● 生产技术 Production Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.05.013

耐烧蚀复合材料风帽制造方法研究

郭在在[1],赵倩莹[2],李国斌[1],曹剑武[1],燕东明[1],杨双燕[1],刘发付[1],童　鹤[1]
(1.中国兵器工业第五二研究所烟台分所,山东 烟台 264003; 2.天津国投津能发电有限公司,天津 300480)

摘　要:分析了金属熔炼与浇注工艺的关键操作技术和提高钢液纯洁度措施,采用消失模铸造工艺,在真空负压下,耐热不锈钢液渗透到硅石砂涂料砂粒间隙内,形成厚度 2.0~2.5 mm 金属和砂粒耐热烧结陶瓷层,并与风帽金属本体复合,研究了耐烧蚀复合材料风帽的制造方法。结果表明,耐烧蚀风帽在火电厂锅炉煤粉燃烧区使用寿命是金属风帽的 1.3 倍以上。

关键词:消失模铸造;金属硅砂陶瓷层;耐烧蚀风帽
中图分类号: TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)05-0464-03

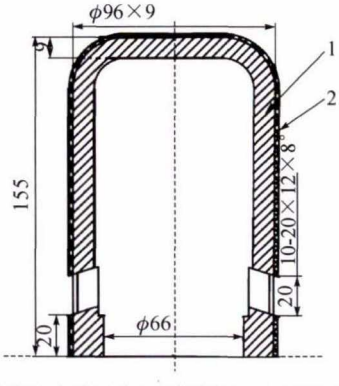
Study on Manufacturing Method of the Ablative Composite Material Hood

GUO Zaizai[1], ZHAO Qianying[2], LI Guobin[1], CAO Jianwu[1], YAN Dongming[1], YANG Shuangyan[1], LIU Fafu[1], TONG He[1]
(1. No. 52 Institute of China North Industry Group, Yantai Branch, Yantai 264003, China; 2. Tianjin SDIC Jinneng Electric Power Co., Ltd, Tianjin 300480, China)

Abstract: The key operation techniques of metal smelting and pouring process and measures to improve the purity of molten steel were analyzed. The EPC process was adopted, under vacuum and negative pressure, the heat resistant stainless steel liquid penetrates into the sand gap of silica sand coating to form a 2.0~2.5 mm thick metal and sand heat resistant sintered ceramic layer. The fabrication method of ablative composite hood was studied by combining with the metal matrix of the hood. The results show that the service life of ablative hood in pulverized coal combustion zone of power plant boiler was more than 1.3 times that of metal hood.

Key words: lost foam casting; metal silica ceramic layer; ablative hood

火电厂锅炉设备的风帽,在煤粉燃烧区能使助燃气流分布均匀,助力煤粉燃烧更加充分,改善煤粉燃烧环境,减缓风管及相关配件的烧结程度,提升其服役寿命。风帽在燃烧区经受煤气、火焰的烧蚀,烧损较为严重,使用寿命较短,更换频繁。传统的风帽采用树脂砂铸造工艺制作,材料为耐热不锈钢 A297HK。在制造生产中需要工装辅具多,工艺技术水平高,树脂砂产生轻度污染,生产效率低和生产成本高等问题。采用消失模铸造工艺,在真空负压下,金属液渗透到硅石砂涂料砂粒间隙内[1],形成金属与硅砂耐热烧结陶瓷层,并与风帽金属本体相复合,制成耐烧蚀复合材料风帽,如图 1。同时也避免了树脂砂铸造工艺存在的诸多问题。



1- 风帽本体;材料为 A297HK;2- 风帽外表层;材料为金属和砂粒烧结陶瓷层;层厚 2.0~2.5 mm

图 1 耐烧蚀复合材料风帽
Fig.1 The ablative composite material hood

1 试验设备与材料

1.1 试验设备

熔炼金属炉料的设备为 0.3 t 中频感应炉,坩埚材料选用镁铝尖晶石[2]。它具有耐火度高,耐激冷激热性能好和抗渣浸性好等优点[3]。电阻丝切割泡沫

收稿日期:2020-03-13
基金项目:国防基础科研计划资助项目(JCKYS2019602004);国家十三五预研项目(30105200103)
作者简介:郭在在(1985-),女,山东烟台人,研究生,副研究员.主要从事金属材料制备的研究工作.
电话:15165777302,E-mail:guozaizai@163.com

模型；底抽式真空砂箱；一维振动台；SK-12 水环式真空泵系统；小型球磨机；远红外烘烤间；塞杆式浇注钢包；津岛快速化学分析仪；铼钨热电偶。

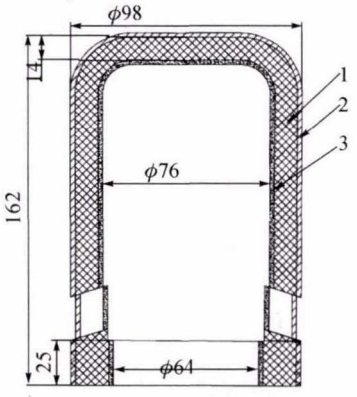
1.2 试验材料

风帽模型材料为聚苯乙烯板材，密度为 0.016~0.020 g/cm^3，适宜管状形模型制作且价格便宜[4]。模型涂料悬浮剂为粉状纤维素，粘结剂为白乳胶，耐火材料分别为粒度 10~12 目的硅石砂和粒度 200~270 目的镁砂粉，均按比例加入自来水中，搅拌均匀，粘度适宜。金属炉料的废钢、铁合金、镍板和脱氧剂均按传统的耐热不锈钢的选材和配料。

2 结果与分析

2.1 风帽模型制备及涂料

风帽模型铸造缩率 2.0%，采用电阻丝切割成型。在模型外表面涂刷硅石砂涂料，层厚 2.0~3.0 mm；内表面涂刷镁砂粉涂料，层厚1.6~2.0 mm。在 58~60 ℃下烘干透彻。风帽模型如图 2。



1- 泡沫风帽模型；2- 硅石砂涂料层；3- 镁砂粉涂料层

图 2 风帽模型图

Fig.2 The pattern of hood

2.2 风帽模型装箱及覆砂

在底抽式真空砂箱内布置 3 个直浇道浇注系统，其截面尺寸 30 mm×30 mm，之间用石棉板相隔。每个直浇道放置 23 件干燥风帽模型，立式浇注，模型口向上，吃砂量大于 100 mm。横浇道截面尺寸 25 mm×25 mm，内浇道截面尺寸 9 mm×9 mm。型砂为干燥石英砂，粒度 6~7 目。浇道、模型间的连接用镶嵌方式，对接严密，不许露白。其它按传统覆砂工艺操作。

2.3 金属熔炼、浇注与风帽铸件冷却

除按传统铸钢熔炼工艺操作外，耐热不锈钢熔炼的化学成分控制，脱氧方法，钢温控制，浇注方式及铸件冷速关键工艺对产品内在质量，合金元素烧损，抗烧蚀性能及其使用寿命的影响较为重要。

2.3.1 材料

风帽金属本体材料为 A297HK，化学成分 w(%) 为0.20~0.60 C，Si ≤2.00，Mn ≤2.00，Mo ≤0.50，24.00~28.00 Cr，18.00~22.00 Ni，P ≤0.040，S ≤0.040，其中贵重金属 Cr、Ni 和 C 均按下限配料。碳含量高会形成铬的碳化物（$Cr_{23}C_6$），易在晶界上析出，产生晶间腐蚀现象[5]。

2.3.2 沉淀脱氧、扩散脱氧和终脱氧处理

炉料熔炼会产生较多的氧化物（Cr_2O_3，FeO），脱氧处理对减少钢中夹杂物极其重要。当炉料熔清后，按先锰铁后硅铁加入顺序进行沉淀脱氧操作，接着向熔池分两批加入炉料量的 0.30%硅铁粉和 0.20%硅钙粉扩散脱氧，钢液出炉前再加入炉料量 0.10%铝块进行终脱氧处理。脱氧产物 MnO 和 SiO_2 结合成低熔点硅酸锰，易从钢中排除，起到净化钢液的作用，同时铬被还原，提高了其收得率。

2.3.3 控制钢液出炉及浇注温度

结合生产经验和公式[5]：

$$T_{熔}=1\,536-\Sigma\Delta t\cdot x\%,℃$$

式中，1 536 纯铁熔点，℃；Δt 钢中某元素增加含量 1%时熔点降低值，℃；x%该元素重量百分含量，%。

钢液出炉温度 1 580~1 600 ℃，浇注温度 1 530~1 550 ℃。提高钢液出炉温度，既可改善耐热不锈钢液粘度大流动性差的问题，又为调整钢液镇静时间和浇注速度留下了余地。钢液浇注温度略高，既能提高其充填模型的能力，又可在真空负压下浇注，有益于增加其渗入硅石砂涂料砂粒间隙渗层的深度。

2.3.4 钢液浇注和铸件冷却

钢包烘烤温度≥800 ℃。采用钢渣混出，钢液在包中镇静 3 分钟左右。测钢温 1 530~1 550 ℃开始浇注。砂箱抽真空 -0.05~ -0.06 MPa。钢液分别依次注满各个浇注系统的浇口杯。浇注时，出现砂箱泄压，将型砂、塑料薄膜依次快速覆盖漏气处，负压值即可恢复。为防止砂箱塌箱，砂箱内应维持负压值 -0.02~ -0.03 MPa。

风帽铸件凝固后即出箱空冷，不仅防止碳化物聚集析出[5]，还能因热胀冷缩涂料与铸件分离而掉落，使其清除量明显减少。

2.4 铸件清理与检验

风帽铸件的内壁、口端面和排风口的表面残留的涂料和型砂清除掉，便于安装和使用。

经检验风帽的耐烧蚀陶瓷层厚度 2.0~2.5 mm，与风帽金属本体结合牢固。内外型尺寸符合其图样

(下转第 468 页)

通过这些数据可以看到，在指定的造型线上，随着铸件重量 G 的增加，内浇道截面积 A_3、横浇道截面积 A_2 也随之加大，k_2、k_1 则随之减小，h_2 也随之减小。

当 $\sqrt{\frac{H}{h_3}k_2^2-k_2^2-1}<0$ 时，k_1 无解。如表 1 所示，铸件重量 75 kg 时，k_1 无解。

当 h_2 小于直浇道长度时，有增加夹渣卷气的风险，将不再适用，需要更改直浇道尺寸。如表 1，铸件重量 55 kg 以上时，h_2 小于 12 cm，不满足设计要求。这也是迁就固定尺寸直浇道的不足。

当生产小重量铸件时，会出现 A_2 尺寸很小，h_2 较大的情况，这使得横浇道流速增加，不利于熔渣上浮。这种情况下可以做成阻流式浇注系统，加大横浇道尺寸，并局部增加缓流搭接，通过阻流片的面积来控制流速。从浇口杯到阻流片这一段封闭性强，有利于挡渣。从阻流片流出的金属液进入宽大的横浇道，流速减慢，有利于渣子上浮[2]。或是增加每箱铸件数量，来解决这一问题。

可以将表 1 中的计算结果做成曲线，以方便使用，如图 2。

有新品需设计工艺时，可以直接从曲线上选取相应的浇道尺寸来使用。

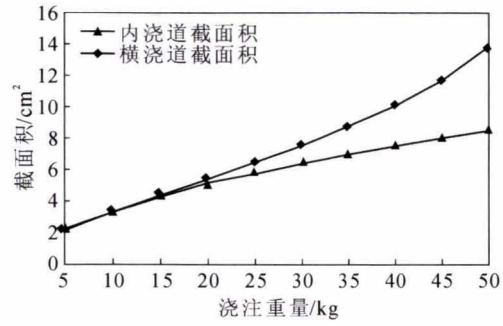


图 2 截面积-浇注重量曲线

Fig.2 Sectional area pouring weight curve

(H=20 cm，A_1=9.62 cm²，h_3=10 cm，直浇道长度 12 cm，μ_1=0.6、μ_2=0.6、μ_3=0.55)

5 结语

通过这一设计方法，可以使用同一直浇道实现一定范围内的不同产品，均能达到内浇道出流速度合理，且浇注过程中浇道呈充满状态的设计要求。

本方法不强调浇注系统是封闭式还是开放式，也不需要预先选择浇注系统各单元截面比，改为选定内浇道压头、校核横浇道压头来设计浇注系统。使计算过程更具有合理性。

参考文献：

[1] 魏兵，袁森，张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，1998.

[2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册铸造工艺卷 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.

(上接第 465 页)

要求。

2.5 装机考核

耐烧蚀复合材料风帽经内蒙古京能某电厂装机使用考核，抵抗锅炉煤粉燃烧烧损性能良好，使用寿命是金属风帽的 1.3 倍以上。

3 结论

(1)采用消失模真空吸铸工艺，高温钢液铸渗到风帽模型涂料层的硅石砂砂粒间隙内，产生化学与机械粘砂，形成了厚度 2.0~2.5 mm 金属与砂粒的耐烧蚀陶瓷层，并与风帽金属本体结合牢固。其熔点高，风帽的抗高温烧蚀性能好。

(2)耐烧蚀复合材料风帽在火电厂锅炉设备内，先被烧损的是其表面的陶瓷层，后往金属本体内里烧损，从而延长了被烧损的时间，其使用寿命是金属风帽的 1.3 倍以上。

(3)与树脂砂铸造工艺比，消失模铸造生产耐烧蚀复合材料风帽所需设备与辅具少，操作技术简单，耐烧蚀陶瓷层厚度较深，生产成本低和生产效率高，推广应用前景看好。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会铸造专业学会，铸造手册·铸造工艺[M]. 北京: 机械工艺出版社，1994.

[2] A. M. Alper, High Temperature Oxides, Academic Press U.S.A. [M]. 1960, 273-284.

[3] 谢敬佩，李卫，宋延沛，等. 耐磨铸钢及熔炼[M]. 北京: 机械工艺出版社，2003.

[4] 郭在在，曹剑武，牟晓明，等. 一种镶嵌铸铁管的石墨内衬板制造方法[J]. 铸造技术，2018，39(12):100-102.

[5] 大冶钢厂，电炉钢生产[M]. 北京: 冶金工业出版社，1977.