

冷却工艺对 A995-5A 双相不锈钢厚大铸件 裂纹缺陷的影响

曹启稳¹, 张其云², 戴平¹, 洪起燕¹, 李福琴¹

(1. 安徽应流集团霍山铸造有限公司, 安徽六安 237200; 2. 荆州技师学院, 湖北荆州 434020)

摘要: 双相不锈钢A995-5A厚大铸件正常冷却状态下, 冷却速度缓慢, 在冷却过程中极易产生大量的 σ 脆性相, 因此铸件裂纹倾向严重, 易导致铸件报废。为了减少或杜绝裂纹缺陷的产生, 可在铸件凝固后进行高温清砂, 快速冷却, 使铸件冷却过程中快速通过产生 σ 相组织的温度区间, 减少 σ 相的产生。实际生产中, 采用浇注铸件凝固后就进行高温打箱, 对铸件强制风冷或喷雾风冷, 可以有效消除裂纹缺陷。

关键词: 双相不锈钢; 铸件; 裂纹; 冷却

双相不锈钢, 指铁素体与奥氏体各约占50%, 一般较少相的含量最少也需要达到30%的不锈钢。双相不锈钢从20世纪40年代在美国出现以来, 已经发展到第三代。它的主要特点是屈服强度可达400~550 MPa, 是普通不锈钢的2倍, 因此可以节约用材, 降低设备制造成本。在抗腐蚀方面, 特别是介质环境比较恶劣(如海水, 氯离子含量较高)的条件下, 双相不锈钢的抗点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀及腐蚀疲劳性能明显优于普通的奥氏体不锈钢, 可以与高合金奥氏体不锈钢媲美^[1]。

双相不锈钢含有较高的Cr、Ni、Mo和N, 根据ASTM A995/A995M Castings Austenitic Ferrite Duplex Stainless Steel统计, Cr: 21.0%~27.0%; Ni: 4.0%~11.0%; Mo: 1.7%~5.0%; N: 0.10%~0.33%, 铸件容易形成 σ 相, 防范铸件的裂纹是十分关键的。Cr是关键元素, 较高的铬能增加强度及降低延展性, 增加铁素体, 促进 σ 相的生成, 使氮保持在固溶状态; Ni能增加奥氏体、韧性、延展性及抗腐蚀性, 目标在成分范围中间值比较合适; Mo能增加铬化物的抗腐蚀性, 目标在成分范围中间值比较合适。根据化学成分分析(表1), 较高的铬、合适的Ni和Mo, 对于生产此类铸件比较合适。

国外某阀门厂需要批量采购1500LBS阀体(图1), 材料为双相不锈钢A995-5A(表1), 铸件最大厚度170 mm, 毛坯重量约2 200 kg。铸件需要做严格的PT(渗透检测)、RT(射线检测)、金相测试、铁素体检测、腐蚀测试、水压试验等, 质量要求很高。

1 裂纹实例及原因分析

1.1 裂纹缺陷实例

泵体类铸件因冷却过程控制失败而导致的裂纹缺陷, 见图2。铸件最后在做PT时发现的裂纹缺陷: 有时在生产双相钢铸件过程中, 由于冷却过程控制不是完全到位, 铸件在冷却过程中产生一定比例的 σ 相组织, 这样比例的 σ 相组织不会导致目视可见的裂纹, 但铸件机体已经存在裂纹缺陷, 最终在做PT时, 可以发现这些裂纹缺陷, 图3就是一个典型的例子。

作者简介:

曹启稳(1964-), 男, 工程师, 主要从事铸钢件工艺设计及铸造技术工作。
电话: 0564-5036565, E-mail: Caoqiwen@yingliugroup.cn

中图分类号: TG245
文献标识码: B
文章编号: 1001-4977(2020)01-0062-04

收稿日期:

2019-07-24 收到初稿,
2019-09-11 收到修订稿。

表1 A995-5A双相不锈钢化学成分
Table 1 Chemical composition of A995-5A duplex stainless steel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	PREN	Fe
≤0.03	≤1.0	≤1.50	≤0.040	≤0.040	24.0~26.0	6.0~8.0	4.0~5.0	0.10~0.30	> 40	35~65

1.2 双相钢冷却过程产生裂纹缺陷的原因分析

(1) 双相不锈钢在600~1 000 °C时容易析出一些较脆的金属间化合物,尤其是富Cr和Mo的 σ 相。 σ 相倾向在双相不锈钢材料的形成和加工过程中出现。由于 σ 相硬度高,脆性大,而且在 σ 相形成过程中存在较大的体积膨胀,导致铸件机体的塑性和韧性下降,易于产生铸件的裂纹。

(2) 高铬铁素体-奥氏体双相不锈钢也存在475 °C脆性倾向。该脆性是由于在铁素体母体上析出的 σ 相所致^[2]。

2 采取措施

2.1 减少 σ 相析出

根据上述双相不锈钢形成裂纹的原因分析,主要应减少600~1 000 °C温度范围内的 σ 相析出,还要控制好475 °C脆性。

对于铸件冷却过程中产生的裂纹缺陷,目前有效的方法有四种,分别为:高温打箱后直接水淬;高温打箱后直接进炉热处理;冷却到100~150 °C左右进炉热处理,热处理后再切割浇注冒口;高温打箱,适当进行清砂后对铸件进行强制风冷或喷雾+强制风冷。下面就各种方法的优缺点做分析说明。

2.1.1 高温打箱后直接水淬

当铸件上最大冒口已经凝固时,就对铸件进行打箱,这时由于冷却过程很短,铸件表面的型砂及芯砂没有充分的燃烧溃散,铸件的型砂及砂芯去除十分困难,特别是铸件结构复杂,砂芯较厚大时,铸件及型芯砂温度又很高,型砂及芯砂清理不可能很干净,而且冷铁一般是去除不了,入水时铸件温度一般要在900 °C以上,(可以用红外线测温仪对铸件表面进行测温),这样快速通过600~1 000 °C温度区间,减少 σ 相的析出,同时也减少475 °C脆性,避免铸件产生裂纹。

本公司生产的1500LBS阀体铸件,通过Magma软件分析,浇注后3小时21分41秒,铸件及冒口均已全部凝固,这时就可以进行清砂入水操作。

这种方法存在如下问题:①铸件由于没有清理干净,入水时会出现型砂及芯砂的爆炸,冷铁有时会飞出来,十分危险,不适合企业批量化生产;②高温清理时十分困难,工人很难接受这样的高温操作方法,也易被烫伤。

由于安全性没有保障,现在已经杜绝使用此方法;但对于小的精铸件或结构很简单的砂铸件,使用

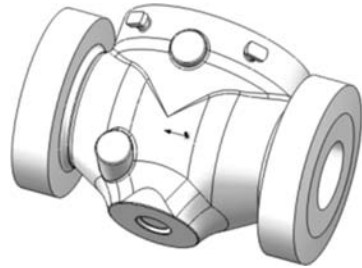


图1 铸件图
Fig. 1 3D model



图2 泵体类铸件裂纹缺陷图
Fig. 2 Pump casting with cracks



图3 铸件PT时发现的裂纹缺陷图
Fig. 3 PT indications of cracks

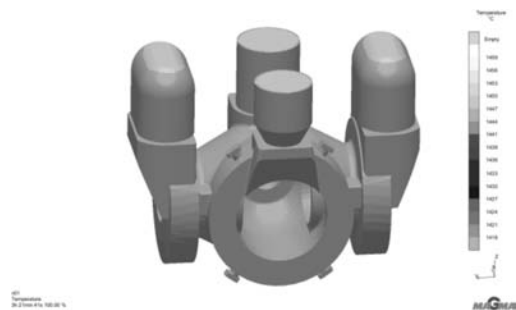


图4 铸件及冒口液态凝固完成模拟图
Fig. 4 Solidification simulation results of casting with risers

这种方法也是可行的。

2.1.2 高温打箱后直接进炉热处理

当铸件已经凝固时，就对铸件进行打箱，打箱后直接对铸件热处理。当铸件热处理保温时间完成后，铸件随炉冷却到1 045 ℃时，快速出炉直接进行淬火处理。这种方法同样有高温清砂操作困难问题，同样存在铸件入水时型砂及芯砂的爆炸，只不过爆炸威力小一些，危险性小一些，目前此方法也杜绝采用。另外，高温打箱后直接进炉热处理还需要注意两个方面的问题：①铸件入炉温度应大于800 ℃；②热处理炉温度应大于700 ℃；如果做不到这两点，铸件产生裂纹的倾向均很大。

2.1.3 热处理后再切割浇注冒口

对于厚度不超过50 mm，而且厚度变化相对较小的铸件，可将铸件直接冷却到100~150 ℃，然后再进炉进行热处理，热处理后再切割浇冒口。

这种方法对于厚大的铸钢件是不适合的，如本公司生产的厚度为170 mm的铸件，原先采用上述方法，

冷却后对铸件表面及冒口目视均未发现明显的裂纹，热处理切割冒口后，目视的裂纹也很不明显，但加工后做PT就发现很大的裂纹，直接导致铸件的报废。具体见图5。

这种方法存在如下问题：①由于铸件直接冷却到100~150 ℃，铸件存在大量的 σ 相，脆性很大，清砂时要特别小心，若碰撞强度大，铸件可能就因裂纹而报废；②铸件进行热处理时，升温速度要进行特别的控制，升温过程也要做调整，不能一次均匀升温到保温温度；③由于铸件浇注后要保温到100~150 ℃，保温时间较长，尤其是夏天，保温时间就更长，导致生产周期大大的延长，长期占有厂房及砂箱等，影响企业的正常生产安排；④此方法不适合厚大铸件。

2.1.4 清砂后强制风冷或喷雾

高温打箱后适当进行清砂后对铸件进行强制风冷或喷雾（图6）。本公司生产的1500LBS阀体铸件，通过Magma软件模拟，浇注后2小时58分5秒，铸件已全部凝固，这时就可以进行清砂操作，适当清砂后，用

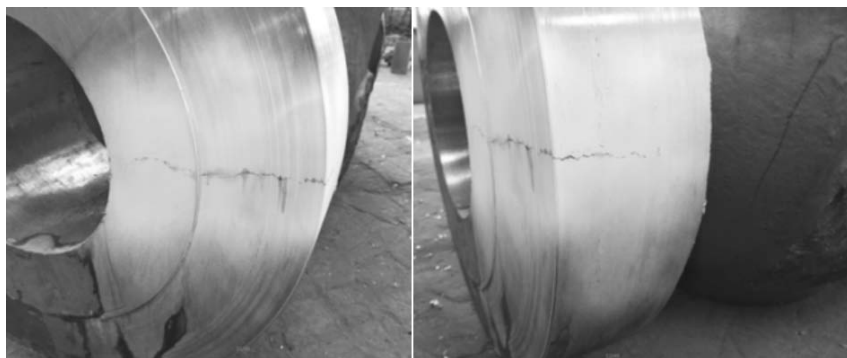


图5 铸件加工后PT显示的裂纹图
Fig. 5 PT indications of cracks after machining



图6 铸件打箱后强制风冷
Fig. 6 Forced air cooling for casting after shaking out from mold

两台风机对铸件进行强制风冷，风冷到合适的温度范围内后，可直接进行切割浇冒口。这种方法可以避免双相不锈钢铸件的裂纹缺陷，操作简单，适合工厂批量作业。此铸件厚度为170 mm，属于厚大的铸钢件，若铸件厚度进一步的加大，可以选择带喷雾的风机进行强制冷却，同样可以避免裂纹缺陷。这种方法使用过程要注意，铸件厚大部分尽可能对准风机的吹风口，铸件若放在框架上吹风冷却，效果则更好。

3 结论

(1) 对于双相不锈钢A995-5A铸件，采用高温打箱后强制风冷是避免冷却过程产生裂纹缺陷的好方

法，特别是对于厚大件，效果显著。按此方案进行冷却，无目视裂纹缺陷，铸件最终PT发现的裂纹也很少，铸件在加工过程中很少有裂纹缺陷，铸件质量均很稳定。

(2) 采用高温打箱直接入水淬火或高温打箱后进行固溶处理，此方法能解决铸件的裂纹问题，但生产过程中安全隐患大，工人劳动强度大，不适合工厂批量化生产。

(3) 铸件冷却到室温再进行热处理对于部分铸件也是可行的，但对热处理的过程要求比较苛刻，适用于结构简单的砂铸件或小的精铸件，热处理过程要严格控制升温速度。

参考文献:

- [1] 马鸣图, 吴宝榕. 双相钢——物理和力学冶金 [M]. 2版. 北京: 冶金工业出版社, 2009: 432-435.
- [2] 罗永赞. 双相不锈钢的475℃脆性 [J]. 材料开发与应用, 1988 (5): 7-16.

Effect of Cooling Process on Crack Defects of Heavy Section Castings of A995-5A Duplex Stainless Steel

CAO Qi-wen¹, ZHANG Qi-yun², DAI Ping¹, HONG Qi-yan¹, LI Fu-qin¹

(1. Anhui Yingliu Group Huoshan Casting Co., Ltd., Liuan 237200, Anhui, China; 2. Jingzhou Technician Institute, Jingzhou 434020, Hubei, China)

Abstract:

Heavy section castings made of duplex stainless steel A995-5A is particularly susceptible to formation of deleterious phase such as σ phase structure during the slow cooling process under the normal condition. The σ phase embrittlement will cause subsequent brittle failure of castings due to existence of serious cracking trend. In order to reduce or eliminate the crack defects, it is essential to remove the castings from the mould at higher temperature just as the castings solidified, and cool down rapidly so as to take the castings rapidly through the temperature range of σ phase formation, and reduce the σ phase formation. In the real practice, the crack defects can be eliminated effectively by opening the mould at high temperature and then applying the forced air cooling or the mist-spraying air cooling.

Key words:

duplex stainless steel; casting; crack; cooling