DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.01.010

铸造工艺对双相不锈钢泵体裂纹的影响

胡学文,周洋琼,王　坤
(安徽应流集团 霍山铸造有限公司,安徽 霍山 237200)

摘　要:本文针对双相不锈钢泵体制造过程的关键点和难点,在铸造工艺、冶炼工艺、热处理工艺方面采取了多项技术措施,成功解决了双相不锈钢泵体的裂纹问题。

关键词:双相不锈钢;铸造工艺;泵体;裂纹;AOD 精炼

中图分类号: TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)01-0036-02

Influence of Casting Technology on the Crack of Duplex Stainless Steel Pump Body

HU Xuewen, ZHOU Yangqiong, WANG Kun
(Anhui Yingliu Group, Huoshan Casting Co., Ltd., Huoshan 237200, China)

Abstract: Multiple technical measures in terms of casting, melting and heat-treatment were applied with respect to difficult and key points in the manufacturing of duplex stainless-steel pump. As a result, the crack in the duplex stainless-steel pump is solved and the qualified pump has been produced.

Key words: duplex stainless steel; casting process; pump body; crack; AOD refining

研发与应用超级双相不锈钢是高端铸钢件的发展方向,具有广阔的市场前景[1]。某双相不锈钢泵体(见图 1)主要应用于含氯离子的淡水冷却,结构复杂、尺寸较大,最大长度约为 1 350 mm,最大宽度约为 1 300 mm,最大高度约为 750 mm,最薄壁厚 25 mm。由于泵体结构复杂、壁厚差别大,加之材料的强度要求高,泵体在铸造过程中极易出现裂纹、气孔等缺陷。泵体力学性能要求如表 1。

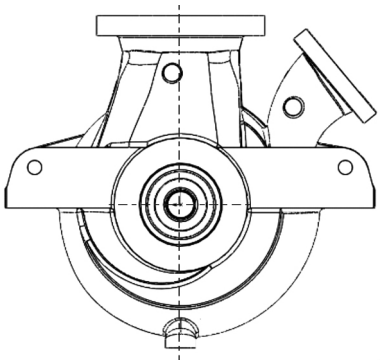

图 1 泵体
Fig.1 Pump body

浇冒口系统、冶炼工艺和热处理工艺均对双相不锈钢泵体零件的质量产生影响,其中对铸造裂纹、气孔缺陷影响最大的是冶炼工艺和热处理工艺。

表1 CE3MN双相不锈钢泵体要求的力学性能
Tab.1 Mechanical properties required for CE3MN duplex stainless-steel pump body

抗拉强度 R_m/N·mm^{-2}	屈服强度 $R_{p0.2}$/N·mm^{-2}	断后伸长率 A(%)
≥690	≥515	≥18

1　铸造工艺

根据产品的尺寸、壁厚、结构确定采用树脂砂砂型铸造工艺方案。砂型铸造工艺方案设计主要包括以下内容:造型、造芯方法和铸型种类的选择,浇注位置及分型面的确定。泵体选用派普树脂砂干砂型造型、制芯,同时根据泵体形状确定选用水平分型。

2　冶炼工艺

冶炼工艺设计作为泵体制造过程关键点和难点,其中双相不锈钢中奥氏体和铁素体两相的比例控制非常关键。如果铸态组织中铁素体相过多,容易导致产生铸造和淬火裂纹的倾向,降低厚壁铸件空冷时的韧度和铸件局部抗腐蚀性能,同时焊接性变差(如焊缝 HAZ 形成单相铁素体)。

2.1　双相不锈钢泵体成分设计

ASTM A890 标准虽对 CE3MN 双相不锈钢有成分范围,但范围太大,不能用于指导车间生产。需自行制定合理的内控化学成分以满足奥氏体和铁素

收稿日期:2020-11-09
作者简介:胡学文(1977-),安徽六安人,工程师.主要从事铸钢件冶炼工艺设计及研发方面的工作.
电话:0564-5036536, E-mail:448550581@qq.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体两相的比例控制、力学性能和耐点腐蚀性能以及减少铸件产生裂纹倾向的要求[2]。

Si 是非碳化物形成元素，在 Cr-Ni 双相不锈钢中 Si 促进 σ 相的形成，同时对抗局部腐蚀有消极影响，所以在实际生产过程中应尽量控制 Si 含量，最佳加入量为 0.50%～0.70%。

Cr 是铁素体形成元素。在 Cr-Ni 双相不锈钢中高的铁素体含量使钢有高的强度，同时 Cr 对 σ 相有促进作用，增加了 σ 相脆性转变。当 Cr 含量超过 21%时会大大增加抗腐蚀性能，但 Cr 含量不能太高，一般实际生产中不超过 26%。为了调节奥氏体和铁素体两相的比例达到最优，同时又不促进 σ 相的形成，通常用 Mo 来帮助 Cr 平衡。

Ni 是奥氏体形成元素，利于提高双相不锈钢的抗腐蚀性和延展性。实际生产中最佳 Ni 含量控制在 5.00%～8.00%。如果 Ni 含量超过最佳值，则 σ 相形成的敏感性增加，给铸件带来热裂的风险；如果 Ni 含量低于最佳值，则双相不锈钢的抗腐蚀性和延展性较低。

N 是奥氏体形成元素，在 Cr-Ni 双相不锈钢中 N 含量的增加有利于降低 Ni 的用量，降低生产成本，有利于抑制 σ 相的形成速度，增加双相不锈钢抗腐蚀性能。在实际生产过程中，N 含量控制在 0.15%～0.25%；同时 N 含量不能太高，太高易导致铸件出现气孔缺陷。

根据以上分析制定出合理的内控成分 w（%）为：≤0.03 C，1.00～1.30 Mn，0.50～0.70 Si，≤0.035 P，≤0.015 S，24.5～25.5 Cr，6.5～7.5 Ni，4.2～4.8 Mo，0.15～0.25 N。以此来降低铸造过程中裂纹、气孔等铸造缺陷的产生。

2.2　双相不锈钢泵体熔炼工艺

双相不锈钢泵体熔炼理论上可采用中频炉熔炼、浇注，但考虑到泵体使用的工作条件苛刻、恶劣，并承受较大的压力，故对钢的基体组织、致密度要求严格；同时为通过无损射线探伤、固溶处理后的力学试验、酸腐蚀试验、液体渗透、水压试验等多种检验。因而，为提高钢水纯净度，采用中频炉+AOD 炉双联法冶炼[3]。

（1）中频炉初炼钢液　熔炼前备齐中频炉冶炼所需的各种原材料，包括优质废钢、低磷钢锭、铁合金、本钢种返回料等。废钢或低磷钢锭、铁合金要求干净、干燥、无油垢、少锈蚀；返回料必须要清理干净、且要干燥。返回料加入量需根据返回料成分确定最终加入量。初炼钢液，必须要有一定的含碳量，其它成分依本钢种内控要求的中、下限配入。中频炉的出钢温度合适，中间包要烘烤良好。

（2）钢液精炼　精炼炉为 5 t 的 AOD 炉。为了减少初炼钢液的降温，预先把 AOD 炉衬用煤气烘烤器进行烘烤，再加入适量优质石灰把 AOD 炉衬和石灰一同烘烤，温度在 800 ℃左右。中频炉熔炼好的钢液进入 AOD 炉后用 Ar/O_2=1/4 进行吹 O 脱 C，第一阶段主要任务是提温化渣搅拌，随后逐渐调整 Ar/O_2 比例，直至将 C 脱到 0.03%以下，用纯氩气搅拌，进入还原期。还原期根据氧化期的用氧量和钢液重量来计算所需的铝量和所需的石灰量。氩气搅拌时间应根据炉内钢液的质量而定，取样化验。根据化验结果，按要求微调成分并取样全分析。如钢液成分合格（根据化验结果计算铁素体含量）、温度达到要求后出钢。

经过 AOD 精练的钢液，由于有氩气的搅拌，精练过程中始终有无数的氩气泡，就相当于无数的钢液真空室。钢液中的[N]、[H]、[CO]扩散进入 Ar 气泡，Ar 气泡上升搅动了钢液，钢液中的夹杂物也上浮进入炉渣中，纯洁了钢液，钢液的流动性好，因而可适当降低浇注温度 10～20 ℃。由于浇注温度的降低，大大降低了双相钢泵体铸造过程中产生热裂纹的倾向。

3　热处理工艺

固溶处理非常重要。双相不锈钢固溶处理必须达到 1 100～1 140 ℃，在此温度下保温一定的时间，所有的 σ 脆性相和碳化物完全溶解[4]。装炉时，炉膛温度应≤100 ℃，泵体摆放要平稳以防高温下变形，严格控制加热和冷却速度。水淬时水温必须控制在 25～50 ℃，主要是为防止冷却速度减小，而使铁素体含量减少，Cr 含量增加而促进 σ 脆性相的形成，从而导致泵体在热处理过程中产生裂纹。

4　结论

铸造工艺、冶炼工艺、热处理工艺对双相不锈钢铸钢件质量影响大。通过在铸造工艺、冶炼工艺、热处理工艺方面采取多项技术措施，可成功解决双相不锈钢泵体的裂纹问题。

参考文献：

[1]　吴玖. 双相不锈钢[M]. 北京：冶金工业出版社, 2000.
[2]　中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册铸钢[M]. 北京：机械工业出版社, 2012.
[3]　李传栻. 铸钢及其熔炼[M]. 北京：中国水利水电出版社, 2006.
[4]　崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京：机械工业出版社, 2003.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net