DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.06.016

铸态高强度高韧性 QT600-10 球墨铸铁控制技术

程建龙
(安徽神剑科技股份有限公司，安徽 合肥 230022)

摘　要：以铸态 QT600-10 材质生产技术为例，简要介绍了铸态高强度高韧性球墨铸铁件控制要点；根据铸件壁厚条件，碳(C)控制在 3.6%~3.8%、硅(Si)2.5%~2.8%、锰 (Mn)<0.3%,采用微合金化时，控制铜(Cu)0.20%~0.50%、锡(Sn) 0.02~0.05%。熔炼时采用 C 高 Si 低，CE 适中，Mn、S、P 低，采用低稀土 Si-Mg6-8RE1-5 球化剂，采用常规 75SiFe 孕育剂或长效孕育剂，通过控制基体组织比例，达到高强度高韧性铸态 QT600-10 的要求。

关键词：铸态高强度高韧性；铸态 QT600-10；合金化；硅固溶强化

中图分类号：TG255　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-8365(2019)06-0579-03

Control Technology of Cast High Strength and Toughness QT600-10 Ductile Iron Casting

CHENG Jianlong
(Anhui Shenjian Technology Co., Ltd., Hefei 230022, China)

Abstract: The production techniques of as-cast QT600-10 is discussed. The main points of as-cast ductile iron castings with high strength and toughness are briefly recommended. According to the wall thickness of castings, the main chemical constituents are as follows, C 3.6%~3.8%, Si 2.5%~2.8%、Mn<0.3%, the microalloying elements copper and tin are Cu0.20%~0.50% and Sn 0.02%~0.05%. The melt contains high carbon and low silicon, the carbon equivalent is moderate. Spheroidizing treatment with low RE Si-Mg6-8RE1-5, Inoculation treatment with conventional 75SiFe inoculant or long-acting inoculant. By controlling the ratio of ferrite to pearlite in matrix structure, high strength and toughness of as-cast QT600-10 can be obtained.

Key words: as-cast high strength and toughness; QT600-10as-cast qt600-10; alloying; silicon solid solution enhancement

铸态高强度高韧性球墨铸铁件，在满足特殊性能要求的基础上，减少热处理环节，节约中间运输成本，缩短供货周期，可以有效减低企业生产成本，提高产品竞争力。现结合本企业，在多年生产铸态高强度高韧性球墨铸铁件方面积累的经验，以 QT600-10 材质为例介绍其控制方法。

1　指导思想

包括球墨铸铁在内的铸造合金的性能是由其含有一定成分的显微组织所决定的，要获得所需的性能，可以通过控制其显微组织，并使该组织中含有一定数量的合金强化元素。通常强度与塑性之间始终存在矛盾，而随着对合金强化基体组织认识的加深，对于金属材料性能特殊要求的不断提高，要求球墨铸铁强度达到 600 MPa 以上，同时要求其伸长率 10%以上，通过热处理很难同时保证强度与韧性要求，通过控制影响显微组织的因素(化学成分，合金化，熔炼质量，球化孕育处理、壁厚条件、冷却速度等)，可以满足铸态高强度，高韧性要求，现结合在实际生产过程中，遇到的不同壁厚的中小球墨铸铁件本体力学性能在满足 QT600-10 材质要求方面，通过不同技术路线达到材质要求。

2　化学成分的选择

选择化学成分 w (%) 为：3.6%~3.8% C，2.5%~2.8% Si，<0.3% Mn，<0.02% S，<0.05% P，0.018%~0.350% $Mg_{残}$，0.02%~0.04% $RE_{残}$，0.2%~0.5% Cu，0.020~0.05% Sn[1,2]。

3　铁液的熔炼

铁液采用中频感应电炉熔炼工艺，使用尽可能纯净的生铁：P、S、干扰球化元素及各类合金元素要尽可能低；回炉铁一般为同材质的浇冒口、废品或加工的铁屑，便于合金回用降低成本，也有利于铁液成分控制；应尽可能选用单一种类、干净，无砂、无锈等

收稿日期：2019-03-22
作者简介：程建龙(1964-)，安徽来安人，高级工程师. 主要从事铸造技术及管理方面的工作. 电话：13956057221，E-mail：720411chjl@sina.com

杂物的废钢,低锰碳素钢(<0.3%甚至更低的优质碳素钢最佳);合金化工艺中,合金铜、锡是产品性能是否能达到要求的关键,在不利用特殊专用球化剂、孕育剂的情况下,如何确保合金在铁液中均匀,是产品质量和性能稳定的基础,考虑到两种合金在熔炼过程中不烧损,在熔炼前期以合金形式加入到炉底熔炼,可以确保合金在整炉铁液中最大限度的浓度均匀;原铁液化学成分控制原则上 CE 适中,C 高,Si 低,Mn,P,S 低,干扰元素 Ti 低的前提下,炉料配比使 3.6%~3.8% C,1.1%~1.5% Si。

4 球化及孕育处理

4.1 球化剂的选用

主要采用传统的冲入发球化处理工艺:球化剂的选用与铁液质量有关,与具体的生产条件有关,根据铸件大小,厚薄不同选用:主要是根据原铁液中含硫量不同,选用含稀土量不同的球化剂,原铁液含 S>0.03%,则选用 FeSiMg8RE7 的球化剂;S<0.03%时,则选用低稀土的 FeSiMg8RE5 或 FeSiMg8RE3 球化剂,S<0.02%时,小薄铸件则选用低稀土的 FeSiMg6RE2 甚至 FeSiMg6RE1 球化剂。

球化剂质量除了与 MgO 比例有关,选用球化剂应该根据具体得到球化方式,需要处理的铁水重量,确定选用何种类别的铁水包,球化剂的类别、粒度直接影响球化剂的吸收效率,生产实践过程中,粒度过大,不易快速溶解,如果球化剂填充不好,球化剂的覆盖不充分,球化反应过程中,球化剂特别容易漂浮在铁液表面,烧损过大,镁的吸收率下降,影响球化效果;同时,球化剂粒度过小,特别是呈粉末状的比例要严格控制,因为铁液温度高,容易直接烧损,温度低则,直接氧化。实际生产过程中对于薄小件球化处理每次铁液 300~500 kg,球化处理温度 1 510~1 540 ℃,因此球化剂粒度选用 5~25 mm,超标粒度的球化剂应小于 10%。

4.2 球化处理

采用通用的堤坝式或者凹坑式,冲入法球化处理,堤坝高度为 100~200 mm,球化剂加入球化包堤坝靠炉体一侧后,加 0.4%的粒度为 3~8 mm 孕育剂覆盖在球化剂上,用铁叉捣平捣紧,再加放一块厚度 8 mm 专用压板用铁叉捣平,由此可提高镁的回收率 20%~30%,球化剂加入量约为铁液重量的 1.0%~1.2%。球化反应时间一般为 100~120 s,球化时铁液应避免直接冲到球化剂上,球化方式应是铁液大约到 1/3 时开始球化反应。由于电炉熔炼的铁液纯度高,表面活度大,铁水容易氧化,因此球化反应结束后,要立即加集渣剂覆盖,及时转包孕育,球化处理后的铁液应该尽可能快的浇注完毕,避免球化衰退和温度降低过多,影响产品质量,一般根据铸件大小,等待浇注的时间,不超过 8 min。

4.3 孕育处理

孕育剂选用常用的 75FeSi,为提高孕育效果,并合理控制终硅量根据生产条件,采用二次孕育处理方式:采用冲入法球化时在球化剂表面加入 0.4%的孕育剂,孕育剂粒度 3~8 mm,待冲入铁液进行球化处理时,同时发生孕育作用,在浇注前将铁水从球化包转入浇注包时在铁水表面加入 0.2%~0.3%的粒度为 1~3 mm 的孕育剂作为二次孕育,可以有效防止孕育衰退提高孕育效果,对于薄小铸件为了抑制局部渗碳体或者控制珠光体比例,可以考虑长效孕育剂,必要时推荐使用含铋强效孕育剂,可以收到良好效果。

由于铸态高强度高韧性球墨铸铁件的性能主要由合金化后的微观基体组织保证,而珠光体数量以及铁素体基体强度主要依靠合金铜、锡的作用体现,适当加强孕育效果,有利于铸件在保证抗拉强度达到 600 MPa 的前提下,有较强的韧性,伸长率>10%,并能有效消除碳化物,有利于铁液补缩,减小铁液收缩倾向,防止铸件产生疏松。

5 结果

(1)在实际生产过程中,选用优质原材料(生铁、废钢) 利用中频电炉进行熔炼,根据壁厚条件,合理设计化学成分,合金化,把球化前铁液成分控制到工艺要求范围内;选用合理的球化孕育处理工艺,实现了铸态高强度高韧性球墨铸铁件的稳定生产,薄壁件及厚壁件化学成分控制要求如表 1。

(2)不同壁厚铸态高强度高韧性球墨铸铁件化学成分如表 2,金相组织如图 1。

表 1 不同壁厚铸态高强度高韧性球墨铸铁件化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of high strength and toughness as-cast casting with different wall thickness

成分 w(%)	C	Si	Mn	P	Cu	Sn	S
薄壁件	3.6~3.8	2.5~2.7	0.15~0.20	<0.05	0.2`0.5	—	<0.02
厚壁件	3.5~3.7	2.6~2.8	0.30~0.50	<0.05	0.2`0.4	0.02~0.05	<0.03
硅固溶件	3.40~3.60	3.3~3.6	<0.2%	<0.05	—	—	<0.02

表 2 不同壁厚铸态高强度高韧性球铁化学成分 w(%)

Tab.2 Chemical componet of ductile iron for High strength and toughness with different thicknesswith

试样	成分 w(%)		C	Si	Mn	P	Cu	Sn	S
1#	壁厚	6 mm	3.52	2.50	0.15	0.036	0.25	—	0.016
2#	壁厚	8 mm	3.50	2.60	0.20	0.035	0.30	—	0.015
3#	壁厚	10 mm	3.48	2.62	0.30	0.036	0.40	—	0.016
4#	壁厚	12 mm	3.55	2.60	0.35	0.035	0.50	—	0.015
5#	壁厚	30 mm	3.53	2.68	0.30	0.035	0.20	0.020	0.016
6#	壁厚	40 mm	3.55	2.65	0.35	0.035	0.25	0.027	0.014
7#	壁厚	50 mm	3.45	2.70	0.40	0.037	0.30	0.030	0.015
8#	壁厚	60 mm	3.60	2.80	0.50	0.037	0.40	0.049	0.013

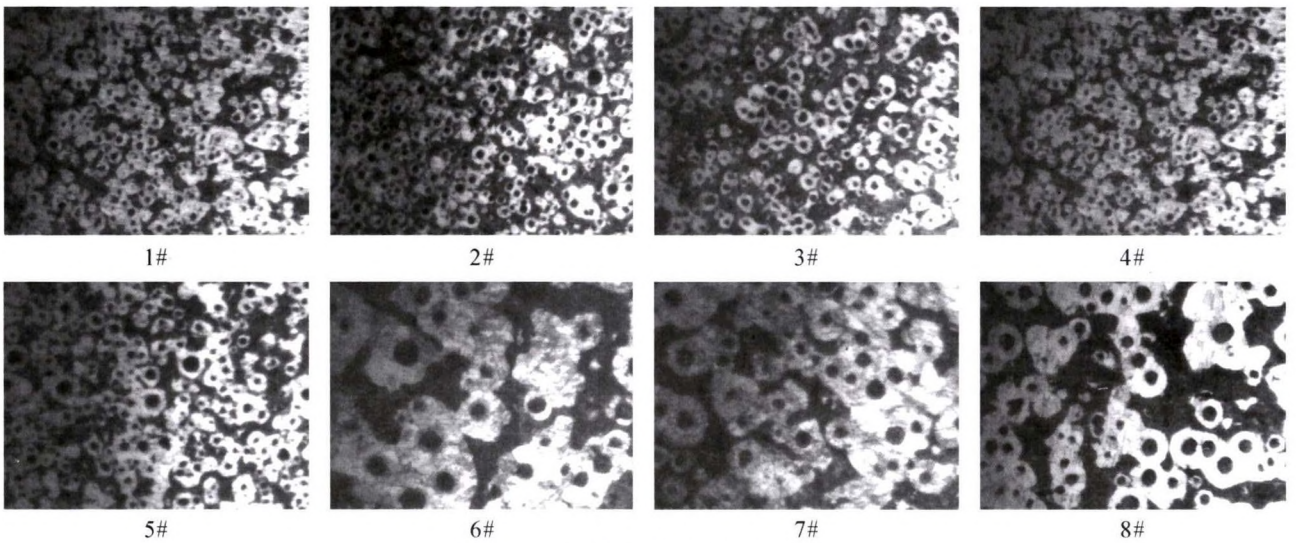

图 1 试样的金相组织

Fig.1 Metallographic structure of specimen

6 结论

(1)在实际生产中通过控制影响铸态微观组织的因素，控制铸态球墨铸铁件的铸态基体组织和力学性能。

(2)铸态高强度高韧性球墨铸铁件的生产，要根据不同壁厚条件，合理设计化学成分，选用不同合金化工艺，在熔炼条件一定，保证球化孕育的基础上，通过控制基体组织比例，发挥合金强化作用，满足不同壁厚铸件的高强度高韧性要求。

(3)采用硅固溶强化，可以提高铁素体基体强度，并增加铸件强度，得到铸态高强度、高韧塑性的铸件，在薄小球墨铸铁件的凝固过程中，可以硅的固溶还可以在凝固过程中抑制珠光体的比例，阻止渗碳体的生成，铸件本体综合性能满足 QT600-10 要求。

参考文献：

[1] 吴德海，钱力，胡家骢. 灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼[M]. 北京：中国水利水电出版社，2006:64-74.

[2] 《铸造技术标准手册》编委会. 铸造技术标准手册. 北京：中国物质出版社，2004:90,165.

(上接第 578 页)

显著效果。

(3)通过“预提芯组芯”方法，解决油道管弯曲的关键技术问题。

参考文献：

[1] 何兵，平涛. 大功率柴油机的研究发展[J]. 柴油机，2003(1):4-8.

[2] 李明，马素娟. 防止碱性树脂自硬砂生产 6200 曲轴缩松的措施[J]. 现代铸铁，1999(12):13-16.

[3] 孙云山. 大功率柴油机曲轴树脂砂铸造工艺的研究[D]. 南京：南京理工大学，2004.