

# 低成本生产球墨铸铁的工艺策略

吕兰建

(山西省第二锻压机床有限责任公司 山西 祁县 030900)

【摘要】 论述了影响球铁生产的几个主要因素,提出了合理利用当地资源,低成本生产球墨铸铁相应工艺策略。

【关键词】 球墨铸铁 铁水孕育与球化 高温石墨化退火

【中图分类号】 TG143.5 【文献标识码】 B 【文章编号】 1003-773X(2005)01-0048-02

## 引言

我公司自上世纪50年代成立以来,一直以铸造技术见长。随着企业的不断发展,在国内逐渐形成以空气锤产品为主的龙头企业。这种产品的铸件比例达75%以上。几十年来,我公司的铸造生产也有了长足的进步。从小到0.5 kg大到十几t的铸件一般都可满足生产要求。加入WTO后,尤其是空气锤产品进入美国市场以来,国外客户对铸件材质的要求进一步的提高,对部分零件要求提供球墨铸铁件。对此,我们在现有的基础上先后试制出了QT400-10、及QT600-2球墨铸铁产品。在生产过程中,重点考虑了以下工艺策略。

### 1 球墨铸铁的特点

球墨铸铁与普通灰铸铁的区别在于其C(石墨)的形态不同。当C以片状的形式存在时,即为灰铸铁。由于片状石墨尖角处具有很大的应力集中,因此塑性和韧性差,所以灰铸铁不能承受较大的冲击负荷。从力学的角度看,尖角孔洞应力集中严重,尖角变钝后,应力有所减轻,而圆形的孔洞的应力集中就更小了。球墨铸铁就是根据这一理论,人为地使铸铁中C成为球状,球状石墨应力集中小,对金属基体的削弱少,可使金属基体的抗拉强度利用率高达70%~90%,并使其塑性、韧性以及疲劳性能有相当一部分得到发挥。但传统的球铁熔炼工艺复杂,生产成本较高。

### 2 改进工艺 实现低成本制造球铁

首先简化了冲天炉的熔炼工艺。利用普通灰铸铁的铁水,直接处理球墨铸铁。在整个生产工艺过程中要始终注意几个问题并需采取一些行之有效的对策,这样才能在保证质量的前提下实现低成本运行。

#### 2.1 影响球墨铸铁质量的化学元素

##### 2.1.1 C对球墨铸铁的影响

含C高则析出石墨数量多,石墨球数目多,球径尺寸小,圆整度增加,可以提高冲击韧性。C高,还可以消除白口,减少缩松,提高铁水的流动性。因此在球墨

铸铁中应采用较高的含C量。但含C量高对石墨漂浮影响很大,因此,应在不出现石墨漂浮的前提下,尽量提高铸件的含C量。在生产过程中对厚大件取3.2%~3.6%;对中小件取3.6%~4.0%。

##### 2.1.2 Si的影响

在铸铁中Si是促进石墨化的元素。随着原铁水中含Si量的提高,铁水中的石墨化能力增强,石墨变得粗大的趋势也会加大。另一方面, Si能溶于铁素体中并使其强化,会提高其韧性与脆性的转变温度,又会出现延伸率和冲击值降低的现象。所以一般要求原铁水中含Si < 2%。

##### 2.1.3 P的作用机理

P是球墨铸铁中的有害元素,极易产生偏析。常在晶界上出现磷共晶组织,从而产生应力集中,严重降低球墨铸铁的塑性和韧性。据有关资料显示,每增加0.1%的含P量会造成大约2%的磷共晶体。另一方面,随着含P量的增加,铁水的过冷作用也会增加,它会强烈抑制球状石墨的形成。换句话说,P能使石墨与铁液之间的表面张力降低,同时也能使石墨分枝长大,形成团状、片状的趋势加大,导致球状石墨数量减少,造成晶界不规整。对于铁素体来讲,P的有害作用更为严重,它不仅使常温下的冲击韧性降低,同时也使脆性转变温度急剧提高,造成了低温脆性。据有关资料显示,每增高0.01%的P,会使脆性转变温度上升约4~5℃,因此,我们在生产中规定P < 0.1%。

##### 2.2 孕育处理是球墨铸铁生产中的一个重要环节

众所周知,铸铁的结晶主要是依靠铁水中的一些强烈促进石墨化的元素如C、Si等形成匀质石墨晶核及铁水中含有的非金属夹杂物形成的非自发晶核为结晶核心。但这些晶核在铁水中的数量、形态、及分布关键在于外来因素对它们的促进作用——孕育处理。对于球墨铸铁来说,孕育处理就是为了细化石墨,增加球状石墨的数量,改善球化效果及消除白口。由于孕育

处理的作用,增加了铁水中共晶团数目,减少了晶间的偏析程度,这对改善铸件的机械性能,特别是对延伸率和冲击韧性的提高很有利。这也就是说,球墨铸铁经过孕育处理,可以在铁水中产生 C 的高浓度区,使球墨铸铁的激冷倾向有所降低,晶粒生长较慢,从而生成量多、细小且均匀分布的石墨核心,促使其基体内形成较紧密的球状石墨。在实际生产过程中,选用成本较低的 Si-Fe 合金作为孕育剂,其中 Si 和球化剂中的球化元素 Mg 等共同作用可使金属液中 C 过饱和,从而达到改变石墨——铁液之间的晶间界面,促使石墨按球状生长的趋势增加。为增大孕育效果,要求金属炉料和球化剂中带入的 Si 要尽量少些,这样以孕育形式加入的 Si 量就可以高一些。根据上述推理分析,我们在生产实践中采取的策略是:针对球墨铸铁中存在磷共晶组织,我们选用了适当的孕育处理工艺,促使了球墨铸铁中晶团总界面的增长速度加快,使 P 在基体中的分布趋于均匀,从而减少铁液中磷共晶的数量并加以细化。这就达到了改善和提高球墨铸铁综合机械性能的目的。这在生产中得到了充分的验证。

### 3 球墨铸铁生产过程中的热处理工艺策略

在球墨铸铁生产中,必要的热处理工艺是改善和提高球墨铸铁机械性能的根本保证。选择正确的热处理工艺,关键是对球墨铸铁组织转变的临界温度的选择。影响球墨铸铁临界温度的因素是很多的,但其中起主要作用的因素还是 Si 和 P。上文已经提到 Si 能促进铸铁石墨化,同时 Si 还可以降低渗碳体的稳定性,减少碳在奥氏体中的溶解度,提高组织转变的临界温度范围。P 能提高珠光体向奥氏体转变的温度 特别是在球墨铸铁中,很少的含 P 量就能使局部区域(磷共晶区)的临界温度升高很多。由此可以看出 Si 和 P 对球墨铸铁临界温度的影响很有相似之处。所以 Si 和 P 的复合作用也就变得更为强烈。对此,我们采取的对策是将球墨铸铁的退火加热临界温度从  $810 \pm 10^\circ\text{C}$  提高到  $875 \pm 10^\circ\text{C}$ 。这样就可使组织的转变更为完全彻底。

热处理过程,不仅可以改善 Si 和 P 对球墨铸铁临界温度的影响,而且适当的热处理工艺同时还会对球墨铸铁中的磷共晶形态施加影响。一般来讲,铸态磷共晶是直接从液相结晶而成的原生相,磷共晶在结晶后大部分分布在奥氏体晶粒的交界处。铸态磷共晶由于 P 的收

缩作用,使其向内凹陷而弯曲,其棱角较锋锐。这也是我们所不愿意看到的。怎样来改变这种状态呢?通常情况下,球墨铸铁正火加热到  $760 \sim 770^\circ\text{C}$  时,球墨铸铁基体开始奥氏体化。但由于 P 的存在,会使其临界温度  $A_c$  升高,因此,部分磷共晶边缘的珠光体需温度升至  $875^\circ\text{C}$  左右才能转变为奥氏体。当正火温度在  $950 \sim 970^\circ\text{C}$  (三元磷共晶的熔化温度) 时缓慢加热,三元磷共晶并不熔化,而是转变为二元磷共晶。值得注意的是,当加热速度快时,液态的二元共晶又会转变为三元磷共晶。因此,在球墨铸铁的热处理过程中,适当放慢加热速度、提高加热温度、延长保温时间,则可将有害的且较锋锐的磷共晶棱角钝化,这样可使铸件的应力分布趋向均匀,同时也降低了脆性。高温退火后的磷共晶形态与铸态时基本相同,但经高温退火后的三元磷共晶转变为二元磷共晶的同时,会在磷共晶周围产生少量的珠光体颗粒,如要消除这些颗粒,可进一步采用二阶段高温石墨化退火,并在共析温度范围内适当保温,就可以得到由  $\alpha\text{-Fe}$  与磷化铁组成的二元共晶。

另外,经高温退火的磷共晶还可能转化为游离磷化铁。实践证明,铸态的二元磷共晶和磷化铁对球墨铸铁组织性能的影响有了很大程度的降低,这也是我们对球墨铸铁采用热处理工艺策略后所愿意看到的情况。

### 4 结论

总之,在球墨铸铁的生产过程中,为把成本控制在最理想的范围内。在选用当地生铁冶炼球铁时,应尽可能的选用高 C 低 Si 的原生铁。对于含 P 较高的球铁,应配合采用适当的孕育处理工艺,将磷共晶细化,并使其均匀分布。从而有效的抵制其有害作用。必要时可采用二阶段石墨化退火,这样可有效地改变磷共晶在球墨铸铁中的存在形式,减少磷共晶边缘的应力集中作用。这是我们在球墨铸铁生产工艺过程中所摸索出的生产经验,所采用的一些工艺对策也是针对当地的一些现实情况而定的。

#### 参考文献

- [1] 朱华栋. 最新铸造标准实用手册. 兵器工业出版社, 1992.
- [2] 丁根宝. 铸造工艺学. 北京:机械工业出版社, 1985.
- [3] 洛阳市科学技术协会. 铸铁熔制. 北京:机械工业出版社, 1983.

(收稿日期:2004-11-15)

## The Processing Tactics for Low Cost Production of Spherulitic Iron

Lu Lanjian

[Abstract] A few of main factors which affect spherulitic iron production are discussed, puts forward correspondent processing tactics for reasonably use of local resources and low cost production of spherulitic iron.

[Key words] Spherulitic iron Liquid iron inoculation and spheroidization High temperature graphitizing anneal