

# 轨道交通用超低温球墨铸铁生产工艺

杨忠耀<sup>1</sup>, 杨金铭<sup>1</sup>, 孙清洲<sup>2</sup>, 周志强<sup>3</sup>

(1. 莱州新忠耀机械有限公司, 山东烟台 261400; 2. 山东建筑大学材料科学与工程学院, 山东济南 250101;  
3. 中车永济电机有限公司, 山西永济 044500)

**摘要:** 通过对低温(-20℃、-40℃、-50℃、-60℃)球墨铸铁生产工艺进行系统的分析, 对各工序提出了具体的控制措施。通过合理的化学成分配比及原辅材料选择, 精细化熔炼及球化孕育控制, 热处理工艺制定, 提高了低温球墨铸铁QT400-18AL(-60℃)的力学性能, 满足了轨道交通、风电、核电、南北极开发等领域高端装备制造业的需求。

**关键词:** 低温球墨铸铁; 化学成分; 熔炼控制; 热处理; 轨道交通

低温球墨铸铁材料已广泛应用于轨道交通、海洋石油机械、船舶、风电、核电、南北极开发等高端装备制造领域。随着轨道交通、风电、核电等领域的快速发展, 对于球墨铸铁低温性能要求越来越高, QT400-18AL(-40℃、-50℃、-60℃)低温材料标准已被列入国家标准GB/T 32247-2015《低温铁素体球墨铸铁件》和行业标准ZXB/T 0102-01-2014《轨道交通用低温铁素体球墨铸铁件》。利用低温球墨铸铁材料研制的轨道交通产品(牵引电机壳体、电机端盖、转子压板、轴箱、齿轮箱体、轴承盖等)已应用于多条地铁线路, 并大批量装备到和谐号及复兴号标准动车组, 应用效果良好。QT400-18AL(-60℃)材料已应用于中车312A等项目, 及“中国至俄罗斯”、“莫斯科至喀山”的项目生产中。典型铸件见图1。

## 1 化学成分的配比控制

### 1.1 确定化学成分

化学成分的确定遵循以下原则:

- (1) 碳含量以不出现石墨漂浮体和白口为上下限, 并且要保证完全球化。
  - (2) 硅是强烈促进石墨化的元素, 有利于提高铁素体含量, 但硅量的增加会导致球铁的低温冲击性能降低。Si含量每提高0.1%, 脆性转变温度就提高5.5~6℃。但硅含量过低会影响铸件强度, 可以通过添加镍来解决降低Si含量带来的强度不足问题。
  - (3) 锰对球铁的冲击韧性和脆性转变温度都有特别不利的影 响, 每提高0.1%的锰含量, 球铁的脆性转变温度就提高10~12℃, 一般锰含量不得大于0.2%。
  - (4) 磷含量过高易形成磷共晶, 严重恶化韧性和塑性<sup>[1]</sup>, 因此磷含量应该控制在0.03%以下。
  - (5) 硫含量过高会影响球化效果, 因此硫含量应小于0.015%。
- 通过对球墨铸铁化学成分的分析及生产经验总结, 生产中控制QT400-18AL(-60℃)低温铸件球化后的化学成分如下:
- C: 3.50%~3.80%, Si: 1.9%~2.25%, Mg: 0.03%~0.05%, Mn≤0.20%,

作者简介:

杨忠耀(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造材料开发及工艺设计工作。电话: 13906451072, E-mail: zhongyao@chinazhongyao.com

中图分类号: TG255

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)01-0060-03

收稿日期:

2018-09-10 收到初稿,  
2018-11-21 收到修订稿。



(a) 齿轮箱体 (-50 ~ -20 °C) (b) 电机端盖 (-40 °C) (c) 缸盖、闸瓦托、左右轴箱 (-40 °C) (d) 电机机座 (-50 °C)

图1 轨道交通用典型低温球墨铸铁件

Fig. 1 Typical low temperature ductile iron castings for rail transit

$P \leq 0.03\%$ ,  $S \leq 0.015\%$ 。根据性能要求加入一定数量的Ni以增加强度, 其他微量元素尽量保持在低标准。

## 1.2 原辅料的选择及控制

### 1.2.1 原材料选择控制

(1) 生铁—应选用高纯生铁, 因高纯生铁碳含量高, 硅、锰、磷、硫及其他微量元素等相对较低。

(2) 废钢—应选用含合金元素较低的废钢。

(3) 增碳剂—选用易吸收的低硫增碳剂<sup>[2]</sup>, 收得率技术要求 $C \geq 90\%$ ,  $S \leq 0.25\%$ 。

### 1.2.2 熔炼过程中化学成分控制

(1) 炉料按配料单要求过磅称重。

(2) 铁液出炉前进行成分化验(光谱分析), 严格按炉前化学成分要求执行。

(3) 球化剂、孕育剂及覆盖球铁板按要求准确称重。

## 2 熔炼过程中的控制要素

### 2.1 配料控制

为保证产品韧性, 铸件低温时冲击功不低于12 J, 而且基体组织必须保证尽量接近100%铁素体, 所以配料要避免杂质及其他合金元素的混入, 以免影响铸件中铁素体含量, 避免珠光体的产生。因此配料时应多选用高纯生铁(高纯生铁含杂质及其他合金元素少), 尽量少使用废钢和回炉料(避免杂质或其他合金元素混入), 化学成分计算要准确。因熔炼过程存在烧损, 需要在熔化过程中实时进行调整, 因此要保留适当调整空间。

### 2.2 熔炼控制

熔炼过程要保证快速熔化, 避免长时间熔化而发生氧化, 不要出现棚料, 避免成分不均匀, 注意操作

细节。

### 2.3 炉前分析调整

当铁液温度高于1 420 °C时, 取样做炉前分析, 并及时进行成分调整。当铁液温度高于1 450 °C时(接近出炉温度), 取样做光谱分析, 根据分析结果继续做调整成分。

### 2.4 出炉控制

快速升温至出炉温度后, 扒净浮渣, 避免浮渣随铁液进入产品, 控制出炉温度为1 530 ~ 1 550 °C, 以保证铁液纯净度。

## 3 球化过程中的保证

### 3.1 球化剂的选用

选用低镁低稀土球化剂, 而且要求氧化镁的含量不高于0.7%。

### 3.2 球化剂控制

球化剂粒度: 3 ~ 20 mm。

球化剂加入量: 1.15% ~ 1.25%。

残余镁含量: 0.036% ~ 0.050%。

### 3.3 球化包修包要求

球化包包底修成凹坑式, 保证合适的大小及深度, 其高度与直径比大于2为佳。

### 3.4 球化过程控制

球化剂放入包底凹坑中, 扒平捣实, 并均匀覆盖孕育剂, 在其上方覆盖薄球铁板。球化出铁液时, 避免铁液直冲球化剂。控制出铁液速度, 保持先快后慢。1 t铁液球化控制时间在90 s左右, 球化完毕后保证

在15 min之内浇注完成。

## 4 出炉孕育保证球化率

### 4.1 孕育剂的选用

在以硅铁为基础的孕育剂中加入少量的钙、钡等元素，而且适当增加了钡含量，同时在随流孕育剂中补加微量的铋，有助于避免孕育衰退，同时增加石墨球数。

### 4.2 控制孕育剂加入量

孕育剂的加入量应尽量控制在上限，但不能出现孕育过剩，一般控制在1.10%~1.20%之间。

### 4.3 加大瞬时孕育剂加入量

瞬时（随流）孕育剂加入量在0.10%~0.20%之间，以保证孕育效果。

## 5 热处理工艺曲线的选择

为保证QT400-18AL（-60℃）基体铁素体含量

100%，需将基体中存有的少量珠光体全部转化为铁素体，因此必须进行热处理。通过大量生产试验验证，得出900~920℃高温热处理后连续冷却，铸件的抗拉强度 $\geq 425$  MPa，冲击吸收功在12~14 J之间，伸长率 $\geq 22\%$ ，满足了力学性能要求。

## 6 结论

（1）必须选用高纯生铁，生铁中磷、硫、钛等有害元素含量控制在低标准（磷 $< 0.03\%$ 、硫 $< 0.02\%$ 、钛 $< 0.03\%$ ）。

（2）严格按照化学成分要求进行配比控制，以达到QT400-18AL（-40℃、-50℃、-60℃）材料的强度、冲击性能要求。

（3）球化孕育过程对铁液质量起着至关重要的作用，必须按要求进行操作，使残余镁含量保持在低标准。

（4）热处理工艺是保证QT400-18AL（-60~-40℃）铸件综合力学性能的关键，必须做好热处理过程控制。

### 参考文献：

- [1] 宋强, 仲季, 李树年. 磷含量对贝氏体球铁低温冲击韧性的影响 [J]. 铸造, 1983 (2): 29-34.
- [2] 陆国庆. 增碳剂对球墨铸铁的孕育作用 [J]. 铸造, 2015 (1): 65-68.

## Casing Method of Ultra-Low Temperature Ductile Iron for Rail Transit

YANG Zhong-yao<sup>1</sup>, YANG Jin-ming<sup>1</sup>, SUN Qing-zhou<sup>2</sup>, ZHOU Zhi-qiang<sup>3</sup>

( 1. Laizhou Xinzhongyao Machinery Co., Ltd., Yantai 261400, Shandong, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, Shandong, China; 3. CRRC Yongji Electric Co., Ltd., Yongji 044500, Shanxi, China )

### Abstract:

Through analysis of the production process of ductile irons used at low temperature (-20℃, -40℃, -50℃, -60℃), some specific control measures were put forward for each process. Results indicated that the mechanical properties at low temperature (-60℃) of the ductile iron QT400-18AL could be improved through accurately controlling chemical composition, the reasonable selection of raw and auxiliary materials, melting control, nodularizing & inoculation treatments, and proper heat treatment. meeting the requirements of high-end equipment manufacturing industries such as rail transit, wind power and nuclear power, etc.

### Key words:

low temperature ductile iron; chemical composition; melting control; heat treatment; rail transit