的杂质增大阀芯运行阻力,当杂质颗粒较大或杂质在阀芯积累较多时会造成阀芯卡阻。

提高油品清洁度可以通过:定期检查液压站油品的清洁度,确保清洁度在规定范围,在清洁度超高时通过更换液压油,清洁油箱等方式确保油品质量;在液压站高压泵、循环系统、回油系统增加过滤器或技改为精度更高的过滤器,并定期更换滤芯。

3.4 液压油乳化

46# 抗磨无灰液压油在正常使用过程中,不会因为较高的油温及工作环境变质产生水导致油品乳化。油品的乳化最主要的原因是液压油中混入了水。在经过一定时间的氧化变质后,液压油呈现乳白色。造成液压系统进水的原因主要有:

- (1) 液压油在储存及加换油的过程中由于存放不当,或加换油时不注意而不慎进水;
- (2) 液压系统在清洗或维修(更换阀、更换密封圈等)过程中不慎进水;
- (3) 液压系统的工作环境潮湿或执行元件长期暴露在水中;
- (4) 液压系统的密封不良导致外来水分进入。

车间液压站冷却系统有回油冷却装置及循环冷却装置。由于连铸液压系统是一个相对封闭的循环回路,各执行机构均不暴露在水中。发现液压油乳化后,停止液压系统后,通过拆除板式冷区器的进回油管,水路正常启动。观察冷却

器进回油接口是否有水渗出,可以判断液压站油品乳化是否为冷却器处产生。通过经验总结,大量的封闭式循环液压系统的油品乳化问题是由于冷却器串水导致。

4 结语

设备稳定生产运行离不开对设备的精心维护。75%以上的设备故障大都是因为润滑不良而造成的。污染物的产生是一个不断的、渐进的过程,控制润滑系统的污染,及时净化液压油的污染物,保持液压油的清洁,是液压系统正常运行的可靠保证。保证液压系统的稳定性和可靠性是设备管理的重点项目。在日常的液压维护中,能根据液压系统的基本原理,对产生故障的原因进行逻辑分析判断。减少怀疑对象,找出故障可能发生部位,逐步逼近,找出故障原因。检测分析故障的原因,排除故障。才能做好设备管理,确保生产顺利进行。

参考文献:

- [1] 孟雷. DYNAFLEX 结晶器液压振动技术的研究与应用[J]. 冶金设备管理与维修, 2010(5):18-19.
- [2] 马治华. 液压油乳化的原因分析、危害及对策[J]. 科技经济市场, 2014(8):122-122.
- [3] 赵李平, 杨智. 高效化板坯连铸生产的实现[J]. 金属材料与冶金工程, 2008(3):19-22.

作者简介: 黄泽毅(1991.10-), 男, 汉族, 广西来宾人, 本科, 研究方向: 冶金机械(炼钢方向)。

(上接第 69 页)

意义重大。

参考文献:

- [1] 张国信. 国产加氢设备用 12Cr2Mo1R (H) 厚钢板的研制及开发[J]. 石油化工设备技术, 2009, 30 (5): 28-33.
- [2] 吴艳阳, 谢良法等. 舞钢大厚度临氢 12Cr2Mo1R (H) 钢板的开发[J]. 第七届(2009)中国钢铁年会论文集, 2009 (4): 481-490.
- [3] 杨莉, 李志霞. MP30 型铁素体含量测定仪测量中的不确定度评定[J]. 理化检验 - 物理分册, 2014, 50 (3): 199-200.
- [4] 机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会. 金相检验[M]. 北京: 中国计量出版社, 2008: 149-150.
- [5] 孙海涛. 核电焊接用奥氏体不锈钢组织中铁素体相的作用和定量[J]. 焊接, 2011 (1): 33-36.
- [6] 埃里希·福克哈德. 不锈钢焊接冶金[M]. 北京: 化学工

业出版社, 2004.

- [7] 陈世修, 秦宗琼. 奥氏体不锈钢中铁素体含量计算[J]. 阀门, 2005 (1): 20-25.
- [8] GB/T 4334-2008 金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法[S].
- [9] ASME 美国锅炉及压力容器规范[S]. 北京: 中国石化出版社, 2004.
- [10] AWS A4.2M/A4.2-1997 测定奥氏体焊缝金属中铁素体含量用磁性仪器标定的标准方法[S].
- [11] GB/T 1954-2008 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法[S].
- [12] 何德孚, 曹志 等. 奥氏体不锈钢焊管焊缝铁素体含量及其测定[J]. 钢管, 2007, 30 (5): 30-35.
- [13] 康继. 奥氏体及双相不锈钢铁素体含量测定方法探讨[J]. 大型铸锻件, 2010 (5): 42-44.