

# 碳当量对铸铁加工性能的影响及控制

林艳茹, 李艳琴

自感应电炉被使用以来, 由于熔炼工艺不成熟, 使得材质质量很不稳定, 主要表现在抗拉强度和铸件实体硬度常达不到技术要求, 且碳当量低, 铸件加工性能差, 铸造性能低, 对于铸造工艺设计的要求高, 使得生产过程复杂化。为此, 提高CE值, 一方面, 为了与灰铸铁的发展趋势相吻合, 即发展高碳当量、高强度灰铸铁, 另一方面为了满足客户对改善铸件加工性能的要求。对铸造工艺的设计和生产过程来说, CE值的提高, 在一定程度上简化了工艺设计, 降低了过程操作的复杂程度。

## 1. 提高CE值对力学性能的影响

决定灰铸铁性能的主要因素为石墨和金属基体。CE ( $CE=C+1/3Si$ ) 值的提高, C、Si的含量增加 (C、Si是促进石墨化元素), 石墨的数量增加, 形状由细片状逐渐转变为厚片状, 石墨尺寸也变大。铸铁中存在一定数量的石墨, 使金属基体承受负荷的有效面积减少, 而且在承受负荷时造成应力集中, 使金属基体的强度不能正常发挥, 降低铸铁的强度。C、Si含量的

提高, 使得铁素体量增加, 在一定程度上珠光体量相对减少, 基体中的铁素体强度低, 而珠光体有较高的强度和硬度, 所以基体的强度随珠光体量的增加而提高。因此, 碳当量的提高, 必然会使铸件抗拉强度和硬度下降。在熔炼过程控制中, 为了避免因CE值的提高而影响到铸件力学性能, 可以考虑采取以下措施: 改变炉料配比; 对熔炼铁液进行精炼; 强化孕育处理; 低合金化处理。

## 2. 实施过程

(1) 改变炉料配比 主要是针对废钢所占比例进行阶段性的调整, 灰铸铁的力学性能随废钢在炉料中的比例增加而增加, 废钢比例的增加, 必然会使生铁和

回炉料 (废品、浇冒口系统、碎铁屑) 的比例减少, 考虑到我公司内大量的回炉料急需消耗掉, 因而在增大废钢所占比例同时, 也适当增加了回炉料的加入量, 这样在很大程度上降低了生铁的比例。具体调整实施过程见表1。

通过炉料配比的调整, 保证了铸件的性能, 提高了碳当量, 增加了回炉料的使用量, 在很大程度上降低了成本。

稳定GB和GC铁级的炉料配比见表2。

(2) 对熔炼铁液进行精炼 铁液过热温度的高低直接影响到铁液成分及纯净度。铁液温度的提高有利于铸造性能的改善, 更主要的是在一定范围内提高铁液的温度, 能使石墨细化, 组织基体致密, 抗拉强度提高。

表1 炉料配比调整 (%)

| 铁级 | 使用阶段 | 生铁   | 废钢   | 回炉料  |
|----|------|------|------|------|
| GB | 1    | 17.5 | 65.0 | 17.5 |
|    | 2    | 22.5 | 55.0 | 22.5 |
|    | 3    | 15.0 | 65.0 | 20.0 |
|    | 4    | 15.0 | 65.0 | 20.0 |
|    | 5    | 10.0 | 62.5 | 27.5 |
|    | 6    | 5.0  | 65.0 | 30.0 |
| GC | 1    | 25.0 | 40.0 | 35.0 |
|    | 2    | 22.5 | 42.5 | 35.0 |
|    | 3    | 12.5 | 42.5 | 45.0 |
|    | 4    | 10.0 | 35.0 | 55.0 |

对于孕育铸铁来说，过热的铁液既能纯化铁液，又能提高过冷度，以及在孕育情况下加入大量的人工结晶核心，迫使铸铁在受控的条件下进行共晶凝固，从而达到真正孕育的目的。因此在过程控制中，我们将铁液的过热温度提高到1510~1520℃，并在该温度下静置5~10min，对铁液进行精炼。

(3) 强化孕育处理 孕育处理的目的在于促进石墨化，降低白口倾向，降低端面敏感性；控制石墨形态，消除过冷石墨；适当增加共晶团数和促进细片状珠光体的形成，从而改善铸铁的强度和其他性能。而我们在实际过程控制中，对孕育处理进行了逐步的完善，强化了孕育效果。

① 炉料中的铁料对孕育处理的影响及控制。炉料中的铁料主要为新生铁、废钢、回炉料、切屑。其中铸造生铁中含碳、硅高，有粗大的石墨片。在目前的熔炼温度和保温时间内，原铸造生铁中的石墨片不可能完全溶解，这些未溶净的石墨就是共晶石墨的现成基底，粗大石墨的性状就遗传给铸铁，会大大抵消孕育的作用。因此在过程控制中，应对生铁的加入量逐渐降低，以消除原生铁的遗传性，改善孕育效果。

② 铁液温度对孕育的影响及控制。铁液温度对孕育的影响包括铁液的过热温度和孕育处理温度两方面。在一定的范围内提高铁液的过热温度并保持一定时间，可以使铁液中残存未溶的石墨质点完全溶入铁液中，以消除生铁的遗传影响，充分发挥孕育

剂的作用，提高铁液的受孕育能力。过程控制中，对过热温度提高到1510~1520℃，对孕育处理温度控制在1420~1450℃。孕育剂量根据白口大小控制在0.4%~0.5%。

③ 孕育剂的粒度对孕育效果的影响及控制。孕育剂的粒度是孕育剂状况的重要指标，对孕育效果有很大影响。粒度过细，易于分散或被氧化进入熔渣而失去作用。粒度太大，孕育剂熔化或溶解不尽，不仅不能充分发挥孕育作用，反而会造成偏析、硬点、过冷石墨等缺陷。因而对孕育剂的粒度尽量控制在2~5mm，以保证孕育效果。

④ 孕育工艺对孕育的影响及控制。过程控制中孕育工艺主要在孕育槽孕育，这样对一包浇注的铸件，基本可以在孕育衰退前浇注结束。但对于较大的铸件或两浇包浇注的铸件，则不能满足要求，因而采用了晚期孕育方法：即浇注铸件之前，在浇包中进行浮硅孕育（孕育量为0.1%），这样可减小或不存在孕育衰退，提高了孕育效果。

(4) 合金化处理 对部分要求高的铸件，可采用合金化处理，即向普通铸铁中加入少量的合金元素，以提高灰铸铁的力学性能。由于合金元素的加入，在一定程度上细化了石墨，使基体中铁素体的量减少甚至消失，珠光体则在一定的程度上得到细化，且其中的铁素体由于有一定

量的合金元素而得到固溶强化，因而使铸铁具有较高的强度。在熔炼过程控制中，对合金的加入，主要是针对客户要求淬火的件或导轨较厚大的件，合金随铁液流冲入。主要加入的合金元素及加入量为： $w_{Cu}=0.4\% \sim 0.7\%$ ， $w_{Sn}=0.06\% \sim 0.08\%$ ， $w_{Cr}=0.08\% \sim 1.2\%$ 。

这样在一定程度上保证了由于CE值的提高造成性能的下降，而且对淬火件来说，提高了淬火时的淬透性，保证了淬硬层深度。

(5) 对微量元素的分析控制 微量元素对灰铸铁的组织 and 性能有显著的影响，它不但影响铸铁的凝固特性，在一定程度上影响固态转变。在过程控制中，我们重点对铸铁影响较大的Pb、Ti、N作了分析控制。

Pb：少量的铅就能限制灰铸铁共晶团的生长。因为铅在石墨和固态铁中的溶解度很小，在凝固时，铅富集生长于石墨-奥氏体共晶团周围，这样既改变了石墨结晶的生长表面，又阻碍了碳原子向石墨上的扩散。

Ti：灰铸铁中的钛使A型石墨的数量减少，产生D型石墨和基体铁素体化，白口深度增加。炉料中钛的来源主要是生铁中钛的含量（0.12%左右）。通过对炉料配比的调整，在很大程度上降低了生铁的比例，也就降低了铁液中的钛含量。

N：氮作为灰铸铁的微合金

表2 炉料配比 (%)

| 牌号 | 生铁 | 废钢 | 回炉料 |
|----|----|----|-----|
| GB | 5  | 65 | 30  |
| GC | 10 | 35 | 55  |



# 铸态高铁素体球墨铸铁含硅量的探讨

陈世刚

## 1. 问题的提出

铁素体球墨铸铁现在几乎在所有的铸铁厂都有生产，尤其是生产汽车零部件的铸造生产企业更是普及。众所周知，汽车零部件属安保件，由于伸长率优异的铁素体球墨铸铁其抗冲击性能一般比珠光体球墨铸铁高，所以在硫磷含量合格、球化孕育良好的条件下，一般皆采用降低含锰量、提高含硅量的方法，试图使基体达100%铁素体来解决问题。由于铸态获得铁素体需充分石墨化，而稀土有反石墨化的作用，因此不少厂家采用3-7REMg低稀土球化剂的措施。但存在的突出问题是冲击值不理想，且伸长率难以稳定地满足QT450-10

元素，对改善灰铸铁的石墨形态和基体组织方面发挥了积极作用。氮使灰铸铁的共晶团细化，使基体中珠光体量增加，珠光体、铁素体晶粒细化，但对珠光体的分散度没有影响，以间隙方式固溶于铁素体和渗碳体中的氮原子对灰铸铁起微合金化作用，可提高其显微硬度。但灰铸铁中的氮含量超过120ppm ( $120 \times 10^{-6}$ )以后，易于形成氮气孔。过程控

的要求。其原因被认为是含硅量高。通常认为终硅量超过3.0%（质量分数）时，由于硅导致脆性反而使韧性降低。

为了进一步提高铸态韧性，我们对包括残余稀土量在内的化学成分、特别对适宜的含硅量进行探讨。经过半年多的生产实践，我公司生产的铸态高铁素体球墨铸铁，标准楔形试块的铸态性能已达到伸长率17%~21%，冲击初度100~165J/cm<sup>2</sup>的水平。

## 2. 生产过程

(1) 生产条件及工艺 熔化设备为0.5t/h中频感应电炉，采用600kg、30kg浇包。配料比为：本溪Q10、Q12生铁60%~

70%、废钢30%~40%。出铁温度为1600~1620℃。

球化剂用包头生产的T-1稀土镁硅铁合金，加入量为1.3%~1.6%。孕育剂为75SiFe，加入量为0.8%~1.5%，粒度≤5mm。关键在于炉前处理技术，只要按炉况正确掌握，反应时不发生球化剂漂浮，若能做到吸收量高，反应完至浇注完的时间缩短，则对含硅量的限制可放宽，所得球墨铸铁的铸态铁素体含量也较高（≥95%）。球化处理采用包底冲入法，用珍珠岩及重铸铁末（厚30mm左右）、硅铁孕育剂捣实覆盖，反应后迅速扒渣，将渣扒净后浮硅处理。

制中氮的涉入主要是增碳剂中的氮。氮的吸收很不稳定，容易超过临界含量，造成氮气孔缺陷。

## 3. 实施效果

(1) 通过对以上措施的不断试验和应用，使CE值得到提高，改善了铸件的加工性能。

(2) 由于CE值的提高，提高了铸铁的铸造性能，简化了铸造工艺设计，降低了操作和控制过程的复杂程度。

(3) 降低了熔炼成本，由于炉料配比的调整，降低了生铁的加入量，提高了回炉料加入量，消耗了公司常年积累的大量回炉料。

作者简介：林艳茹，李艳琴，宁夏共享装备有限公司。

MW 20140320