

勺头铸件的生产应用研究

陕西华县金堆城铝业集团有限公司机电修配厂 (714102) 李志翔 王献丽 刘耀武

近年来,随着选矿厂给矿条件的不断改善及处理矿量的逐年增大,勺头类高锰钢耐磨铸件的工况条件随之发生显著变化,由强冲击磨损变为强摩擦磨损,其使用寿命逐年下降。通过本项目研究,研究一种更经济,且适应工况条件改变的高强度合金蠕墨铸铁,以实现大幅度降低生产成本,提高安全运行的目的。

一、试验的各工序过程研究

1. 成分优化试验

众所周知,材质的性能是由其金相组织所决定的,金相组织又是由其化学成分和铸造工艺决定的。

高强度合金蠕墨铸铁化学成分取 $w_C = 2.8\% \sim 3.2\%$ 、 $w_{Si} = 2.8\% \sim 3.2\%$ 、 $w_{Mn} = 2.1\% \sim 2.4\%$ 、 $w_{Mo} = 0.2\% \sim 0.4\%$ 、 $w_B = 0.01\% \sim 0.02\%$ 。经正交试验,并借鉴生产复相球墨铸铁磨球的成分优化经验,得优化后材质成分如表 1 所示。

表 1 优化后的材质化学成分(质量分数)(%)

C	Si	Mn	Mo	B
3.0	3.0	2.2	0.2	0.01

2. 熔炼工艺控制

采用 750kg 中频感应电炉熔炼,并进行炉前蠕化、孕育处理。加料顺序及操作要点:严格按正常加料顺序加料,即先加生铁、废钢,待炉料熔清扒渣,出炉前 10~15min 加入锰铁,3~5min 后加入硅铁,球化剂、孕育剂在包内加入,注入铁液后充分搅拌,以防止成分偏析;之后加入集渣材料,使铁液充分洁净。另外,应注意的是,所有加入的合金料都应预先在炉口预热。出铁温度:1500~1550℃,最佳控制点为 1550℃。

3. 埋箱工艺

勺头铸件结构如图 1 所示。

通过对勺头结构进行分析,确定勺头模样在砂

箱中所处的位置如图 2 所示。

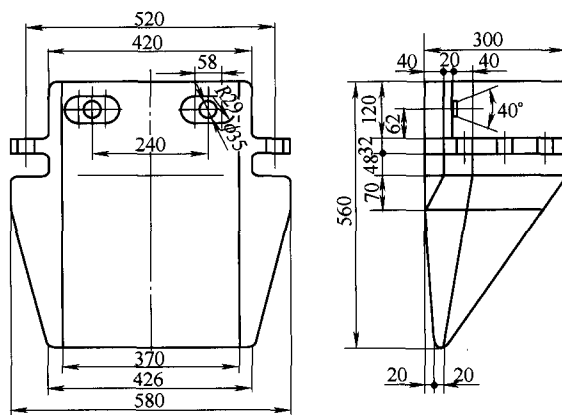


图 1 勺头铸件结构

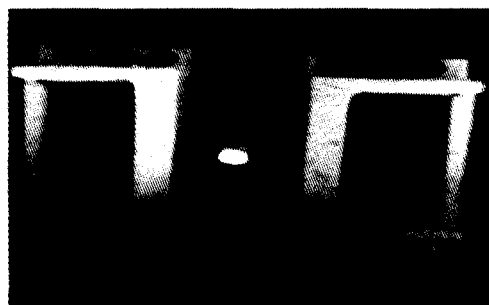


图 2 勺头泡沫塑料模样

采用该埋箱工艺,可保障铁液平稳充型,泡沫塑料模样气化排气通畅,确保形成最佳温度梯度,有利于铸件的有效补缩。

4. 浇注工艺

(1) 铸件连接之间的浇冒口系统设计,是保证无缩孔、缩松,合格铸件产出的最关键控制手段,经反复试验优化方案如图 2 所示。

(2) 浇注温度控制,是保障泡沫塑料模样充分气化,铸件有效补缩的关键参数,经研究,控制为 1350~1380℃。

(3) 采用冲入法进行蠕化处理,处理过程在堤坝式浇包内进行,蠕化剂选用稀土硅铁镁合金,粒

度要求在 8~10mm, 加入量为 1.5%~2.0% (根据铁液中硫量高低而调整)。

(4) 孕育剂采用 75SiFe, 粒度为 8~10mm, 孕育剂加入量为 0.9%~1.3%。

(5) 处理后的铁液, 先浇注三角试块, 观察断口, 若蠕化良好, 则可进行浇注。否则, 应加强孕育或浇注灰铸铁件。

5. 打箱、清理工艺

通过此工艺研究, 保障铸件在砂型内有充足的保温时间, 以消除铸件成形时所产生各种应力, 避免铸件产生开裂、变形等缺陷。通过多年生产经验总结, 结合本次研究结果分析, 确定最佳打箱、清理时间是铸件保温 24h 后进行。

6. 热处理工艺

本项目研究在箱式电阻炉中加热, 采用了两种淬火方式, 水玻璃溶液模拟等温淬火和风机强冷淬火, 经相关数据分析, 优化后的最佳热处理工艺方案如图 3 所示。

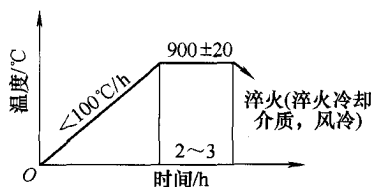


图 3 勺头淬火工艺

(1) 水玻璃溶液模拟等温淬火工艺 ①淬火冷却介质采用水玻璃溶液, 水玻璃原液要求模数 $M = 1.25 \sim 2.4$, 杂质含量 $< 1\%$ 。②加水后配成的淬火冷却介质密度应保持在 $1.12 \sim 1.14 \text{ g/cm}^3$ 。③水玻璃淬火冷却介质的理想使用温度为 $20 \sim 60^\circ\text{C}$, 极限使用温度不得高于 70°C 、低于 10°C 。为保证淬火冷却介质温度在使用时不升高, 淬火池需不断搅拌, 待温度冷却均匀后, 方能再次出炉淬火。

(2) 风机强风淬火工艺 ①淬火冷却介质采用高速流动空气。②风机正对加热后工件进行强风冷却。③为保证淬火组织的均匀性, 要求不断翻动工件。

(3) 淬火后工件的回火工艺如图 4 所示。

高强度合金蠕墨铸铁经水溶性介质淬火或强风冷却处理后其基体组织主要为马氏体、托氏体, 同时含少量残留奥氏体和碳化物。此时的高强度合金蠕墨铸铁组织较不稳定, 内应力很大, 因而强度较低, 脆性较大。为此, 淬火后必须对其进行回火处

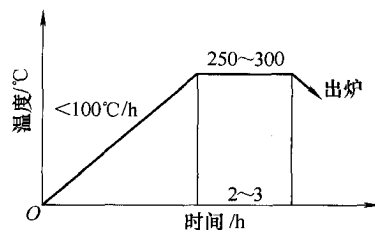


图 4 勺头回火工艺

理, 以便消除应力, 稳定组织, 适当降低硬度, 从而获得良好的韧性。回火过程首先是残留奥氏体的转变, 转变产物与回火温度有关, 其次是马氏体的分解过程。通常情况下, 回火温度在 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 时, 残留奥氏体的减少只有 2% 左右。这说明, 硅锰合金蠕墨铸铁经淬火后其残留奥氏体的稳定性很好。

二、试验方法及结果分析

1. 试验方法

(1) 工艺性试验 先后开炉 3 炉次, 主要实现对熔炼成分、铁液温度的最佳控制及生产勺头方法的确定, 对 3 个试样进行了金相检验、冲击试验、解剖宏观观察等试验, 并对一件试验产品进行了破坏性试验。

(2) 工业性试验 将一组 (两件) 产品在百花岑选矿厂 6" 球磨机上进行了 5 个多月的工业性试验。

本次试验所采用试样为同炉浇注、同炉热处理。

2. 性能及组织分析

(1) 力学性能分析 高强度合金蠕墨铸铁材料之所以具有较好的韧性和较高的硬度, 是由金相显微组织是马氏体、托氏体混合组织所决定的。铸态和经过不同热处理的试样, 其硬度值见表 2, 冲击韧度见表 3。

表 2 不同热处理态下蠕墨铸铁的硬度值 (HRC)

状 态	铸态	等温淬火	强风冷却
硬度 HRC (10 点平均值)	21.7	57	26.5

表 3 不同热处理态下蠕墨铸铁的冲击韧度

状 态	铸态	等温淬火	强风冷却
冲击韧度 $a_k / \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	6.16	5.94	8.62

由表 2、表 3 可见, 经强风冷却 + 回火处理后的试样与铸态试样相比, 硬度略微提高, 但是冲击韧度明显提高, 这是因为强风冷却只是对基体组织进行了细化, 而基体组织的类型仍然是以珠光体型组织为主。强风冷却后的试样保持了铸态时的托氏体

石墨形态恶化, 补充孕育后可得到改善。

2. 缩孔、缩松影响因素及预防措施

碳当量低会增加缩孔、缩松倾向。磷共晶削弱凝固外壳强度, 三元磷共晶减少石墨化膨胀, 因此含磷量高将显著增大缩松倾向。钼增加碳化物稳定性, 尤其在高磷条件下易形成碳化物-磷共晶复合物, 更增加缩松、缩孔倾向。残留镁量过高增大缩松、缩孔倾向, 适量残留稀土量可减少缩松, 过高也增大二者倾向。因此, 应提高铁液碳当量, 降低磷含量, 在保证球化条件下尽量降低稀土镁残留量, 并合理使用钼。提高铸型刚度, 如高压造型、树脂砂型、金属型覆膜砂等可减少缩孔和缩松。同时提高铁液碳当量, 适当降低浇注温度, 采用薄而宽的内浇道使其在二次膨胀前凝固封闭, 利用石墨化膨胀补偿铁液液态收缩和凝固收缩, 均可以消除缩孔、缩松。

3. 皮下气孔预防措施

(1) 浇注温度不得低于 1300℃。残留镁量高时, 还应相应提高浇注温度。在保证蠕化条件下尽量降低残留镁量, 适当使用稀土。

(2) 采用开放式多流道浇注系统, 使铁液平稳充入型腔, 避免在型腔内翻动, 控制型砂水分 <5.5%, 配入煤粉 8%~15% 可燃烧生成 CO, 抑制水气与镁反应形成 H₂ (铸型表面喷涂锭子油也可起同样作用)。

(3) 铸型表面撒冰晶石粉, 高温下与水蒸汽反应形成 HF 气体, 保护铁液免受气体侵入, 同时应严格控制铁液含铝量, 炉料干燥少锈, 冲天炉除湿送风, 减少铁液中气体, 采用少氮或无氮树脂砂等。

4. 应力变形和裂纹防止措施

适当提高碳当量, 降低含磷量, 加强孕育及必要的铸型工艺措施。

5. 夹渣影响因素及预防措施

形成一次夹渣的重要原因是原铁液含硫量高, 氧化严重。根本预防措施是降低原铁液硫、氧含量, 提高温度。另外, 安设过滤网可阻止一次渣进入型腔。

生成二次渣的主要原因是残留镁量过高, 提高了氧化膜形成温度。主要措施是在保证蠕化条件下尽量降低残留镁量 (中小件不超过 0.055%), 加入适量稀土可降低氧化膜形成温度。蠕化处理时加

0.16% 冰晶石, 处理后表面再撒入 0.30%, 用以稀释渣并生成 AlF₃ 气体和 MgF₂ 膜, 以减少二次氧化。这种方法主要用于防止大件的夹渣, 浇注温度不得低于 1300℃, 使浇注温度高于氧化膜形成温度, 可防止二次渣形成。浇注系统设计应使铁液充型平稳, 易出现夹砂部位需设置排渣冒口。

四、效益分析

对于勺头铸件, 采用高强度合金蠕墨铸铁时的生产成本为 4400 元/t, 而采用高锰钢时生产成本为 7000 元/t, 相比降低了 2600 元/t。经实际工况条件下使用证明, 本项目产品使用寿命可达 5 个半月, 与高锰钢产品寿命 3~4 个月相比, 工作寿命延长了 45~75 天, 减少了停机检修次数, 具有较好的经济效益和社会效益。

五、结语

本项目通过对国内生产技术现状的调研, 采用由小型试验过渡到生产试验的研究方法, 优化出了勺头铸件生产方案, 并确定了确保高质量铸件产出的工艺措施, 以及防止缺陷的措施。其主要结论如下。

(1) 本项目研究和应用的高强度合金蠕墨铸铁勺头, 最佳化学成分 $w_C = 3.0\%$ 、 $w_{Si} = 3.0\%$ 、 $w_{Mn} = 2.2\%$ 、 $w_{Mo} = 0.2\%$ 、 $w_B = 0.01\%$ 。配合消失模铸造和蠕化处理, 可以得到: ①比较理想的金相显微组织, 基体为马氏体、托氏体的复相组织, 少量锰的碳化物分布均匀, 碳化物数量为 5% 左右。②较好的抗磨性能和较高的冲击韧度 ($a_K > 5J/cm^2$) 及多冲疲劳性能。③硬度 > 55HRC。

(2) 上述金相组织和性能的获得是多种元素和特定的工艺条件共同作用的结果, 其中: ①含碳量取下限, 有利于形成蠕虫状石墨。②较高的含硅量, 有利于抑制锰碳化物的形成, 提高了材料的韧性。硅的最佳含量为 $w_C = 2.8\% \sim 3.2\%$ 。③淬火态下马氏体、托氏体复相组织的形成, 是该材质获得高耐磨性的决定因素。④消失模铸造的顺序凝固, 使勺头组织致密, 性能改善。

(3) 本项目研究的勺头, 在 $\phi 3.6m \times 4m$ 球磨机湿磨条件下应用具有良好的效果, 使用寿命长达 5 个月以上, 较好地完成了项目研究目标。MW

(20120511)