● 生产技术 Production Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.10.007

# 厚大球墨铸铁飞轮铸造铁液熔炼工艺研究

颉向旭,宫显辉,张 涛
(陕西柴油机重工有限公司,陕西 兴平 713100)

**摘 要**:中速柴油机飞轮,厚度 297 mm,属于厚大球墨铸铁件,在生产调试阶段,铸件上表面存在严重的石墨漂浮缺陷,为解决此问题,通过将铁液碳当量由 4.57%降低至 4.32%后,在后续批量生产中,再无石墨漂浮现象,彻底解决了厚大铸件存在石墨漂浮的问题。

**关键词**:碳当量;石墨漂浮;球墨铸铁

**中图分类号**: TG255 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)10-0866-03

## Study on the Melting Process of Heavy Ductile Iron Flywheel

XIE Xiangxu, GONG Xianhui, ZHANG Tao
(Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Xingping 713100, China)

**Abstract**: Medium speed diesel engine flywheel has a thickness of 297 mm, and belongs to thick nodular iron castings. In the initial trial production stage, there is serious graphite flotation defect on the upper surface of the castings, in order to solve the problem, carbon equivalent is reduced from 4.57% to 4.32%. after this improvement graphite flotation has been eliminated and good microstructure and properties are obtained.

**Key words**: carbon equivalent; graphite floating; ductile Iron

在中速柴油机生产中,柴油机飞轮铸造问题主要集中在熔炼方面,具体表现为石墨漂浮,严重影响了铸件品质,拖延了生产进度,增加了生产成本。为此,从熔炼工艺着手,通过成分调整,小批量试制,探讨解决石墨漂浮问题的方法。

## 1 铸件技术要求

飞轮材质为 QT400-15,化学成分技术文件未做要求,自定成分化学成分如下表 1,力学性能、金相按照技术文件要求,具体见表 2、表 3。

**表 1 中速柴油机飞轮化学成分 $w$(%)**
**Tab.1 Chemical composition of flywheel of medium speed diesel engine**

| C | Si | Mn | P | S | Re | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.50~3.90 | 2.50~2.80 | 0.15~0.25 | ≤0.06 | ≤0.02 | ≤0.02 | 0.03~0.06 |

**表 2 中速柴油机飞轮力学性能要求**
**Tab.2 Mechanical performance requirements of medium speed diesel flywheel**

| 抗拉强度 /MPa | 屈服强度 /MPa | 伸长率(%) |
|---|---|---|
| ≥400 | ≥250 | ≥15 |

**表 3 中速柴油机飞轮微观组织要求**
**Tab.3 Microstructure requirement of flywheel for medium speed diesel engine**

| 珠光体(%) | 球化率(%) | 石墨形状 |
|---|---|---|
| ≤20 | ≥85 | V+Ⅵ |

## 2 生产过程

### 2.1 生产试制工艺

#### 2.1.1 炉料成分及配比

在飞轮试制过程中,采用中频炉进行,熔炼工艺采用生铁、废钢、回炉料进行生产,具体配比见表 4,原材料化学成分见表 5。

**表 4 炉料配比 $w$(%)**
**Tab.4 Furnace charge**

| 生铁 | 废钢 | 回炉料 |
|---|---|---|
| 55(Q10) | 5 | 40(球铁) |

**表 5 原材料化学成分 $w$(%)**
**Tab.5 Chemical composition of raw materials**

| 原材料化学成分 | C | Si | Mn | P | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 生铁(Q10) | 4.37 | 0.80 | 0.13 | 0.040 | 0.015 |
| 废钢 | 0.17 | 0.20 | 0.22 | 0.017 | 0.018 |
| 回炉料(球铁) | 3.80 | 2.80 | 0.20 | 0.020 | 0.011 |

#### 2.1.2 原铁液成分

在生产过程中,原铁液化学成分及控制要求见表 6。

**收稿日期**:2021-06-25

**作者简介**:颉向旭(1980—),陕西宝鸡人,工程师,硕士研究生.主要从事铸造工艺技术研究工作.
电话:13468911693, Email:xiexiangxu@163.com.

表6 原铁液化学成分 $w$(%)
Tab.6 Base iron composition

| 原铁液化学成分 | C | Si | Mn | P | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 规定成分 | 3.70~3.90 | 1.50~1.70 | 0.15~0.25 | ≤0.06 | ≤0.02 |
| 控制成分 | 3.80 | 1.60 | 0.20 | ≤0.06 | ≤0.02 |

### 2.1.3 球化孕育处理

球化剂采用 YFQ-7A（Si:45.40%、Ca:1.24%、Mg:6.85%、RE:1.51%、粒度:5~30 mm），加入量1.4%。

因飞轮壁厚较大，凝固时间较长，为防止孕育衰退，使用含钡的抗衰退型孕育剂。用法及用量如下：球化坑内覆盖 YFYY-2(Si:65.28%、Ca:1.25%、Ba:9.78%，粒度:1~5 mm)加入量 0.4%、随流孕育加入量 0.5%、浇口杯中瞬时孕育加入量 0.1%[1]。

球化坑内依次加入球化剂、孕育剂(盖)，再覆盖 0.3%左右的球铁铁屑，逐层适当紧实后覆盖球化钢板，最后压生铁 2~4 块，铁液升温到 1 420~1 450 ℃取样，首次补加合金按下限计算，成分合格后方可出炉浇注，铁液出炉前先扒干净炉内浮渣，测量铁液温度符合工艺要求后方可出炉。出铁量2/3 时，待球化反应结束，即可加入二次随流孕育剂，浇注前依照要求测量浇注温度并扒净包内浮渣，瞬时孕育(粒度0.5~2.0 mm)全放入浇口杯。浇注温度按 1 340~1 360 ℃控制[2]。

## 3 试验结果

采用上述工艺生产第一件后，从图 1 中看出飞轮上表面存在明显的色差，颜色较深的部位即是石墨漂浮，从图 2 金相中看出石墨球数较多，石墨明显聚集，且尺寸较大，局部开裂。

图 1 铸件上表面石墨漂浮
Fig.1 Graphite floating on the upper surface of the casting

出现石墨漂浮主要是由于浇注时铁液温度高和铁液碳当量所引起的。根据生产经验，浇注温度 1 340~1 360 ℃，属于正常温度，飞轮属于厚大断面球墨铸铁件，对上述调试工艺中的碳当量进行计算，结果约为 4.57%，远远高于厚大端面所允许的 4.3%~4.4%[3]。

图 2 石墨漂浮　×100
Fig.2 Graphite floating

## 4 熔炼和处理工艺改进

### 4.1 熔炼和处理工艺改进后的理化性能

对上述工艺进行优化，原铁液成分变为：C:3.5%~3.7%，按 3.6%控制，S 含量按≤0.02 控制，球化剂加入量降到 1.3%，其余不变，此时为 4.32%，按优化后工艺连续生产 5 件，无石墨漂浮现象。附铸试样化学成分见表 7、力学性能见表 8，均符合技术要求。

表7 化学成分 $w$(%)
Tab.7 Chemical composition

| 序号 | C | Si | Mn | P | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.41 | 2.66 | 0.18 | 0.022 | 0.012 |
| 2 | 3.43 | 2.63 | 0.19 | 0.026 | 0.013 |
| 3 | 3.45 | 2.63 | 0.20 | 0.015 | 0.011 |
| 4 | 3.40 | 2.69 | 0.20 | 0.014 | 0.013 |
| 5 | 3.44 | 2.61 | 0.16 | 0.015 | 0.012 |

表8 力学性能
Tab.8 Mechanical properties

| 序号 | 抗拉强度 /MPa | 屈服强度 /MPa | 伸长率(%) | 硬度(HB) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 436 | 312 | 21.5 | 157 |
| 2 | 452 | 314 | 20.5 | 153 |
| 3 | 438 | 304 | 25.5 | 155 |
| 4 | 439 | 313 | 24.0 | 154 |
| 5 | 446 | 312 | 25.0 | 158 |

### 4.2 工艺改进后金相组织

工艺改进后，铸件表面无石墨漂浮现象，4%硝酸酒精对样块进行腐蚀，观察金相，发现石墨球无开裂，铁素体均匀。如图 3、表 9。

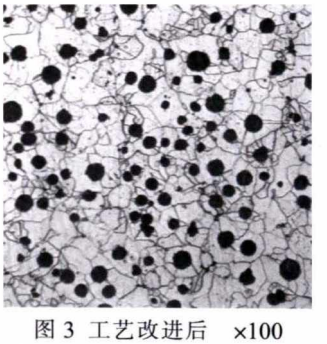

图 3 工艺改进后　×100
Fig.3 Process improvement

表9 金相组织
Tab.9 Metallographic structure

| 序号 | 基体 | 球化率(%) | 石墨大小级别 |
|---|---|---|---|
| 1 | F | VI+V92 | 6 |
| 2 | F | VI+V92 | 6 |
| 3 | F | VI+V91 | 6 |
| 4 | F | VI+V91.5 | 6 |
| 5 | F | VI+V91 | 6 |

## 5 结语

在本次飞轮生产过程中，出现石墨漂浮问题后，将碳当量调整为4.32%，解决了飞轮生产中存在的石墨漂浮现象，可见，对于材质为QT400-15的厚大断面铸件，在批量生产时，为了防止石墨漂浮出现，碳当量应控制在4.4%以下。

**参考文献：**

[1] 许峰. 球墨铸铁的石墨球数及其影响因素 [J]. 铸造，2005(5)：45-47.
[2] 喜多新男. 预防球墨铸铁铸造缺陷的措施 [J]. 现代铸铁，1986(2)：60-64.
[3] 张伯明. 铸造手册[M]. 北京：机械工业出版社，2010.

**海纳百川终破浪，厚积薄发在此时**

——福建省中德顺机械集团有限公司招募令

福建省中德顺机械集团有限公司（简称ZDS），是一家以机械、铸件制造、配件生产、机械钢结构件产品生产、进出口贸易等多种产业链经营发展的集团股份公司，年产铸件10万吨，拥有30余人的专业技术团队。公司位于福建四大名镇之一的晋江市安海镇，2000年元月成立。占地200多亩，厂房6万m²，总投资约两亿人民币，员工300多人。

福建省中德顺机械集团有限公司目前拥有晋江市中德顺机械有限公司、福建中德顺机械铸造有限公司、晋江市中德顺钢结构件工程发展有限公司、晋江市中德顺机械销售中心有限责任公司、三明市中德顺机械有限公司5家全资子公司。集团公司重视企业发展和产品质量，2003年获得ISO9001:2008质量体系证书和ISO14001:2004环境管理体系认证证书。自成立以来“中德顺”商标被认定为“福建省著名商标及泉州市知名商标”，被福建省工商管理局、泉州市人民政府、晋江市人民政府授予“守合同 重信用”单位等荣誉称号。二十余年的创新发展，使福建省中德顺机械集团有限公司取得了巨大的进步和飞跃。中德顺集团的自动化造型线系统为企业节约了生产成本，提高效率并缩短了制造周期，使国际上一些知名企业纷纷主动与我公司合作。每一份荣誉都是一种认可，每前进一步都凝聚着中德顺人的汗水和责任，收获这一份份的荣誉和进步，中德顺人唯有秉持好品质，以提高客户的满意度为己任，才能创造更辉煌的未来。

海纳百川，唯才是举，给人才更多机会，给梦想更大舞台。中德顺集团现招聘以下岗位：

**一、机械设计：1名**

**要求：**1、大专以上学历，1年以上相关工作经验。2、精通CAD、solidworks等设计软件的应用。3、具有较高的知识层次，勇于创新。4、具备扎实的机械设计及工艺知识。5、具有团队荣誉感，敬业，有责任心。6、英语四级以上，听、说、写能力强。

**二、专业铸造管理人员和机加工管理人员：数名**

**要求：**有相关工作经验优先录用。

**三、铸件清理打磨：数名**

**要求：**有相关工作经验优先录用。

**四、福利待遇：**

1. 员工发展：公司十分重视人才的培养，并为有潜力的员工提供广阔的晋升发展空间。

2. 订单常年稳定，没有淡季，员工收入稳定，工资日100%准时发放，绝不拖欠。

3. 宿舍楼在厂区里，环境优美、宽敞明亮、方便。独立洗手间、阳台、热水器等。

4. 公司配有夫妻房，配备食堂，伙食水平较高。

5. 春节享受返厂交通费、工龄奖、保险等福利。

6. 各种带薪假期：法定节假日、婚假、产假、丧假、带薪休假。

7. 子女入学：与市相关部门协调解决员工子女入学难问题，解除员工后顾之忧。

中德顺集团的飞速发展，期待您的加入！有意者请致电公司咨询并预约面试时间。

联系人：杨先生

联系电话：15377981267

2021年4月1日