DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.11.008

含氮耐热钢衬板铸造工艺实践

刘建宏,张　静,柯文武
(中钢集团 西安重机有限公司,陕西 西安 710201)

摘　要:为提高 ZG35Cr24Ni8Si2N 焦罐衬板的质量和经济性,通过研究焦罐衬板的使用工况和结构特点,制定了针对这种含氮耐热钢的合金成分、熔炼工艺和串铸立浇工艺,并对该薄板零件采取了加"×"防变形筋措施,生产出了尺寸和性能符合要求的产品。还对单铸试样、本体试样分别进行了铸态和退火态的力学性能试验,分析退火处理及 N 含量对力学性能的影响。结果表明,熔炼时将 N 含量向下限控制,按照所述工艺浇注,可以铸态交货,保证产品的力学性能,提高出品率和合格率。

关键词:焦罐衬板;耐热钢;含氮钢 ZG35Cr24Ni8Si2N
中图分类号:TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)11-0961-03

Practice of Casting Technology of Nitrogenous Heat-resistance Steel Liners

LIU Jianhong, ZHANG Jing, KE Wenwu
(Sinosteel Xi'an Machinery Co., Ltd., Xi'an 710201, China)

Abstract: In order to improve the quality and economy of ZG35Cr24Ni8Si2N coke pot lining plate, by studying the working conditions and structural characteristics of the coke pot lining plate, the smelting process and the casting process of series vertical casting for the control alloy composition of the nitrogenous heat-resistant steel were developed, and the measures of adding "×" anti-deformation bars to the thin plate parts were taken, the size and performance of products could meet the requirements. The effects of annealing treatment and N content on the mechanical properties of single cast and bulk specimens were analyzed. The results show that the mechanical properties of the product can be guaranteed and the yield and pass rate can be improved by controlling the N content to the lower limit, pouring according to the described process and delivering the product as cast.

Key words: coke hoper liner; heat-resistant steel; nitrogen steel ZG35Cr24Ni8Si2N

干熄焦设备中,焦罐装焦时的温度约为950～1 050 ℃,有时达到 1 100 ℃,卸焦后温度降到约150～250 ℃,约 10 min 交替一次,且暴露在空气中,冷热跨度大、交替频繁,处于热应力大、易氧化、受冲击磨损的恶劣工况。因此焦罐内壁使用的铸造衬板容易出现局部微裂纹,严重时裂纹扩展成贯穿性裂缝,直至完全断裂报废,致使衬板寿命短,有的部位仅 2 个月左右,整机频繁停机维修[1]。为了在现有设备技术条件下提高焦罐衬板的质量并提高经济性,有必要对其熔炼和浇注工艺进行研究探讨。

1　技术分析

焦罐衬板为铸件,常用材质 ZG35Cr24Ni8Si2N,即旧牌号 ZG35Cr24Ni7SiN,其化学成分见表 1[2]。该材质具有良好的高温抗氧化性、耐磨性、耐蚀性,以及很高的的高温强度和韧性以及优良的铸造性能[3]。

公司承制的一批 ZG35Cr24Ni8Si2N 焦罐衬板,共 9 种规格 72 件,形状有长条形、近似正方形及直角梯形等,其中最大尺寸为 880 mm,壁厚为 15 mm,周围有 15 mm 高的筋条,边缘厚度为 30 mm。计算最大重量 64 kg,最小重量 30 kg。总体来看,这批衬板为薄壁大尺寸板类零件,以往铸后或使用一段时间后偶有开裂现象。为了保证成品率及上线使用寿命,要对熔炼和浇注工艺进行优化,提高钢液纯净度,减少铸件非金属夹杂物[4]。

2　铸造工艺

2.1　熔炼

根据钢液量,本次采用 5 t 中频感应炉熔炼,共两炉。该材质合金元素种类多且含量大,各种元素烧损情况不一样,收得率差异大,而且有 N,烧损情况较难确定,因此要制定严格的加料制度。按感应炉的熔炼规程,先加入大部分中碳铬铁,待熔化后,加入

收稿日期:2021-08-27
作者简介:刘建宏(1971—),陕西富县人,工程硕士,正高级工程师.主要从事冶金设备研发方面的工作.
电话:029-86969255, Email:liujh@xamm.com

表 1 ZG35Cr24Ni8Si2N 的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of ZG35Cr24Ni8Si2N steel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
0.30～0.40	1.30～2.00	0.80～1.50	≤0.03	≤0.03	23.00～25.50	7.00～8.50	0.22～0.28

废钢、镍板、钼铁等，熔清后分析成分，调整其他合金。熔化后期加高氮铬铁增 N，出钢前加纯铝脱氧。由于 Al 会与钢中的 N 作用生成 AlN，通过熔渣排出，损失一部分 N，因此加 Al 量和加 N 量的比例和时机非常重要。我们依据已有的经验，选择含 N 量 8%的高氮铬铁，N 按 55%收得率计算加入，加 Al 后掌握时机快速出钢浇注，有效控制了铸件的含 N 量，消除了传统工艺的不利影响。

2.2 砂型及防变形

2.2.1 收缩率

该材质冶炼温度和浇注温度都比碳钢高很多，而且导热性差，铸件收缩倾向大，易产生裂纹。为保证铸件尺寸，制作木模时收缩率取资料推荐 1.8%～2.5%的较大值，选择了 2.3%。

2.2.2 防变形

该批薄壁铸件的周边设计了与壁厚等高的筋条，为了更有效抑制铸后变形，我们还增加了“×”型拉筋。

2.2.3 浇冒口系统

该批衬板壁薄，件数多，如按常规采用实样平躺造型，一箱一件或多件放置，虽能保证充型完整，但每一件都需要各自的浇冒口系统，工艺出品率低，生产周期较长。研究确定采用封闭式浇注系统，串铸立浇工艺[5]。

单个铸件的直浇道、横浇道和内浇道之比为 1.35:1:1，将衬板打成一块块砂芯立起来靠在一起，每块下端做出两道内浇道，断面尺寸 20 mm×30 mm，上端做出冒口。砂芯之间共用一条横浇道，断面尺寸 30 mm×40 mm。由于衬板本体壁厚只有 15 mm，钢液凝固时间很短，因此设计冒口时主要考虑出气聚渣作用，尺寸确定为 40 mm×(80～100)mm×(150～300)mm，各冒口排放后砂型高低一致。

经核算，串铸立浇工艺可将工艺出品率从 65%提高到约 80%，可节约造型材料和提高工效。该工艺的单块示意见图 1。

2.3 浇注

该材质含 Cr 高，钢液粘度大，流动性较差，加上一箱多件浇注，因此出钢温度要高于常规，最终控制在 1 650～1 670 ℃，浇注温度控制在 1 600～1 620 ℃，而且浇注速度要快，时间控制在 50 s 以内。为使钢液纯净，浇注前钢液在钢包内镇定 4~6 min，使

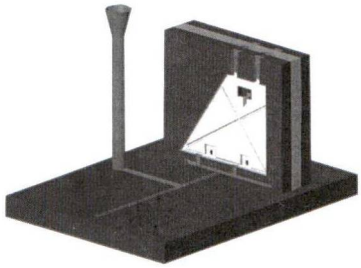


图 1 衬板浇冒口系统示意图
Fig.1 Schematic gating and risering system of liner

夹杂物充分上浮，在浇注过程中，给型腔充入氩气保护浇注气氛，防止二次氧化[6]。

2.4 清理

该产品属于壁薄件，保温 24 h 后即可打箱进行清理，铸件表面光整，棱角分明，没有浇不足的现象，如图 2。冒口和浇道切割打磨后，没有发现缩孔、裂纹等现象。



图 2 铸造带浇冒口衬板
Fig.2 Cast liners with gating and risering system

3 性能分析

3.1 外观及尺寸检验

铸件尺寸满足要求，表面没有浇不足，缺肉和缩孔缺陷，不需要做焊补修复。“×”型拉筋防变形效果较之前“#”型拉筋好，没有目测可见的变形。

经检验，铸件尺寸基本都接近下差。以 880 mm 尺寸为例，打磨减少了 3～5 mm，实得产品测量值为 875～880 mm。可见要想实体尺寸走上差，收缩率应选取的稍高些，比如按资料推荐范围的上限 2.5%，尺寸将会更理想。

3.2 化学成分分析

对两炉浇注的铸件进行化学成分分析，结果如表 2。

可以看出，所有元素均控制在范围内，其中 N 含量接近甚至达到上限，符合标准，说明控 N 比较精确。关于 N 对钢材性能的影响，一般认为与碳、磷相似，随着含量增加，钢材强度提高，而塑性特别是

表2 铸件化学成分 w(%)

Tab.2 chemical composition of the cast liner

炉号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
1	0.38	1.94	1.03	0.029	0.011	24.13	7.03	0.27
2	0.32	1.76	0.99	0.027	0.009	23.51	7.29	0.28

韧性显著降低，可焊性变差，冷脆性加剧，即“蓝脆”现象，随后的机械性能试验也验证了这一点。

3.3 力学性能试验

材质 ZG35Cr24Ni8Si2N 通常在不进行热处理的情况下以铸态交货，为了做力学性能对比试验，两炉共浇注了 8 件单铸试块，6 件做 850 ℃常规退火处理，2 件保持铸态。分别加工成拉伸试棒并进行力学性能试验，结果如表 3。考虑到单铸试块的个体差异，又从第 2 炉铸件上切取试块制成本体试样，加工成拉伸试棒并再次进行机械性能试验，结果如表 4。各样块金相组织检查发现，铸件非金属夹杂物控制较好。

表 3 单铸试块力学性能

Tab.3 Mechanical properties of single casting samples

炉号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率(%)	组织状态
理论值	≥340	≥540	≥12.0	
1	435	575	5.0	铸态
1	545	705	2.5	退火态
2	445	615	8.0	铸态
2	530	640	2.5	退火态

表 4 本体试块力学性能

Tab.4 Mechanical performance of separated casting sample

炉号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率(%)	组织状态
2	400	640	10.0	铸态
2	400	660	11.5	退火态

可以看出，与铸态相比，退火后屈服强度明显提高，抗拉强度稍有提高，伸长率明显降低。这是因为高温退火后部分奥氏体转变为铁素体和珠光体，强度升高，韧性下降。

其实关于耐热钢铸态与退火态性能的对比，资料显示类似材质 ZG40Cr25Ni20Si2 也有相同结论，数据如表 5。

从本次试验结果还可看出，对ZG35Cr24Ni8Si2N铸件在多种条件下试验的伸长率均未达标准值，即使本体试样，虽好于单铸试样很多，也未达到，这应该与含 N 量达到上限有关。另外，用 5 t 中频感应炉冶炼高合金耐热钢，虽可保证钢液的主要化学成分，但还达不到精炼效果，纯净度难以保证，这也会有影响。

表5 铸态与退火态力学性能比较

Tab.5 mechanical performance comparison between after casting and after annealing

炉号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率(%)	组织状态
理论值	≥235	≥440	≥8.0	
A	276	418	14.4	铸态
A	390	502	4.0	退火态
B	310	452	13.6	铸态
B	439	534	4.0	退火态

针对伸长率偏低问题，用户在以往的衬板备件验收中也遇到过，但没有明显影响使用，因此对此试验结果表示接受。最终该批产品以铸态交货，并在使用 3 个月后得到反馈，状况良好。

4 结论

(1)中频感应炉熔炼时 N 含量应适当偏离上限向下控制，配料时 N 元素的收得率可按 65%计算，以免 N 含量偏高韧性下降。

(2)串铸立浇工艺适合件数多、单重轻的薄板类铸件，出品率不低于 80%，能提高生产效率。

(3)高温退火后强度会升高，但韧性下降，不利于整体力学性能的提高。

(4)按该工艺铸造，用“×”型拉筋防变形效果优于用“#”型拉筋。

参考文献：

[1] 杨会芳. 耐热铸钢衬板的缺陷分析及应用 [J]. 科技信息，2011(5):100,135.

[2] JB/T,6403-2017,大型耐热钢铸件 技术条件[S].

[3] 张世杰，刘晓丹，周永伏. 新型奥氏体钢高温耐热合金热震性能研究[J]. 铸造，2014,63(1):71-74.

[4] 李平.铸钢冷却壁的铸造工艺[J].铸造技术，2011,32(4):446-448.

[5] 连炜，魏兵，范金辉. 铸件热节变化与冒口位置的分析[J]. 铸造技术，2004,25(11):811-812.

[6] 孟茂生，苏成举，赵合社，等. 引进炉卷轧机卷筒筒体的铸造[J]. 热加工工艺，2004(11):72-73.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2022 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号:52-64　国外发行号:M855　国内定价:25 元/本　海外定价:25 美元/本