

# 一种全废钢生产铸态 QT950-4 曲轴的方法

李静文, 赖青华, 陈丽阳

(云南云内动力机械制造有限公司, 云南昆明 651701)

**摘要:** 为提高曲轴力学性能, 在铁型覆砂铸造工艺条件下, 研究了炉料配比、球化工艺、开箱时间等因素对曲轴基体组织以及力学性能的影响。采用全废钢配料, 熔化过程加入碳化硅, 球化过程中加入Cu、Sb合金的工艺方法。结果表明: 铸件组织得到了细化, 铸件强度及伸长率提高, 生产出了高强度、高韧性的铸态QT950-4曲轴。

**关键词:** 全废钢配料; 球墨铸铁; 铸态; 曲轴; 覆砂金属型

## 1 引言

随着柴油机功率不断提升, 对柴油机心脏部件曲轴的要求越来越高。目前曲轴常用牌号为QT700-2、QT800-2, 而随着轿车用柴油机发展, 因轿车用柴油机曲轴较小, 对曲轴强度韧性提出更高要求。传统曲轴生产采用正火工艺获得相应材质, 其投资大、生产周期长、热处理铸件易变形。而铸态珠光体曲轴采用合金化工艺在铸态下即可得到QT800-2牌号球铁。目前国内铸态曲轴球铁牌号最高为QT850-5(非标牌号), 铸态工艺进一步提高牌号则较为不易。而笔者公司通过进一步优化熔炼工艺、合理采用合金化, 优化开箱时间, 可得到QT950-4(非标牌号)铸态曲轴, 为轿车用曲轴生产采用铸态工艺储备了工艺技术。

## 2 生产工艺

### 2.1 铁型覆砂工艺

通过对曲轴生产工艺从投入、生产成本、安装调试周期等因素综合对比, 结合铸态曲轴工艺要求, 选择铁型覆砂工艺生产QT950-4牌号曲轴。

覆砂铁型铸造是在金属铸型内壁覆上一层6~10 mm厚的固化覆膜砂, 铁液注入覆有覆膜砂的铁型之中形成铸件的工艺方法。由于覆砂铁型刚性好且覆砂层比较薄, 铸件冷却速度快, 砂子粒度细, 可显著提高铸件的尺寸精度、致密性、表面质量、晶粒的细化程度和球化率。同时因铸件成形过程中石墨膨胀作用于铸型产生反作用力, 使铸件得到良好的自补缩, 有利于防止缩孔、缩松缺陷的产生, 实现无冒口铸造。

### 2.2 原材料选择

为保证获得较好的球化等级从而确保铸件性能, 原材料选择需确保高质量、低杂质、来源稳定。

废钢: 采用钢构厂生产板状钢料头, 材质为Q235/Q345, 且两种废钢混合后C 0.2%~0.4%, Si 0.25%~0.35%, Mn≤0.8%, P≤0.03%, S≤0.03%。

增碳剂: 选用低S、低N型石墨化增碳剂, S小于0.05%。

碳化硅: 因该工艺方案采用全废钢, 铁液核心数量少, 铁液氧化倾向大。碳化硅的加入可以弥补全废钢这一工艺缺陷。碳化硅是一种硅基生核剂, 熔点较高, 在铁液中不熔化, SiC加入铁液中, 其Si与Fe结合, 余下的C做为非平衡石墨, 即析出

作者简介:

李静文(1985-), 女, 高级工程师, 主要从事铸造工艺研发及质量管理工作。  
电话: 13759527928, E-mail: 276765271@qq.com

中图分类号: TG143.5

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)05-0530-03

收稿日期:

2020-03-16 收到初稿,  
2020-04-03 收到修订稿。

核心,增强石墨形核能力;且SiC与FeO、MnO反应,形成CO,降低渣中FeO和MnO的含量,从而净化铁液。

### 2.3 配料

按照质量分数原料配比如下:废钢:75%~85%,回炉料15%~25%;碳化硅0.6%~1%。

### 2.4 熔炼工艺

采用2 t中频电炉熔炼铁液,碳化硅需在炉内有铁液且炉料未全部加完之前加入,确保碳化硅充分吸收。为确保铁液干净、去除杂质,熔化完成铁液温度升至1 570 ℃,炉内铁液静置3~5 min后再调到出水温度,过程中打干净铁液表面炉渣。铁液融化到1 500 ℃后,采用直读光谱仪分析铁液化学成分,根据检测结果添加Si、Mn、Cr等元素。

### 2.5 化学成分控制

为达到QT950-4材质,铸件球化等级需控制在1~2级,石墨大小控制在6~7级,珠光体含量 $\geq 85\%$ 。原铁液化学成分控制要求见表1。C、Si控制遵循高C低Si的原则。Mn是碳化物元素,可以稳定和细化珠光体,提高铸件强度、硬度。但Mn易产生区域偏析,降低铸件韧性,综合上述因素,Mn含量控制在0.3%~0.8%。S是一种反球化元素,它与Mg、RE等球化元素有很强的亲和力;S的存在会大量消耗铁液中的球化元素,形成Mg和RE的硫化物,引起夹渣、气孔等铸造缺陷。原铁液控制 $S \leq 0.035\%$ 。当 $P > 0.05\%$ 时,P极易偏析于共晶团边界,形成二元、三元或复合磷共晶,降低铸件的韧性。要求 $P \leq 0.035\%$ 。Cr显著形成碳化物,强烈促进形成珠光体,提高铸件强度、韧性,Cr太高则铸件易产生白口。综合上述因素,Cr含量控制在0.3%~1%。

### 2.6 球化处理及孕育

选用堤坝式处理包,冲入法进行球化处理,选择Mg含量为6%~8%,RE含量2%~3%球化剂,球化剂粒度15~25 mm,加入量1%~1.2%。一次孕育剂采用8~15 mm的75硅铁。铜、铈加入包中一并进行球化处理。

### 2.7 合金化

为稳定达到QT950-4材质,珠光体含量要求 $\geq 85\%$ ,需加入珠光体促进元素对铁液进行合金化处理,利用多元素复合强化作用,达到材质要求。常用合金为Cu、Sb、Sn合金。

Cu是生产铸态珠光体铸件最常用的合金元素。Cu在共晶转变时促进石墨化,降低奥氏体转变临界温度,能细化并增加珠光体,细化珠光体片间距,改善

基体组织与性能均匀性,强化基体组织,提高疲劳强度。另外,Cu是负偏析元素,富集在共晶团内部,不会形成游离的渗碳体。通过生产过程中将铜的加入量与力学性能一一对应进行验证,确定铜加入量。

Sb是很强的促进珠光体形成元素,可细化石墨球,提高石墨圆整度,尤其对大断面球墨铸铁有效,是生产铸态珠光体球铁中重要的合金元素,由于Sb在结晶凝固时有强烈的晶间偏析倾向<sup>[1]</sup>,球墨铸铁中的适宜量为0.015%~0.03%。

Sn的作用与Sb相似,能够强烈促进珠光体形成,其促进珠光体的作用是Cu的10倍,Sn的加入量达到0.15%,也不会增加碳化物的析出量<sup>[2]</sup>。

生产过程中通过加入0.85%~0.95% Cu配合0.01%~0.02% Sn,可得到珠光体95,强度大于950 MPa,伸长率大于4%材质。但生产过程发现铸件易脆断,因此放弃使用Sn合金,转而采用Cu、Sb合金。通过加入0.85%~0.95%的Cu,配合0.015%~0.03% Sb合金,铸件本体可稳定达到QT950-4材质,终铁液化学成分控制要求见表2。

### 2.8 开箱时间控制

由于覆砂铁型生产工艺,铸件冷却速度较快,开箱时间决定铸件开箱温度。铸件开箱后,自然冷却,影响铸件基体组织中珠光体的含量,进而影响曲轴的性能。对于高强度高韧性的QT950-4曲轴,不同的开箱时间直接影响铸件的珠光体含量及力学性能。不同的开箱时间工艺参数如表3所示,不同的开箱时间对铸件力学性能和珠光体含量的影响如表4所示。

在生产中严格控制开箱时间,确保每包浇注完成

表1 原铁液化学成分控制要求  
Table 1 Main composition requirements of base iron  $w_B/\%$

C	Si	Mn	P	S	Cr
3.7~3.85	1.1~1.4	0.30~0.8	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	0.3~1

表2 终铁液化学成分控制要求  
Table 2 Main composition requirements of end iron  $w_B/\%$

C	Si	Sb	Cu	RE	Mg
3.5~3.75	1.95~2.15	0.01~0.03	0.85~0.95	0.01~0.02	0.033~0.055

表3 开箱工艺参数  
Table 3 Opening technological parameters

编号	开箱时间/min	开箱温度/℃	冷却方式
A1	20	720	风冷
A2	30	657	风冷
A3	35	603	风冷
A4	40	582	风冷

表4 开箱时间对铸件力学性能和珠光体含量的影响  
Table 4 Effect of opening time on mechanical properties and pearlite content of castings

编号	开箱时间/min	抗拉强度/MPa	伸长率/%	珠光体体积分数/%	硬度
A1	20	990	4.6	95	298
A2	30	985	5.3	90	293
A3	40	968	5.8	85	286

后曲轴铸件在20~40 min (630~715 ℃)内开箱取件完毕,进而保证铸件珠光体含量及铸件力学性能的稳定,试样取样位置及金相检测结果见图1、2。

### 3 结论

影响铸件力学性能及铸件珠光体含量的综合因素较多,在实际的生产中关注化学成分及合金元素含量变化,合理控制变化因素,以求稳定到达铸态QT950-4材质牌号要求。

(1) 化学成分中碳化物形成元素的含量(锰、铬)及促进珠光体形成的合金加入量(铜、铈、锡)对珠光体的形成倾向具有较大的影响,通过多种合金元素的复合强化机制,极大提高了铸件的力学性能,需要严格控制原辅材料。

(2) 开箱时间影响曲轴铸件的基体组织中珠光体含量及铸件力学性能,铸态QT950-4的实现需要严格保证开箱时间。

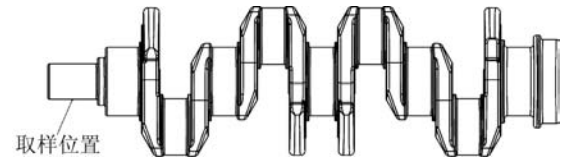
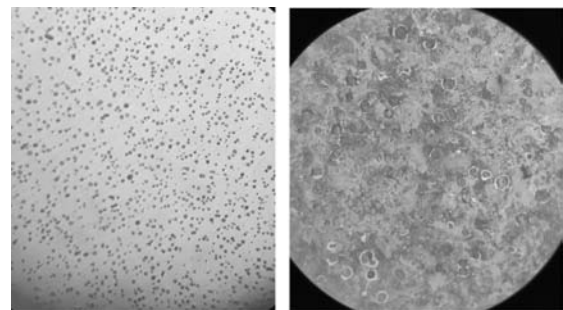


图1 曲轴本体试棒取样位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling position of crankshaft body



(a) 石墨形态,球化1-2级 (b) 基体组织,珠光体:90%

图2 曲轴本体试棒金相(100×)

Fig. 2 Microstructure of crankshaft casting body

#### 参考文献:

- [1] 刘进军,从红日,李首峰,等.高强度高韧性球墨铸铁的生产[J].现代铸铁,2002(2):47-49.
- [2] 徐慧明.合金化元素对铸态球墨铸铁性能的影响[J].热加工工艺,2008(21):47-49.

## A Method of Producing As-Cast QT950-4 Crankshaft with All Scrap Steel

LI Jing-wen, LAI Qing-hua, CHEN Li-yang  
(Yunnei Power Machinery Manufacturing Co., Ltd., Kunming 651701, Yunnan, China)

#### Abstract:

In order to improve the mechanical properties of crankshaft, the effects of charge composition, spheroidizing process, opening time and other factors on the matrix structure and mechanical properties of crankshaft were studied under the condition of sand-lined metal mold casting. The process methods such as using all scrap steel, adding silicon carbide in melting process and adding Cu and Sb alloy in spheroidizing process, were applied. The results show that the microstructure of the castings is refined, the strength and elongation of the castings are improved, and the as cast QT950-4 crankshafts with high strength and toughness have been produced.

#### Key words:

all scrape steel charge; ductile iron; as-cast; crankshaft; sand-lined metal mold