

感应炉熔炼铸铁常见问题及对策

钱 立

(河北工业大学, 天津 300021)

摘要: 感应炉熔炼铸铁的过程中, 往往会发生化学成分、金相组织不符合要求和铸造缺陷等质量问题。一些企业在感应炉系统的选用和炉衬材料使用上也存在一些问题。文中对常见的问题进行了分析, 并提出了解决的方法或方案。

关键词: 铸铁; 熔炼; 感应炉; 质量

中图分类号: TG274.53 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4977 (2015) 02-0181-03

Problems and Countermeasures in Cast Iron Melting Using Induction Furnace

QIAN Li

(Hebei University of Technology, Tianjin 300021, China)

Abstract: Quality problems frequently occur during the melting of cast iron using induction furnace, such as the unqualified chemical composition and metallographic structure, and some casting defects. There are also some problems in selection and using of induction furnace system and lining materials. In this paper, the problems above were analyzed and the related countermeasures were put forward.

Key words: cast iron; melting; induction furnace; quality

感应炉熔炼铸铁的工作中, 出现的问题较多。笔者根据多年的实践和调查, 将其整理成十六个问题, 逐一进行分析探讨, 供读者参考。

1 元素烧损偏大

感应炉中Si、Mn、Cr等易氧化元素的烧损, 多在3%~5%。烧损超值, 铸铁化学成分波动, 必然要引起一系列的组织和性能问题。元素烧损大, 一般发生在熔清时间过长, 又未注意造渣保护的时候。若废钢用量大, 轻薄料多, 炉料带水带锈, 问题更是加重。避免元素烧损过大的办法是: ①炉料尽量干净, 形状不要枝叉, 尺寸不能过大、过薄; ②杜绝架料, 并创造一切能快熔的条件; ③熔炼前期要及时造渣, 后期高温下有熔渣覆盖, 充分发挥熔渣的保护作用; ④避免铁液过度过热; ⑤如果工厂有切屑要利用, 炉底可铺一些, 熔清向熔池分批添加一些。

2 铁液中氧偏高

感应炉没有冲天炉的氧化性气氛, 而且由于铁液中的[O]和[FeO]与[C]产生反应, 使Fe受到了C的保护, 铁液中的溶氧是不多的(数据见第6章)。可是熔炼后

期为了促使增C剂溶吸, 常调低电频率以加强熔池搅动。如果“驼峰”过高, 调频时间过长, 铁液与大气接触几率增加, 被离解的O离子将进入铁液。熔炼后期添加料未经烘烤, 也会使[O]、[H]增加。近期, 有业内人士提出: “在1500℃以上保温, [O]不会降低, 而是提高。”的观点, 可供参考。防止O偏高的办法是: ①熔炼后期调频不要过度; ②后期不要使用潮湿的物料和工具; ③过热温度不要过高, 切忌高温下长时间保温。

3 铁液碳量低于预期

铁液温度超过平衡温度, 反应 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ 向右进行, 造成铁液降C增Si。所以配料时不能忘了补C。要掌握本厂的降C量, 把C量如数补足。还要提醒一点, 灰铸铁后期调整成分, 要采取先Mn再C后Si的顺序。

4 铸件机加工后, 发现有裂隙状气孔

裂隙状气孔是N气孔的特征。当[N]超限(如薄壁件 $>100 \times 10^{-6}$, 厚壁件 $>80 \times 10^{-6}$)时容易发生, 铁液中非金属夹杂物多, 发生的几率更高。所以要限制电弧

收稿日期: 2014-12-08。

作者简介: 钱立(1936-), 男, 教授, 研究方向为铸铁熔炼。E-mail: aisc_2006@163.com

炉废钢用量,电弧炉废钢的[N]高,而转炉废钢则不然。更要防止混入含N高的废合金钢料,如高锰钢、耐热的高铬铁素体钢和铬锰氮钢,以及奥氏体钢等。当然这些合金钢带来的Mn、Cr、N、Ni对于铁素体球铁也是忌讳的。不同增C剂的含N量差别很大,煅烧石油焦的N量要比人造石墨增C剂高出许多,取某两种产品比较其含N量,前者为 500×10^{-6} ,后者仅为 $(20 \sim 25) \times 10^{-6}$ 。SiC含N量比人造石墨的还少,用之也是放心的。若发现铁液中N量高,应当机立断,用Ti(Fe)、Al、Zr(Fe)等进行固N处理。

必须说明,裂隙状气孔当然要防,但并不是N越低越好。对于灰铸铁,N可缩短石墨长度,有使石墨端部圆滑的趋势,N溶于固溶体可促使珠光体细化,并增加珠光体数量。N还有孕育作用,促进石墨化。因此,可溶性N对灰铸铁有利用价值。在美国GE特殊合金灰铸铁的技术要求中,规定N量在 $(60 \sim 120) \times 10^{-6}$,Ti要限制在0.025%以下。埃肯公司在谈到汽车行业中灰铸铁时,认为[N]的理想含量是 $(95 \sim 160) \times 10^{-6}$,并指出不要用Ti、Al、Zr进行固N。

5 同炉铁液,浇出的铸件化学成分不同

分次出铁或浇注拖沓都会引起化学成分的波动,铁液过热度大时尤其突出。铁液达到预定温度后,务必迅速一次出尽铁液。如果造型线对铁液的需求不足,被迫出部分铁液,先后出铁的化学成分就会不同。在安排作业计划和调度天车时,一定要使熔化与造型的供需趋于平衡。在车间设计时,应充分考虑到供需平衡和供需调节的灵活性:用一个较大容量的感应炉供两条或几条造型生产线使用,不如选一个较小容量的感应炉对应一条生产线为好。

6 灰铸铁孕育效果不佳

在一些工厂,灰铸铁孕育效果不好,即使多加孕育剂亦无济于事。这与感应炉铁液中的O、S含量低有关。不同资料,数据虽有出入,但很接近:[O] $< 10 \times 10^{-6}$, $< 15 \times 10^{-6}$,在 20×10^{-6} 左右;[S] $< 0.06\%$, $< 0.05\%$,在 $0.02\% \sim 0.04\%$ 。基本的解决办法是用FeS系增S剂,把S提高至 $0.07\% \sim 0.10\%$ 。少数工厂后期还加增O剂,例如用海绵铁或烧结铁或切屑,使[O]达到 30×10^{-6} 以上。亦有工厂使用氧硫孕育剂。这些方法无非是生成氧硫化物,起石墨核心的作用。必须指出,在低S铁液中,形成的石墨是比较容易消失的。这恐怕也是低S灰铸铁铁液“孕育不上”的一个原因。

关于MnS,长期以来,常说MnS是石墨的核心。然而人们在显微镜下观察,不乏淡灰蓝色的MnS质点。因此MnS是否是石墨核心,在什么条件下才能成为核

心,需要实证。况且,灰铸铁中常有 $0.6\% \sim 1.2\%$ 的Mn,增S至 $0.07\% \sim 0.10\%$,这些含量的S是远不足以满足 $Mn=1.73S$ 的平衡需要的。显然该S不是为了去平衡Mn,不是为了生成简单的化合物MnS去起什么核心作用,S与O只有与更活泼的元素,如Ba、Ce、Zr、Al等一起生成硫氧化物,才能起到石墨的外来核心作用。

7 球墨铸铁球化等级波动大

某厂球墨铸铁的球化等级出现较大波动。经分析检查,原铁液S分别为0.01991%,0.02872%,0.02399%,0.02660%,0.03338%,0.03885%,0.01559%,含量起伏伏,球化自然不稳定。只有加强管理,稳住了原铁液S含量,球化质量才可能稳定。

笔者了解到一个乡镇企业,原来用冲天炉生产低铬磨球,后来改用感应炉,低铬磨球继续生产,又接了球墨铸铁任务。炉子合用,既不分用炉体,又不懂得洗炉。球化反应,光烟俱有,液面亦窜“火苗”,但浇出的铸件有碳化物,石墨球稀少,基体组织面目全非。经整顿,严格炉料管理,灰铸铁和球墨铸铁的回炉料不再相混,分炉体熔炼,问题就解决了。

8 石墨球数较少,球径大小不匀

金相组织中有球出现,说明残Mg量没问题。问题出在孕育不好或孕育衰退,如果铸件未产生白口,说明孕育差距尚不大。就熔炼而言,应该使用人造石墨增C剂布控好石墨核心。业内人士推荐SiC比人造石墨更好。并指出SiC质轻,易上浮,且表面有SiO₂膜阻隔,延缓溶解。因此,SiC在加料期加入为好。喂丝法处理,孕育务必要在球化结束后,稍滞后进行,以免孕育加速衰退。

常常有人问到,石墨球数以多少为合适。在球墨铸铁标准中,对石墨球数未作规定。根据石墨大小6级推算,大体球数 > 150 个/mm²。ADI的工艺控制中规定石墨球数不低于100个/mm²。

对于石墨增C剂,容易从直觉上与碳素增C剂相区别的。但近年来发现,直觉判断为石墨增C剂,但使用效果却不好。看来,今后制定增C剂标准需要仔细推敲。

9 铸件切削加工性能不好

切削加工性能是一个复杂的命题,涉及被加工对象、刀具、切削工艺参数和操作者对加工性能优劣的认知等。仅就铸铁而言,切削加工性不好,可能是多方面的原因:①有自由渗碳体,②有硬质点(如磷化物,钛化物…),③有未熔尽的FeSi,④铁素体球墨铸铁中残留珠光体量多,⑤在热节处因RE偏聚引起的反

白口，不一而足。读者利用基本的专业知识，“对症下药，即可药到病止”。

10 残Mg量在0.06%以上，铸件无白口

一般中等壁厚件，残Mg量在0.035%~0.045%即可球化。光谱分析出残Mg量在0.06%以上，金相检验又无白口，说明该厂光谱分析出了问题。光谱分析一定要经常用标样校正，用化学分析法作比对。光谱分析样的制备和打磨要认真按规程去做。Mg、P、C和S对操作手法很敏感，不可大意。

11 球墨铸铁的冲击韧度低

铁素体球墨铸铁和等温淬火球墨铸铁中的QTD800-10R（需方有要求时）对V型缺口试样的最小冲击功有规定。若冲击功达不到要求，必须报废。确定其化学成分很关键，以铁素体球墨铸铁中的QT350-22L和QT400-18L为例，要求低P低Mn，并对Si量作相应的限制。这些专业性问题，在此从略。从熔炼角度看，应：①选用碳素废钢，并使用一定量的铸造用高纯生铁；②把炉前处理做好。这样即可防患于未然。

12 出现不明原因的毛病

有时候，觉得生产中什么也没变，铸件却出了问题。怎么去深入找原因？建议运用先进的检测手段，比如用光谱仪检测微量元素，用氧氮仪测总氧量和总氮量，用能谱分析检查相成分，用X射线衍射对结构进行分析等。本厂若做不了，应委托有关单位去做。然后请专家一起进行诊断。

13 熔炼时间长，电耗高

熔炼时间长，电耗高，通常是感应炉先天不足造成的。进入21世纪，中频感应炉发展很快。随着可控硅技术和电力电容器技术的发展，串联储能型中频炉异军突起；“可控硅串联的一拖二运行”理念深入人心。球墨铸铁吨电耗可低于570 kWh，而传统并联中频炉，吨电耗在800 kWh以上。

调查发现，有的企业从变电站到中频电源，再经过铜排及电缆到炉体系统，每一环上都有无谓的电能浪费。亟须通过技术改造，节能增效。笔者对“电”不甚了解，铸造厂可找供应商作更新改造，亦可以在原有并联设备的基础上请其作专项改进。

14 炉龄低

熔炼灰铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁采用酸性炉衬材料，由石英岩破碎过筛后的石英砂为其骨料。石英岩遍布全国各地，但由于地质年代和成矿条件的不同，质地并不相同。精制石英砂应该：①SiO₂含量大于98%；②伴生碱性金属氧化物小于0.2%，Fe₂O₃小于0.5%，Al₂O₃小于0.5%；③地质年代久远。此种石英的晶格完整，缺陷少，晶粒均匀。

炉衬质量事关炉龄和生产安全性，也影响铁液的纯净度和产量，千万不要捡便宜的买，应该上网搜一搜，找好的公司，它们的产品粒度有合理级配，矿化剂用量会根据用户实际情况进行调整，对烧结和养护能提供技术支持。必须指出，第一炉铁液的液面位置、最高温度和保持时间等对炉龄很重要。烧结温度应高于1550℃，以保证烧结层中石英完成方石英化。液面应处于炉口高度附近，使坩埚内表面上下烧结一致。

15 感应炉内的“大象脚”现象

所谓“大象脚”是指坩埚内腔底部，有一圈向内凹陷，呈大象脚状。它是熔化期架料，底部熔池过热，使炉衬中的SiO₂与铁液中的C反应，造成该处炉衬严重侵蚀所致。炉子容量大，炉子底部所受的铁液静压力大，更容易出现“大象脚”。对策是：①不许胡乱加料，不许用大料，不许用整个废铸件；②勤通料，助炉料下行；③发现有“大象脚”倾向，应及时进行修补。

16 感应炉出现的一些小问题

炉子的小问题都出在电气系统和机械系统的零配件方面。购炉子不能贪图便宜，购炉时要了解供应商的资质和口碑。一流的供应商会根据铸造厂的情况，提出详细的项目书，其中对电源部分、炉子部分和选购部分列有清单，对外构件及辅机配套厂也有明白的交代。三流的供应商往往除炉子本体自制外，其余是串组起来的。与他们打交道，购货要注意细节。要问清楚可控硅、控制板、集成块、元器件、绝缘材料以及缸泵的来源，还要检查线圈水循环系统的接头是否可靠、水温能否巡查报警、有无漏电报警、电路系统是否防结露等等。以上各点有所疏忽，炉子工作起来就会频繁出毛病，耽误生产，带来经济损失。

（编辑：张允华，zyh@foundryworld.com）

（选自《铸造》2015年第2期）