DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.014

齿轮座铸件生产工艺与夹渣缺陷分析以及解决对策

柯志敏,陈鹏辉
(广东中天创展球铁有限公司,广东 英德 513000)

摘　要:分析了齿轮座铸件的技术要求及生产难点,提出了齿轮座铸件铸造造型、熔炼工艺及其他各工艺参数的选择与控制,以及球化和孕育处理的管控方法;探讨了铸件夹渣缺陷的形成原因,提出了提高浇注温度、增加过滤网、管控冷铁等对策。结果表明,通过附铸试块的金相、力学性能以及超声波探伤检测,各指标均符合客户的技术质量要求,实现了质量稳定生产。

关键词:夹渣缺陷;浇注温度;力学性能;金相组织

中图分类号:TG255;TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)12-1156-05

Production Process, Slag Defect Analysis and Countermeasures of Gear Base Casting

KE Zhimin, CHEN Penghui
(Guangdong Zhongtian Chuangzhan Ductile Iron Co., Ltd., Yingde 513000, China)

Abstract: The technical requirements and production difficulties of gear housing castings were analyzed, and the selection and control of casting modeling, melting process and other technological parameters of gear housing castings were put forward, as well as the control methods of spheroidization and inoculation treatment. The causes of slag inclusion defects in castings were discussed, and some countermeasures were put forward, such as increasing casting temperature, increasing filter net and controlling iron chiller. The results show that by means of the metallographic, mechanical properties and ultrasonic inspection of the attached casting test block, all the indexes meet the technical quality requirements of customers, and the stable quality production is achieved.

Key words: slag inclusion defect; pouring temperature; mechanical properties; metallographic structure

齿轮座铸件技术要求:材质为QT400-18RT,化学成分中要求硅含量小于2.0%,采用附铸试块验收:抗拉强度≥370 MPa,屈服强度≥240 MPa,伸长率≥12%;金相组织检验参照GB/T9441-2009《球墨铸铁金相检验》,球化率不低于90%。同时铸件进行超声波探伤,齿轮座铸件不允许出现冷隔、夹砂、气孔、砂眼、缩孔、粗晶等缺陷。齿轮座铸件(见图1)主要壁厚为100~108 mm,重2 055 kg。

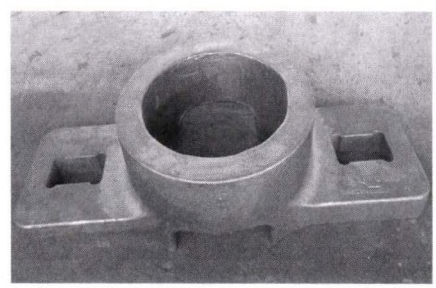


图1 齿轮座铸件图
Fig.1 Gear base casting diagram

1 铸造工艺

型砂选用呋喃树脂砂,控制砂型(芯)强度σ_b≥0.98 MPa,造型用砂箱刚性要好,铸型吃砂量要够大,保证铸型整体刚性,一方面避免产生型壁位移、缩孔、缩松缺陷,另一方面降低粘砂、冲砂等缺陷,砂型在底面放置冷铁、圆孔内放置直碰的随形冷铁。

采用开放式浇注系统设计,保证浇注平稳并防止铁液中夹杂进入,直浇道使用瓷管,瓷管与横浇道连接采用过道。铸造工艺参数:直浇道ϕ90 mm陶瓷管1个;横浇道70/90 mm×130 mm;内浇道ϕ30 mm陶瓷管10个;ϕ90 mm×120 mm冷铁5共28块,均匀布置,间距30~50 mm;140 mm×160 mm×100 mm

收稿日期:2020-08-25

作者简介:柯志敏(1980-),福建莆田人,高级工程师.主要从事铸铁铸造工艺设计、材料开发及技术质量管理方面的工作.电话:0763-2606118,
E-mail:24613705@qq.com

随形冷铁 6 均匀布置共 8 块；200 mm×150 mm×70 mm 随形冷铁 6 均匀布置共 16 块，ϕ90 mm×120 mm 冷铁 8 均匀布置共 12 块，ϕ90 mm×120 mm 冷铁 10 共 56 块，均匀布置，间距 30~50 mm；楔形冒口 11：冒口颈 100 mm×20 mm×20 mm；冒口顶 120 mm×120 mm；整个高度 500 mm。

2 熔炼工艺

2.1 炉料的选择

QT400-18RT 为高伸长率的球铁牌号，要求原铁液中 Cr、Mn、Mo 等形成碳化物的合金元素相对要低，并要求其中的干扰元素尽可能低，不使用回炉料，因为经过一次球化处理一些微量元素亦会发生变化，所以应采用干扰元素含量低的原材料，使用 20%~30%高纯生铁 +70%~80%优质废钢。

2.2 化学成分的选择

球墨铸铁的含碳量一般为 3.2%~3.8%，牌号为 QT400-18RT 的球铁含碳量取上限；硅是强烈促进石墨化的元素，增加石墨球数，可硅太高会增加球墨铸铁的脆性，为此硅含量控制在 2.0%左右，为了强孕育的需要，初定原铁液硅含量为 0.9%~1.0%；锰阻碍石墨化及阻碍铁素体的形成，影响伸率，为此锰含量越低越好；磷易偏析形成磷共晶，降低塑性和韧性；而残余镁和稀土一般是通过球化剂球化后残余留下的，具有强烈形成白口的倾向，因此，在保证球化合格的前提下越低越好。综上分析确定齿轮座的原铁液化学成分为 w (%)：3.8~3.9 C，0.9~1.0 Si，0.2~0.3 Mn，≤0.05 P，≤0.02 S 。

2.3 球化及孕育处理

2.3.1 球化处理

采用 5 t 炉中频感应电炉熔炼，加料顺序：加增碳剂→加废钢→加增碳剂，增碳剂随废钢分多批次加入；选择堤坝式球化包，冲入法的球化处理方式。依据我司实际的生产情况，选择堤坝式球化包，采取包内冲入工艺进行球化孕育处理，具体的操作如下：将球化剂各自放入包底一侧的凹坑内→其上面覆盖一次孕育剂→孕育剂上再覆盖一层覆盖剂，注意控制覆盖剂的紧实度及厚度，不能太厚或太薄，避免影响球化反应的起始时间。

2.3.2 孕育处理

球化处理是球铁生产的基础，孕育处理是球铁生产的关键，孕育效果决定了石墨球的直径、石墨球数和石墨球的园整度，孕育处理越接近浇注，孕育效果越好，为了保证孕育效果，孕育处理采用多级孕育，一般 Ca、Ba 的硅基复合长效孕育剂，最终确定如下孕育处理工艺：在包底加入 0.3%~0.5%(一次孕育)，出水过程加入 0.4%~0.5%(二次孕育)，最后在浇注的过程中用专用的硅粉斗加入 0.10%~0.15%粒度为 0.2~0.7 mm 的硫氧孕育剂。

2.4 浇注工艺控制

浇注应采用快浇，平稳注入的原则，为了提高瞬时孕育的均匀性及防止熔渣进入型腔，浇口杯内铁液要充满状态，并浇注过程将硫氧孕育剂随着铁液流一起进入型腔，使铁液与孕育剂充分混合，避免硫氧孕育剂漂浮在浇口杯内的铁液表面。

3 试样制备

在所浇注的铸件中随机取 2 件铸件附铸试块，2 块附铸试块的编号分别为 A1、A2，将附铸试块加工成国标要求的试棒尺寸(如图 2)，检查力学性能和金相组织，并对试块进行理化分析，获取试块的化学成分如表 1；力学性能采用 WA-600KD 型电液式万能试验机测试；试棒截取 ϕ20 mm×15 mm 试样，在 XJG-05 大型显微镜检查组织；用 DHB3000 布氏硬度实验机测量试块硬度。

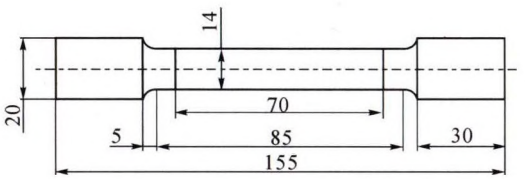


图 2 拉伸试棒尺寸

Fig.2 The dimensions of tensile sample

4 试验结果及分析

4.1 附铸试块力学性能和化学成分

表 1 是附铸试块的化学成分结果，表 2 为附铸试块力学性能结果。

表1 附铸试块化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of cast-on sample block

附铸试块编号	C	Si	Mn	P	S	RE	Mg
A1	3.57	1.98	0.22	0.022	0.010	0.005 9	0.045
A2	3.58	2.00	0.23	0.023	0.009	0.005 5	0.047

表2 附铸试块力学性能

Tab.2 Mechanical properties of attached cast specimen

附铸试块编号	Rm/MPa	Rp0.2/MPa	A(%)	硬度试验 (HBW)
A1	383	246	25.5	126
A2	379	241	26.0	130

表 1、表 2 中附铸试块的力学性能和化学成分结果表明：附铸试块的化学成分和力学性能均符合齿轮座铸件技术要求。

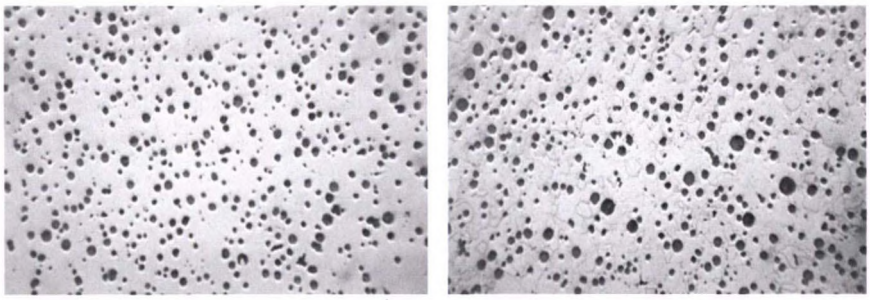
4.2 附铸试块的金相组织

附铸试块 A1、A2 的金相组织如图 3、图 4 所示：附铸试块 A1 的球化率为 95%，石墨数量 200 个/mm²，石墨大小为 6 级，经过 4%的硝酸溶液腐蚀后基体中铁素体含量大于 98%；附铸试块 A2 球化率为 95%，石墨数量 200 个 /mm²，石墨大小为 6 级，腐蚀后基体中铁素体含量大于 98%，具体金相组织参数如表 3 所示。

表3 附铸试块金相组织

Tab.3 Metallographic structure of accessory casting block

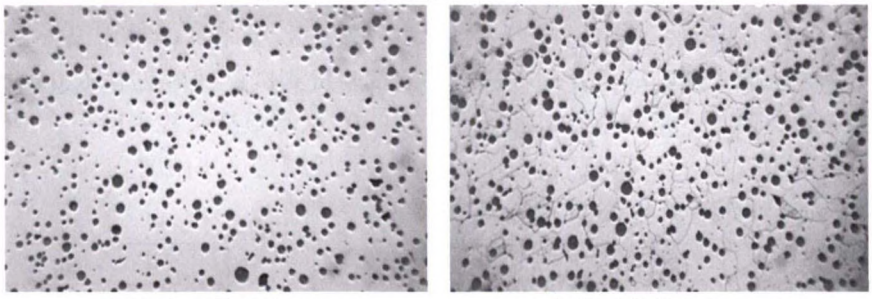
附铸试块编号	球化率(%)	石墨大小	石墨球数量个 /mm²	铁素体含量(%)	碳化物(%)
A1	95	6	200	98	0
A2	95	6	200	98	0



(a)腐蚀前石墨形态 ×100　　(b)腐蚀后基体组织 ×100

图 3 附铸试块 A1 金相

Fig.3 Metallography of cast-on block A1



(a)腐蚀前石墨形态 ×100　　(b)腐蚀后基体组织 ×100

图 4 附铸试块 A2 金相组织

Fig.4 Metallography of cast-on block A2

4.3 超声波检测

对这两件铸件进行超声波检测，发现附铸 A1 的本体铸件其反射率低，振幅不高，波形通常为树枝状，主峰上有小峰，当探头平移时，波的幅度改变，并且反射波振幅与每个方向不同；根据经验判断，该件铸件存在铸造缺陷，另一铸件正常。

5 夹渣缺陷的产生原因及改进措施

通过对 A1 铸件的部位进行金相分析，从金相图上和铸件上发现该位置存在夹渣缺陷，如图 5。

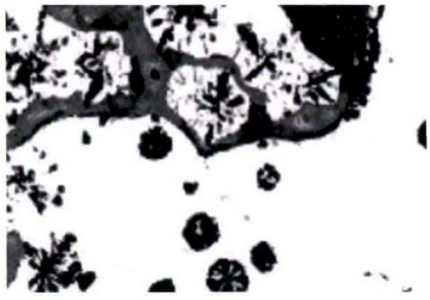


图 5 齿轮座铸件上表面夹渣缺陷金相图

Fig.5 Metallograph of slag inclusion on the upper surface of gear housing casting

5.1 夹渣产生的原因

夹渣是球墨铸铁常见铸造缺陷，能使球铁金属组织的连续性遭到破坏，还使其塑性、韧性和疲劳强度下降，夹渣从其形成的时间先后来看可分为一次夹渣和二次夹渣两种类型，形成渣的原因很多，根据我司的生产条件以及原材料的管控，可以排除原材料潮湿、夹带异物、生锈等可能，特别是残余镁和残余稀土对夹渣产生影响很大，一般情况下随着残镁量的增多，促进了氧化膜的生成，夹渣缺陷也越加严重，稀土元素跟残余镁有着类似的效果，也可使夹渣产生的几率加大，但从表 1 附铸试块化学成分可知，残余镁和残余稀土都在一个比较低的范围，而且各元素的偏差都在允许范围内。所以下文着重分析浇注温度、浇注系统以及冷铁对夹渣产生的影响。

浇注温度的高低对夹渣影响较大，图 6 表明：浇注温度过高或过低都容易产生缺陷。浇注温度太低时，浇注过程中液体金属的粘度高，使各种氧

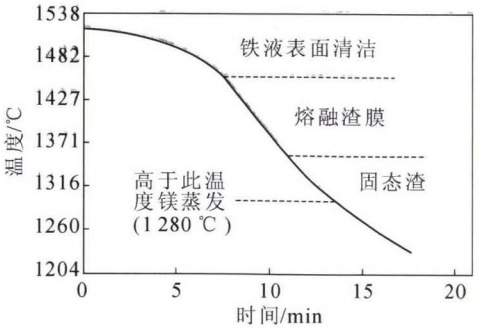


图 6 浇注温度与熔渣的关系

Fig.6 Relationship between pouring temperature and slag

化物、硫化物不易上浮至表面，同时液体金属凝固较快，熔渣很容易残留在铸件中形成夹渣；随着温度的升高，夹渣物上浮的时间加长，有利于夹渣物的排除，但随着温度的进一步提高，夹渣又会出现，这可能是由于液体金属表面的炉渣变得太稀薄粘稠，不易从液体表面去除，从而随铁液流入型腔；另外，在高温浇注后，铁液还会进一步生成硫化镁，硫化镁不易逸出铸件容易形成夹渣。当前工艺齿轮座铸件的浇注温度一般控制在 1 300~1 340 ℃，一般情况一包水浇注 3 件，也就意味着最后一箱的浇注温度在 1 300 ℃以下，这样的温度对渣的上浮是不利的。

齿轮座铸件采用开放式的浇注系统，开放式浇注系统的横浇道宽而扁，是希望渣尽早浮到横浇道顶面，粘住夹渣物，而且该浇注系统的内浇道的铁液流速低，铁液进入型腔相对平稳，不易造成紊流与冲砂，从而减少夹渣缺陷的产生，但是在实际浇注过程中由于浇注人员的操作问题往往很多时候浇口杯内的铁水是不充满的状态，加之挡渣人员挡渣的操作不当，所以很容易导致氧化膜进入浇口杯，氧化膜在铁水的冲刷下破碎进入型腔，从而导致夹渣缺陷的产生。

齿轮座铸型放置了大量的冷铁，也有直碰的随形冷铁，而冷铁的质量对铸件的影响很大，由于冷铁浇注过程中要求不高，加上在每次使用后的收集工作也存在问题，导致冷铁夹渣、气孔、冷隔等缺陷产生，加之冷铁使用次数的管控难度比较大，冷铁使用次数过多，冷铁激冷能力下降，而且容易产生渣气孔缺陷，最终导致铸件本身出现夹渣、气孔等缺陷产生的几率大大增加。

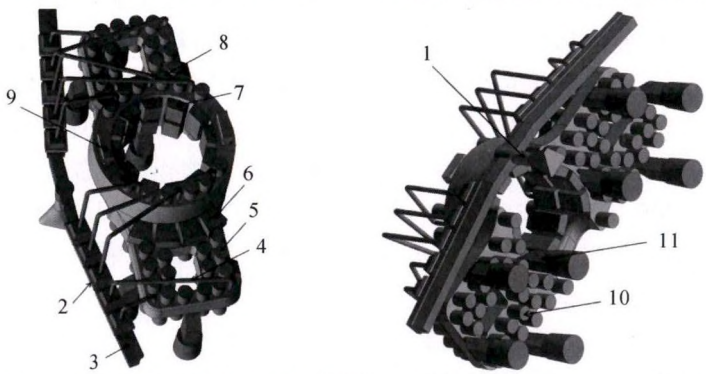
5.2 夹渣缺陷的改进措施

5.2.1 适当提高浇注温度

浇注温度低，铁液流动性差，导致铁液变得粘稠，从而导致夹渣物上浮困难，在夹渣物还没有来得及上浮至表面时，铁水已经凝固。适当提高浇注温度，有利于铸件补缩，还有利于夹渣物的上浮，经过试验，把齿轮座的浇注温度提高至 1 360~1 380 ℃。

5.2.2 浇注系统中增加过滤网

齿轮座铸件依旧采用开放式的浇注系统，但在横浇道末端设置集渣包，并在横浇道与内浇道的连接处增加尺寸为 150 mm×150 mm×32 mm 泡沫陶瓷过滤网 10 块（如图 7），减少浇注过程大块渣进入型腔。



1- 直浇道；2- 过滤器；3- 横浇道；4- 内浇道；5- 圆冷铁；6- 外随形冷铁；7- 内随形冷铁；8- 圆冷铁；9- 附铸试块；10- 圆冷铁；11- 冒口

图 7 齿轮座铸造工艺图

Fig.7 Casting process diagram of gear housing

5.2.3 控制冷铁质量

使用合格的冷铁，严格限制冷铁使用次数，一般控制在 5 次以内，为确保冷铁表面的光洁度，不能有锈蚀及孔洞，或将冷铁使用面机加工，把接触铸件的端面铣切一刀。冷铁在使用前进行烘烤，但要注意烘烤温度及烘烤时间。

6 改进后的效果

采用以上措施连续生产 18 件齿轮座铸件，铸件没有再出现上表面部位夹渣的缺陷，改进有效，超声波探伤检测全部合格。

7 结论

齿轮座铸件球铁牌号为 QT400-18RT，表明齿

（下转第 1164 页）

(a)t=5.62 s (b)t=8.54 s (c)t=12.36 s

图 7 优化后不同时间下凝固过程固相率

Fig.7 Solid phase ratio during solidification at different times after optimization

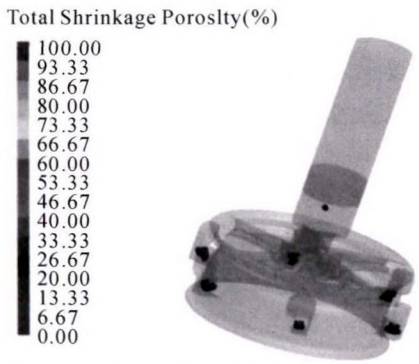


图 8 优化工艺方案后缩松缩孔分布图

Fig.8 Shrinkage porosity distribution after casting parameters optimization

4 结论

(1)利用数值模拟方法模拟铝合金轮毂挤压铸造的填充和凝固过程的温度、液相率和收缩孔隙率,预测轮毂中可能存在缺陷的位置,并对其原因进行分析,可为随后的工艺改进提供基础。

(2)通过对原始工艺方案的分析,提出对浇口和压室结构的改进、减小挤压速度增加保压时间以及在轮辋周边缘均匀分布 6 个集渣槽,该方案可以使铝液充型平稳,充型过程无气体卷入。铸件在凝固时从轮辋最高点(铸件最薄处)顺序向轮毂中心处凝固,并且将缩松、缩孔缺陷转移到集渣槽,消除了原始铸造工艺中存在的缺陷。

(3)采用数值模拟的方法对原始铸造工艺中存在的缺陷进行分析,并对工艺中存在的不合理处进行优化,可以有效的减少试制次数,减少生产成本,其优化后的结果表明,铝液充型平稳,铸件的缩松缩孔得到了明显的改善。

参考文献:

[1] 张立君,范云波,赵洁,等. 挤压铸造重型车辆铝合金轮毂组织和性能研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2020, 43(5):112-116.

[2] 苏大为. 铝合金汽车轮毂低压铸造过程的数值模拟及工艺优化[D]. 江苏大学, 2008.

[3] 白清华. 低压铸造大型壁厚不均铸件缩松的解决 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(5):434-435,388.

[4] 冯喜瑞. 低压铸造在大型薄壁航空铝合金铸件上的应用研究[D]. 南昌大学, 2007.

[5] 齐丕骧. 挤压铸造技术的最新发展 [J]. 特种铸造及有色合金, 2007(9):688-694,653.

[6] 罗继相,李敏华. 挤压铸件品质的综合控制[J]. 特种铸造及有色合金, 2006(11):715-718,677-678.

[7] 罗继相. 我国挤压铸造技术的回顾及展望[J]. 铸造, 2003(1):1-6.

(上接第 1159 页)

轮座铸件具有一定的强度和高度伸长率,要想生产出满足要求的齿轮座铸件,就必须设计合理的铸造造型工艺,严格控制其化学成分、合理的球化孕育处理工艺以及严格遵守浇注工艺。

设计合理的浇注系统、放置合格的冷铁、控制好浇注温度就能减少减轻齿轮座铸件出现夹渣缺陷的几率。

参考文献:

[1] 王尧. 高强度高塑性球墨铸铁车辆制动用杠杆的研制[D]. 芜湖:安徽工程大学, 2019.

[2] 郭双桥. 复合粉体对 QT400-18 力学性能影响的研究[D].大连:大连交通大学,2018.

[3] 柯志敏,陈鹏辉. 使用不同球化剂生产 QT400-18 渣灌的对比试验[J]. 铸造设备与工艺, 2018(2):27-29.

[4] 占连扬,刘柯,杨友杰,等. 球墨铸铁 QT400-18 的石墨球化率对超声声速的影响[J]. 无损检测, 2017, 39(11):36-38.

[5] 姜广杰. 高韧铁素体球墨铸铁组织及性能的研究[D]. 镇江:江苏科技大学, 2017.