DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.02.008

酸洗对钛合金熔模铸件性能的影响

李伟东[1],史许娜[2],刘茵琪[1],田永武[1]
(1. 洛阳双瑞精铸钛业有限公司,河南 洛阳 471003;2. 洛阳瑞泽石化工程有限公司,河南 洛阳 471003)

摘　要:在相同的酸洗条件下,研究了不同的酸洗量对钛合金铸件成分、性能及焊接工艺性能的影响。结果表明,随着酸洗量增加,铸件表面脆性 α 层厚度减小直至完全去除。随着表面脆性 α 层厚度的降低,铸件焊接性能得到明显提升,吸氢情况有所增加。酸洗过程中产生氢含量增加的情况经热等静压能够得到有效的消除,整个工艺流程对钛合金试样的拉伸性能无明显影响。

关键词:酸洗;钛合金;α 脆性层;熔模精密铸造

中图分类号:TG146.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)02-0129-03

Effect of Pickling on the Properties of Titanium Alloy Investment Casting

LI Weidong[1], SHI Xuna[2], LIU Yinqi[1], TIAN Yongwu[1]
(1. Luoyang Sunrui Titanium Precision Casting Co., Ltd., Luoyang 471003, China; 2. Luoyang Ruize Petrochemical Engineering Co., Ltd., Luoyang 471003, China)

Abstract: Under the same pickling condition, the effects of pickling amount on the composition, properties and welding performance of titanium alloy castings were studied. The results show that with the increase of pickling amount, the thickness of brittle layer on the casting surface decrease until it is completely removed. With the decrease of the thickness of the surface brittleness layer, the welding performance of the casting is improved obviously, and the hydrogen absorption is increased. The increase of hydrogen content in the pickling process can be effectively eliminated by thermal isostatic pressure, and the whole process has no obvious influence on the tensile properties of titanium alloy samples.

Key words: acid pickling; titanium alloy; brittle layer; investment casting

在发达国家,大型复杂薄壁钛合金铸件的精密铸造技术已广泛应用于航空发动机、机体等关键构件的研制和生产[1-3]。我国钛工业已经经历了 60 多年的发展历程,也取得瞩目的成绩[4]。

钛合金铸件市场对铸件无论是尺寸精度还是表面光洁度要求越来越高,石墨型铸造钛合金铸件依然不能完全满足市场的高品质需求。熔模精密铸件的尺寸精度及表面光洁度均较石墨型铸件具有较大的改善,熔模精密铸造已然成为钛合金成型铸件的主要方法。钛合金熔模精密铸件在浇注过程中,由于钛液较为活泼,容易与模壳起反应,使铸件表面形成脆性 α 层。由于铸件表面 α 层的存在,使铸件在后续修整过程中其表面极易形成裂纹,需对铸件表面裂纹进行打磨、补焊,然后再次进行表面荧光检查,此时会发现表面裂纹增多,如此进行多次打磨、补焊、荧光的反复工作以去除表面裂纹,但效果不理想。铸件表面裂纹反复出现甚至会造成产品的报废,从而极大地造成了生产成本的增加,生产周期大大延长,也无法保证产品的正常产出。

本文通过采用酸洗的工艺方法去除钛合金熔模精密铸件表面脆性 α 层,提升铸件表面焊接性能,减少铸件表面裂纹情况。重点研究酸洗工艺对钛合金铸件吸氢、性能及焊接工艺性能的影响。

1　实验方法

实验材料为 65%~68%硝酸、40%氢氟酸、去离子水,实验对象为采用熔模精密铸造成型的 ZTC4 (GJB) 钛合金板经机械加工成型的板状拉伸试样(图 1)及厚大型钛合金熔模精密铸件(图 2)。

酸洗液浓度配比及酸洗温度控制均依据表 1 所述要求进行实施。对 10 根加工成型后的拉伸试样(图 1)及厚大型钛合金熔模精密铸件(图 2)进行表面酸洗处理,每隔 5 min 测试试样的酸洗量并记录。测试对象酸洗量设置情况如表 2。试样单边酸洗量分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mm,该酸洗量的设置能够全面了解不同酸洗量对铸件成分及性能的影响。在对试样及铸件进行酸洗过程中,需保持酸液与试

收稿日期:2019-09-18
基金项目:郑洛新自创区产业集群专项(181200212500)
作者简介:李伟东(1985-),河南开封人,硕士,工程师.主要从事钛合金铸造方面的工作.电话:19937925796,E-mail:liweidong589@163.com

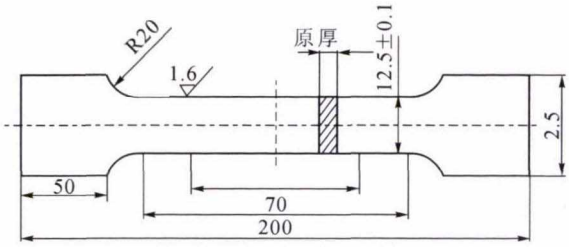

图 1 板状拉伸试样
Fig.1 Plate tensile test specimen

图 2 厚大型钛合金熔模精密铸件
Fig.2 Precision casting of thick titanium alloy investment mold

表 1 酸液配制工艺(按 100 L 酸液配制)
Tab. 1 Acid solution preparation process (100 L)

	酸液成分	组分 /L	酸液温度 /℃
1	去离子水	40	30±5
2	硝酸	40	
3	氢氟酸	7.5	
4	去离子水	定容至 100	

表2 测试对象酸洗量
Tab.2 Pickling amount of test objects

测试对象	酸洗量 /mm	备注
1# 试样	0.1	单边
2# 试样	0.2	单边
3# 试样	0.3	单边
4# 试样	0.4	单边
5# 试样	0.5	单边
厚大型熔模精密铸件	0.5	测定的 α 层厚度为 0.5 mm

样、铸件具有相对运动及试样与铸件间歇性翻转运动，以确保酸洗残渣不残留在试样及铸件表面，避免试样及铸件表面被残渣污染。对酸洗后的试样立即采用清水冲洗，并将清洗后的试样进行氢含量测试。将酸洗后试样及厚大型熔模精密铸件进行热等静压处理，对酸洗与热等静压后试样采用气体分析仪(ONH-2000)进行氢含量测试，并进行力学性能试验。将热等静压处理后的铸件进行焊接及表面荧光检测。

2 实验结果及讨论

2.1 酸洗量对吸氢的影响

ZTC4(GJB)钛合金浇注的铸态试板的氢含量为 0.002 8%。将浇注后的铸态试板加工成拉伸试样，进行不同酸洗量的氢含量测试，结果见表 3。可见，随着酸洗量的增加，其氢含量逐步增加。当单边酸洗量为 0.1 mm 时，试样表面氢含量为 0.007%，氢含量增加了 0.004 2%；当单边酸洗量为 0.2 mm 时，试样表面氢含量为 0.007 4%，氢含量增加了 0.004 6%；当单边酸洗量为 0.3 mm 时，试样表面氢含量为 0.007 5%，氢含量增加了 0.004 7%；当单边酸洗量为 0.4 mm 时，试样表面氢含量为 0.007 9%，氢含量增加了 0.005 1%；当单边酸洗量为 0.5 mm 时，试样表面氢含量为 0.008 6%，氢含量增加了 0.005 8%。

对酸洗后的试样进行热等静压处理 (920 ℃+100 MPa+2 h)，并进行氢含量测试，结果见表 3。可见，热等静压温度为 920 ℃时，高温能够使酸洗过程中吸收的氢得到有效的扩散及释放。

表 3 不同酸洗量下试样表面氢含量
Tab.3 The hydrogen content on the surface of the sample under different pickling rates

	铸态试样氢含量为(0.002 8%)	
编号	酸洗后氢含量(%)	热等静压后氢含量(%)
1#	0.007 0	0.003 2
2#	0.007 4	0.003 1
3#	0.007 5	0.003 5
4#	0.007 9	0.002 9
5#	0.008 6	0.003 1

2.2 酸洗量对力学性能的影响

将不同酸洗量及热等静压处理后的试样进行拉伸性能测试，结果见表 4。可见，不同酸洗量经热等静压后的试样与无酸洗热等静压试样的屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率无明显差别。因此，酸洗对钛合金拉伸性能无明显影响。

表4 不同状态下拉伸性能
Tab.4 Tensile properties under different states

	$R_{P0.2}$ /MPa	Rm /MPa	A (%)	Z(%)
静压试样	797	885	6.5	18
1# 试样	809	886	6.5	16
2# 试样	809	871	6.5	18
3# 试样	800	873	8.5	19
4# 试样	812	885	7.5	17
5# 试样	805	892	7.5	18

2.3 酸洗量对铸件焊接性能影响

对酸洗量为 0.5 mm 及热等静压处理后的厚大型熔模精密铸件进行 X 射线无损检测。采用钻床钻孔的方式对铸件内部缺陷进行加工去除。采用手工氩弧焊的方法对铸件缺陷部位进行补焊。具体焊接要求如下：焊丝牌号和直径分别为 TA4 和 3.0 mm，电流强度为 50～150 A，焊枪氩气流量为 8～25 L/min，钨极直径为 3.0 mm，保护气体流量为 4～12 L/min。

除此之外，焊接前先用酒精将所需焊接的部位擦拭干净，然后才进行焊接；焊接时要等熔池完全熔化后方能加丝焊接。

选择未经酸洗但热等静压的同型号厚大型熔模精密铸件作为参照，根据缺陷情况制备焊接参照对象。对酸洗及未酸洗的厚大型熔模精密铸件按照同样焊接工艺进行补焊。焊接后对铸件进行荧光检测，荧光结果表明，未经酸洗补焊的厚大型熔模精密铸件焊缝及其周边部位存在较多的荧光裂纹；而经过酸洗的厚大型熔模精密铸件焊缝及其周边部位没有荧光裂纹出现。因此，酸洗去除铸件表面脆性 α 层对铸件焊接工艺有明显的提升作用。

3　结论

(1)不同酸洗量对 ZTC4 钛合金吸氢具有一定的影响，但酸洗对综合拉伸性能无显著影响。随着酸洗量的增加，试样表面氢含量逐渐增加，当单边酸洗量为 0.5 mm 时，试样表面氢含量为 0.008 6%。试样经热等静压处理，其表面氢含量可得到有效释放。

(2)酸洗可去除厚大型 ZTC4 钛合金熔模精密铸件表面脆性 α 层，提升铸件焊接性能；经酸洗及热等静压后的铸件焊后表面无荧光裂纹反复出现的问题，保证了铸件一次焊后合格率。

参考文献：

[1] 樊振中，徐秀利，王玉灵，等. 熔模精密铸造技术在航空工业的应用与发展[J]. 特种铸造及有色合金，2014，34 (3): 285-289.

[2] 金和喜，魏克湘，李建明，等. 航空用钛合金研究进展[J]. 中国有色金属学报，2015，25(2): 280-292.

[3] 李毅. 大型复杂薄壁 Ti-6AL-4V 合金熔模精密铸造工艺研究[J]. 钛工业进展，2012，29(3): 22-25.

[4] 常辉，周廉，王向东. 我国钛工业与技术进展及展望[J]. 航空材料学报，2014，34 (4): 37-43.

消失模铸造专家刘立中“坐堂”
——《铸造技术》杂志开辟“消失模铸造专栏”告读者

刘立中先生，通过自主研发出独具特色的消失模铸造设备，并成功生产出精美铸件，自成体系。获得 30 多项国家发明专利，成为国内最早一批投身消失模铸造的专家，著有《消失模铸造工艺学》一书(2019 年 5 月 20 日化工出版社出版)，系其亲身历经 30 多年现场实践经验的总结和理论的升华。被叶升平教授称作国内“消失模铸造第一人”。

《消失模铸造工艺学》提出的“消失模铸造流场、热场、负压场三场理论”、“消失模铸造浇注系统直浇道细，横浇道粗，内浇道短的设计原则”、“借用型腔做浇道，极致简化浇注系统”的新理论，均属首创。为验证和推广这些新理论，自 2000 年起，先后举办 14 届刘立中先生主讲的“消失模铸造专题讲座”，反响热烈。业界知名专家——魏兵教授对此书评价，认为“每一项技术和观点都是从实践中来，又应用到实践中去，反复验证，不断完善，属完全的创新成果”。国内多家铸造企业应用“三场理论”取得了明显提高铸件合格率、明显提高金属液利用率、明显提高员工劳动效率，进而提高铸造企业经济效益的成果。

“消失模铸造三场理论”、特别是“借用型腔做浇道，极致简化浇注系统”解决了困扰消失模铸造的泡沫模型导致的缺陷，打开了消失模铸造工艺通向铸钢件，特别是低碳钢和不锈钢铸件的大门，也打开了对消失模铸造的理解还处于混沌状态的企业通往成功之路的大门。毫不夸张地讲，挽救了多家处于倒闭边缘的消失模铸造厂。

2019 年 6 月，应《铸造技术》杂志邀请，与刘立中先生联手，《铸造技术》杂志开辟“消失模铸造专栏”，从专家的角度，“坐堂”解难答疑，回应业界同仁有关消失模铸造理论与实践各方面的咨询。

此举，势必为推动中国铸造业发展、尤其是消失模铸造技术的进步做出独特之贡献。欢迎业界同仁参与。