DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.010

# 铸态 QT600-8 球铁的研制

齐　基,张　军,郑言彪,文　宏
(湖北省机电研究设计院股份有限公司,湖北 武汉 430070)

**摘　要**:通过合理设计化学成分,完善球化、孕育处理工艺,严格控制熔炼过程和生产工艺,探索在铸态下获得QT600-8 高强度高韧性球墨铸铁件。

**关键词**:合金化;QT600;球墨铸铁

**中图分类号**: TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)12-1145-03

## Research and Preparation of As-cast QT600-8 Ductile Iron

QI Ji, ZHANG Jun, ZHENG Yanbiao, WEN Hong
(Hubei Mechanical and Electrical Research and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

**Abstract**: The QT600-8 ductile cast iron with high strength and toughness was explored and prepared by designing the chemical composition reasonably, perfecting the spheroidization and inoculation treatment technology, strictly controlling the melting process and production technology.

**Key words**: alloy; QT600; ductile iron

随着轨道交通的技术进步，列车朝着高速、安全、环保、经济及良好的舒适性等方向发展。列车制动系统中的夹钳、吊架等关键零部件对高强度、高伸长率材料综合性能提出了越来越高的要求。以往选用的 QT500-7、QT600-3 等传统球墨铸铁材料,一般是低强度高伸长率或是高强度低伸长率,已经不能很好的满足使用要求[1]。因此,我公司与协作单位展开技术研究和实验,探索在铸态下获得高强度高韧性球墨铸铁 QT600-8,其性能指标为:抗拉强度≥600 MPa,伸长率≥8%。

## 1　实验内容

选取优质生铁，按铸件的化学成分要求配入 20-35 号废钢、增碳剂及经过抛丸处理的球铁回炉料。采用 FeSiMg8Re3 作球化剂，包内孕育剂选用 75SiFe，二次孕育及随流孕育采用自行配制的复合孕育剂,强化孕育效果。

为保证铁液质量，采用 0.5 t 中频电炉熔炼,要求炉膛内洁净,无残留合金铁液。采用直读光谱仪和热分析仪进行光谱分析和热分析,对炉前铁液质量进行精确控制,铁液质量稳定,化学成分波动小。铁液出炉温度为 1 500~1 520 ℃，采用堤坝坑式处理包、冲入法进行球化孕育处理。球化处理完毕,转入浇包进行浇注,浇注时采取多次孕育处理。表 1 为铁液化学成分[2]。

**表1 铁液化学成分表 $w$(%)**
**Tab.1 Chemical composition of the molten iron**

| C | Si | Mn | S | P | Cu | Mg | RE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.5~3.8 | 2.3~2.8 | <0.5 | ≤0.02 | ≤0.03 | 0.3~0.8 | 0.035~0.055 | 0.02~0.04 |

## 2　实验方法

Y 型试块，与所代表的铸件以同一批量的铁液浇注,并在每包铁液浇注后期浇注,其尺寸如图 1(a)所示。抗拉试样,均在 Y 型试块的剖面线部位或铸件本体上切取,其加工尺寸如图 1(b)所示[3]。采用直读光谱仪、微机屏显式液压万能试验机、布氏硬度计、金相显微镜分别进行检测分析。

## 3　实验结果与分析

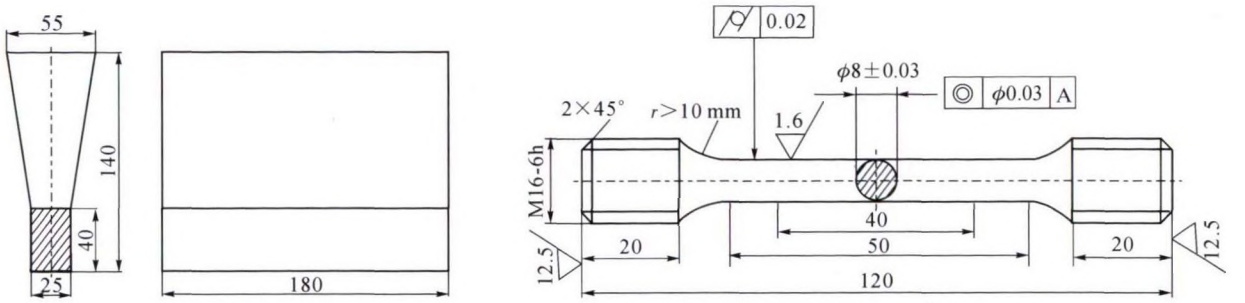
按照以上制定的熔炼工艺方案熔化铁液，然后浇注 Y 型试块和铸件样品。经检测,试块和铸件本体采样试棒力学性能均达到设计要求。表 2 为试棒力学性能测试结果。表 3 为试棒金相组织统计结果。图 2 为试棒的金相组织。

### 3.1　合金元素 Cu 的影响

当 Mn 含量保持 0.25%~0.30%不变时，不同含铜量对铸态球墨铸铁力学性能的影响如图 3 所示。随着含铜量的增加,材料的抗拉强度 $\sigma_b$ 有明显的提高，而断后伸长率 $\delta$ 有一定程度的下降。分析原因

**收稿日期**:2020-07-28

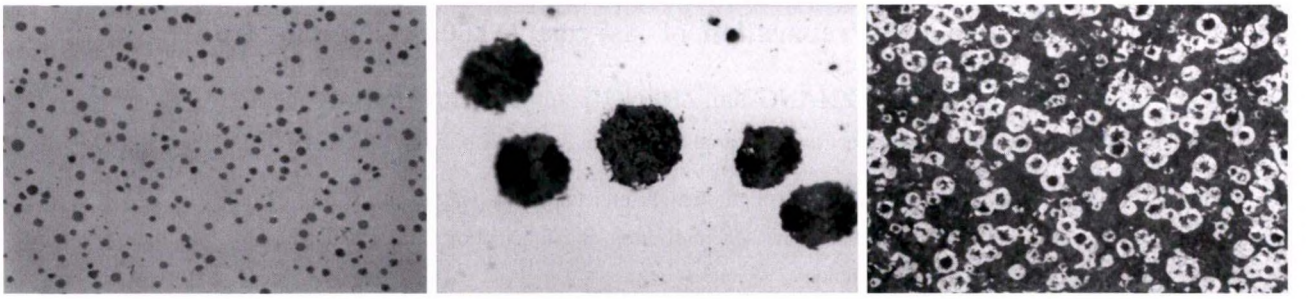
**作者简介**:齐　基(1985- ),湖北武汉人,硕士,工程师.主要从事球墨铸铁材料技术研究与生产方面的工作.
电话:027-87867875,E-mail:50477089@qq.com




(a)Y型试块　　(b)抗拉试样

图 1 Y 型试块和抗拉试样尺寸

Fig.1 Size of Y-shaped test sample and tensile specimen



(a)石墨球(低倍)　　(b)石墨球(高倍)　　(c)金相组织(低倍)

图 2 试样的金相组织

Fig.2 Metallographic structure of the specimens

**表2 试棒力学性能统计表**

**Tab.2 Statistical table of mechanical properties of tensile test results**

| 抗拉强度 /MPa | 伸长率(%) | 硬度(HB) |
|---|---|---|
| 600~680 | 8~12 | 170~230 |

**表3 试棒金相组织统计表**

**Tab.3 Statistical table of Metallographic structure of OM specimens**

| 球化级别 | 球径大小 | 基体组织 | 珠光体(%) |
|---|---|---|---|
| 1~3 级 | 6~7 级 | 珠光体+铁素体 | 40~65 |

为,Cu 在共晶转变时,促进石墨化,减少或消除游离渗碳体的形成；在共析转变时，促进珠光体的形成,且对基体起固溶强化作用[4]。试验结果还表明,当 Mn 含量为 0.25%~0.30%,Cu 含量为 0.4%时,材料的综合性能最高,抗拉强度为 660 MPa,断后伸长率 9.4%,满足产品的性能要求。

### 3.2 球化及多次孕育处理的效果

采用 FeSiMg8Re3 球化剂处理，球化处理后的球铁中石墨球更圆整,更细小,并且球化率和石墨的大小更稳定,如图 3 所示。球铁的伸长率得到提高,并且伸长率和抗拉强度的波动小,稳定性好。

球化前对铁液进行预处理孕育,且球化后进行浇注时进行二次孕育及随流孕育。通过孕育处理,能够促进石墨化,很好地控制石墨形态,并适当的增加共晶团数,促进细片珠光体的形成,从而达到改善铸件性能的目的。采用多次孕育处理的试样,

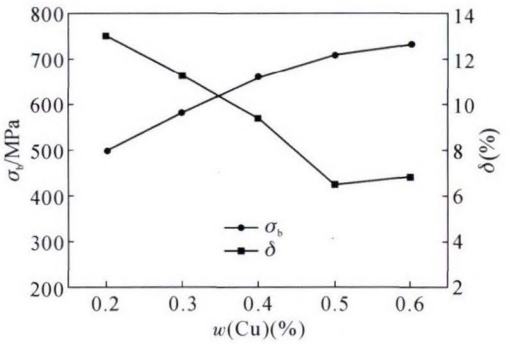



图 3 含铜量对球铁铸态力学性能的影响

Fig.3 Effect of copper content on mechanical properties of as-cast ductile iron

球化级别达到 1~3 级,石墨大小 6~7 级。因此,采取球化及多次孕育处理是获得高强度高韧性球墨铸铁的关键。

## 4 结论

(1)合理设计化学成分,完善球化、孕育处理工艺,严格控制熔炼过程和生产工艺,可获得综合性能优良的铸态球铁件。

(2)当 Mn 的含量为 0.25%~0.30%,Cu 的含量为 0.4%左右时,珠光体的数量为 40%~65%,材料的综合性能最高，抗拉强度为 660 MPa，断后伸长率 9.4%,满足产品的性能要求。

(下转第 1152 页)

温度梯度或凝固顺序下进行凝固成型，保证产品金相组织致密和性能的稳定性。

根据双耳管接头本体零件的结构特点，零件在机加工时，需保证零件壁厚均匀，中心线无偏差，砂芯结构优化改进后，铸件壁厚均匀，中心线无偏差，在机加工过程中，缩短机加工装夹调整时间，机加工时精准对刀，省去了多次对刀的过程，缩短工时，同时保证产品质量，结构优化后铸件尺寸如图 5 所示。

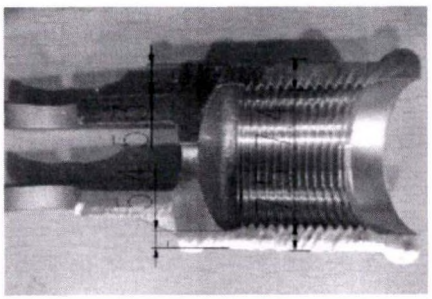


图 5 砂芯结构优化后生产的铸件
Fig.5 Casting made by Structure optimized core

### 3.2 探伤及机械性能测试

铸件探伤参照 GB/T 11346-2018《铝合金铸件射线照相检测-缺陷分级》，力学性能参照 GB/T 1173-2013《铸造铝合金》，在整个试制生产中无砂眼、缩松等铸造缺陷，铸件精度高，质量稳定，符合量产需求。

## 4 结论

砂芯芯头结构改进后，铸件壁厚均匀，中心线无偏差，双耳管接头的铸造合格率由 85%提高到现在的 98%。通过技术改进与创新，解决了在实际生产中存在的问题，提高了产品的品质与精度以及工作效率，减少甚至避免了不必要的返工次数，降低成本，实现良好的经济效益。

**参考文献：**

[1] 宁拥军. 液压铸件砂芯设计与铸件尺寸精度[J]. 铸造设备研究，2003, 2(4):43-50.
[2] 刘文川，李伟鹏. 铸件砂芯芯头的优化设计[J]. 铸造技术，1999(3):26-27.
[3] 李新亚，中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第 5 卷):铸造工艺[M]. 北京:机械工业出版社，2011.
[4] 白智渊. 导轮砂芯的结构改进 [J]. 铸造技术，2015, 36(7):1882-1887.
[5] 陈永龙，刘文川. 6110 气缸体铸造工艺的优化设计 [J]. 铸造技术，2012, 33(7):854-857.
[6] 彭显平，陈赓，蔺虹宾. WD615 缸体砂芯结构的优化设计[J]. 铸造，2014, 63(8):865-867.

(上接第 1146 页)

**参考文献：**

[1] 陈淑梅，潘全章，刘宝安. QT600-7 球墨铸铁材料的实验研究[J]. 铁道机动车辆，2009(29): 39-41.
[2] 张少华. 高强度铸铁(球墨铸铁)化学成分的选取[J]. 国外金属加工，2003(3): 29-31.
[3] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1348-2009 球墨铸铁件[S]. 北京:中国标准出版社，2009.
[4] 吴德海. 球墨铸铁[M]. 北京:中国水利水电出版社，2006.
[5] 张军，汪金飞，郑言彪，等. 铸态 QT800-5 悬挂支架铸件的研制[J]. 现代铸造，2016(5): 28-30.

(上接第 1149 页)

度，即冒口颈、冒口凝固前铸件未形成孤立液相区；从铸件最终的凝固缩孔判据来看，铸件内部基本致密，不存在缩孔缺陷。

## 5 试生产验证

按照优化后工艺首先进行了 1 炉 4 箱的试制验证，冒口顶部可见明显的补缩收缩坑，冒口去除后，冒口颈致密，对铸件进行了“十字形”纵、横方向的切检，铸件内部致密。随后又进行了小批量 5 包的连续试生产验证，冒口去除后，冒口颈致密，目前具备批量供货能力。

## 6 结语

球墨铸铁轮毂因其糊状凝固特性，铁液自身的收缩倾向较大，石墨化膨胀自补缩利用程度低，对于高致密度要求铸件而言，应该加强补缩；同时也需要结合铸件具体的结构特点，选择合适的补缩工艺措施，才能实现铸件内部完全致密。

随着铸造、生产设备技术的发展和汽车轻量化的需要，汽车零部件孤岛热节的设计越来越普遍，但对产品致密度的要求逐步提高，发热冒口因其补缩效率高、补缩距离大、金属液利用率高等优点，越来越多地应用到高端铸件的生产中，尤其是点补缩高发热冒口的开发对于存在大热节和局部孤立热节的铸件有很好的应用效果。