

铸件化学成分的控制与配料

河南省驻马店柴油机厂 (463000) 杨群收

在生产实践中,作为冶炼技术人员和炉工来说,配料应该是熟练掌握的一般性技术问题。但是对于刚毕业的技工和大多数炉工来说,欲能系统、灵活的掌握,也确非易事。

要想控制铸件的化学成分与配料,必须事先了解以下几个问题:

- (1) 铸件的目标化学成分。
- (2) 库存各种金属炉料的化学成分。
- (3) 各种加入炉料在冶炼过程中化学成分的增减变化率。
- (4) 配料方法。

一、目标化学成分

现在大部分铸件,根据其牌号要求的不同,国标中已做出了相应的要求,从铸造手册中即可查到。

但是随着科技的进步,根据铸件的服役状况,市场需要更多物理性能各不相同的铸件,并对铸件的综合性能、质量提出了更高的要求,科研单位也不断研究出新材料而取代旧材质。例如,合肥水泥研究设计院开发的“中碳多元合金钢”,成功地代替了原需进口的球磨机高锰钢衬板,用该材质生产 $\phi 2.4 \sim \phi 4.2\text{m}$ 的大型球磨机衬板,降低了生产成本,取得了良好的经济效益。

另外,如我厂生产的出口国外用于石油钻井的泥浆泵缸套及采石场 600mm \times 90mm 破碎机用的锤头,都是超高铬铸铁,其主要成分见表 1 (这些材质的详细化学成分要求,在铸造手册中是查不到的)。

表 1

材质及产品名称	主要化学成分 (质量分数, %)			
	C	Si	Mn	Cr
中碳多元合金钢	0.45 ~ 0.80	0.5 ~ 1.0	0.4 ~ 0.8	3.5 ~ 6.5
泥浆泵缸套内套	2.8 ~ 3.1	0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 1.0	26 ~ 28
高铬锤头	2.0 ~ 2.8	0.3 ~ 0.8	1.0 ~ 1.2	22 ~ 26

在生产上述产品时,如果没有完全掌握铸件化学成分要求,以及没有详细了解铸件的服役状况时,应让用户提供尽可能详细的化学成分要求范围及热处理工艺。当然作为生产厂家来说,必须尽量详细掌握产品所要求的化学成分范围及物理性能,以生产出用户满意的优质产品。总之在生产配料前,应了解所生产铸件的目标化学成分,做到心中有数。

二、原材料的化学成分

原材料的化学成分,指的是投炉所用新生铁、废钢、回炉料的主要化学成分,以及硅铁、锰铁等铁合金的牌号或化学成分含量。

三、在冶炼过程中化学成分的增减变化

要想掌握各种炉料在冶炼过程中化学成分的变化规律,将是一个较为复杂的问题。冶炼设备不同,如冲天炉(热、冷风)三节炉、中频感应电炉等,其化学成分的变化都各不相同,即便是同一个炉子,因修炉所用材料的不同,以及操作方法的不同,冶炼过程中化学成分的变化也不相同。以冲天炉为例,热风与冷风、风压

通过这种方法加工出的垫板和漏板形状尺寸准确,减少了多次对比修正的工作量,提高了工作效率,更好地满足了工艺要求。

2. 结语

使用交互式编程关键是模型设计准确,尤其是模

样,只有模样设计准确了,在此基础上漏板、垫板才能准确。也只有准确的设计,才能精密地加工出工装工件,并使工件很好地满足工艺要求,进而保证铸件的质量,提高经济效益。

(20050820)

的高低、风眼直径的大小、焦炭质量和块度的大小,以及修炉衬材料是酸性、中性或是碱性,其化学成分的变化都不尽相同。

1. 碳量的变化

碳量的变化大体上可分为4种:①炉料中含碳量高低的不同,碳量的增减率不同。②炉料中硅、锰含量高低对碳量的影响。③炉温高低和炉气氧化性强弱对碳量的影响。④其他因素。

(1) 炉料的平均含碳量越低,碳向金属中的溶解度越大,铁液就会发生增碳,且废钢用量越大,这种现象越明显;炉料中平均含碳量越高(例如 w_C 在3.6%以上),铁液从焦炭中吸收的碳量越少,而碳的氧化烧损增加,铁液含碳量不仅不增加,反而减少。如果炉料中的 w_C 高达3.6%~3.8%时,冶炼中铁液的含碳量就基本不变化了。

(2) 铁液中含硅量越高,增碳越少,这是因为硅可以溶解于铁内,降低了碳在铁中的溶解度。锰则相反,含锰量增加时,铁液增碳量也有所增加。

(3) 加大焦炭用量,或者使用的焦炭块度小,都会使增碳量加大,这是由于增加了铁液与焦炭的接触时间和接触面积。炉料熔化成铁液下落,当流经赤热的底焦时,焦炭中的碳会慢慢溶到铁液中,使铁液含碳量增加,这就是增碳作用,且这种作用主要发生在过热区和炉缸区。铁液与焦炭接触的时间越长,接触面积越大,温度越高,铁液增碳就越多。冲天炉设有前炉,因为铁液能及时从炉缸中流入前炉,所以增碳较少。无前炉缸,铁液只能存在炉锅内而与焦炭接触的机率多,所以增碳量就较大。

炉内温度升高会促使碳更快、更多地溶解在铁液中,使增碳显著。因此,如果其他条件不变而采用热风冲天炉,就会因为提高了炉内温度,使增碳量加大。

另外,在炉内还存在着使碳减少的因素,如铁液接近风口,或者风量很大、风压很高时,炉气中的氧会氧化铁液而使含碳量减少(或称脱碳)。增加风量,提高铁液温度,也会促使增碳。但是增加风量后,由于加强了铁液氧化,又有促使脱碳的作用,所以在这种状态下,脱碳作用大于增碳作用。

(4) 除以上因素外,还有其他具体因素也影响着碳量。

增加底焦高度,铁液的过热路程延长,铁液温度提高的同时,也会促使碳向铁液中溶解。因此,底焦高度

过高时,铸铁的增碳量也会加大。

如果炉底高度垫的高,铁液下落流经的路程短,铁液会及时流入前炉缸,减少了与焦炭的接触时间,增碳率就小;反之增碳量就大。

炉料过于碎小且配用量较大时,易出现熔化速度快、铁液下落快、增碳量很小的现象。伴随着这种现象的同时,铸铁件也易出现白口缺陷。

在用冲天炉冶炼时,增碳和减碳这两个相互矛盾的过程是同时进行的,影响含碳量的因素太多,很难精密地确定。

用中频感应电炉冶炼时,无论是酸性、中性,还是碱性炉,对碳量均有熔炼损耗。如果操作不当,碳量的熔炼损耗更大,当炉温达到浇注温度时,应及时降低功率,保温浇注。另外,随着浇注时间的延长,碳的熔炼损耗量增大,应添加增碳剂并加入接力脱氧剂。

2. 硅量的变化

硅量的变化主要取决于两个因素:①炉衬的属性(酸性、中性或是碱性)。②炉温的高低及金属液在炉内的停留时间。

用硅砂(SiO_2)作修炉料,即用酸性炉冶炼钢铁时,硅量的熔炼损耗不明显,如果颗粒细小的硅砂或硅石粉用量大时,硅量不但不减少,反而会增加。

用镁砂(碱性)或铝矾土(中性)修炉衬时,硅的熔炼损耗量就大,其熔炼损耗率一般可按10%~15%计算。此外,硅铁合金中硅的熔炼损耗率还要更高一些。

3. 锰量的变化

无论在任何炉中冶炼,锰量均有熔炼损耗,炉温越高,金属液在炉中的停留时间越长,铁液含硫量越高,锰的熔炼损耗率就越高,其熔炼损耗率一般按15%~25%计算。锰铁合金中锰的熔炼损耗率还要更高一些。

在冶炼过程中,除铜、铝等元素熔炼损耗量极少,配料时可不考虑其熔炼损耗率外,其他元素都有不同程度的熔炼损耗。

四、配料

配料前在选择原材料时,既要照顾到铸件的质量要求,还应注意各原材料的价格及库存量,尽可能多地利用本厂的回炉料、废钢和废杂铁,以降低库存积压和铸件的生产成本。

配料方法及公式,除碳的配料计算方法是两个以

外,其他元素的配比计算方法,均采用累积法。

1. 碳的计算公式

$$C = 1.8\% + C_L / 2 \times 100\%$$

式中 C——铁液的碳含量(%)；

C_L ——炉料中的平均含碳量(%)；

1.8%——用冲天炉冶炼时,炉料在预热、熔化、过热及还原过程中,脱碳量和增碳量的(估算)中间值。

该式只适用于冲天炉碳量的计算,不适用于电炉配料的计算,且为了计算结果符合本单位设备的冶炼情况,1.8%系数需根据多次熔炼经验来修正选取。

例如:HT250 牌号灰铸铁的 w_C 为 3.1%~3.4%;所用新生铁的 $w_C = 3.8\%$,回炉料的 $w_C = 3.2\%$,废钢的 $w_C = 0.4\%$ 。

估算配比:新生铁加入量 40%,回炉料加入量 35%,废钢加入量 25%。

$$C = 1.8\% + \frac{3.8 \times 0.4 + 3.2 \times 0.35 + 0.4 \times 0.25}{2} \times 100\% = 3.17\%$$

2. 累积计算法

就是将按比例投入的各种炉料,分别代入其成分量,相加在一起,把冶炼过程中的增减率计算在其中,再调整到目标成分的范围,该计算方法适用于冲天炉的配料,也适用于电炉的配料。

使用原材料的化学成分含量如表 2 所示。

表 2

原材料名称	化学成分(质量分数,%)		
	C	Si	Mn
生铁 Z18	3.5	1.6~2.0	0.5
回炉料	3.2	1.9	0.8
废钢	0.4	0.27	0.5

用上述原材料并配用 75 硅铁、65 锰铁,用冲天炉生产 HT200 牌号的灰铸铁,其化学成分要求如表 3 所示。

表 3

牌号	化学成分(质量分数,%)				
	C	Si	Mn	P	S
HT200	3.1~3.4	1.8~2.1	0.7~0.9	<0.15	≤0.12

根据实践经验应考虑到,增碳量为 10%,炉料中硅的熔炼损耗为 15%,硅铁中硅的熔炼损耗为 20%,炉料中锰的熔炼损耗为 20%,锰铁中锰的熔炼损耗为 25%。

经调整后材料配比如表 4 所示。

表 4

原材料	配入量(%)
生铁 Z18	45
回炉料	40
废钢	15

累积代入的成分计算如下:

增碳率:

$$C = (3.5\% \times 0.45 + 3.2\% \times 0.4 + 0.4\% \times 0.15) \times 1.1 \approx 3.2\%$$

硅的熔炼损耗率:

$$Si = (1.8\% \times 0.45 + 1.9\% \times 0.4 + 0.27\% \times 0.15) \times (1 - 0.15) \approx 1.37\%$$

锰的熔炼损耗率:

$$Mn = (0.7\% \times 0.45 + 0.8\% \times 0.4 + 0.5\% \times 0.15) \times (1 - 0.2) \approx 0.568\%$$

当然每次配料不可能一次计算成功,需多次调整配料比,方能达到理想结果。这点对初掌握者来说,尤其重要。

以上配料,碳达到了预期目的,但是硅、锰仍达不到需求,需要补加硅铁和锰铁。补加硅铁、锰铁及其他任何铁合金,均可用下式求得。

$$\text{补加量}(\%) = \frac{\text{要求}\%}{\text{合金含量}\% \times \text{收得率}\%} \times 100\%$$

目标中限硅含量是 1.95%,炉料中代入硅是 1.37%,还差 0.58%的硅量,需添加硅铁来补足其差,硅铁需补加的量即可用上式算出:

$$75 \text{ 硅铁补加量}(\%) = \frac{0.58\%}{75\% \times 0.8} \times 100\% \approx 1\%$$

目标中限锰含量应是 0.8%,炉料代入的锰是 0.568%,还差 0.232%的锰量,需添加锰铁来补充。

$$65 \text{ 锰铁补加量}(\%) = \frac{0.232\%}{65\% \times 0.75} \times 100\% \approx 0.5\%$$

3. 配料的基本知识和注意事项

在生产普通铸铁或铸钢时,掌握了以上方法基本可以指导生产了,但是在生产合金钢,特别是高合金钢时还要考虑到,为保证材质有足够的合金成分含量,在添加铁合金时,随之而代入的其他成分,还要考虑到如何降低生产成本。

例如,用电炉生产合肥水泥研究设计院开发的“中铬多元合金钢”时,常用的铬铁化学成分如表 5 所示。

在配料过程中, 铬含量取中限 5%, 就需要加入表 5 中铬铁 8% 才能接近中限要求, 由于铬铁中含有一定量的碳和硅, 加入 8% 铬铁的同时, 势必引起碳和硅的增加。另外, 在保证 $w_{Cr} = 5\%$ 时, 如果全部用高碳铬铁, 碳量必超。如果全部用低碳铬铁, 再用增碳剂调碳, 又会因为低碳铬铁的价格比高碳铬铁的价格高的太多而使生产成本上升。因此在既保证化学成分合格又要降低生产成本的情况下, 应采用低碳铬铁和高碳铬铁搭配使用。在实际生产中, 当炉前化验结果出来后 (碳、硅), 要想很快的正确搭配投料比, 确有一定困难, 而且往往容易忙中出错, 所以要不断总结经验, 做到熟中生巧。为了便于配料, 我们列制了一个如表 6 所示的常规配料表, 操作起来就方便、快捷、准确了。

表 5

类别	化学成分 (质量分数, %)		
	Cr	C	Si
低碳铬铁	60	0.5	2.0
高碳铬铁	62	9.5	3.0

表 6

炉前化验	铬铁加入量 (%)		铬铁代入硅量 (%)
碳 (质量分数, %)	低碳铬铁	高碳铬铁	
0.2	4	4	0.2
0.3	4	4	0.2
	5	3	
0.4	5	3	0.18
	6	2	

使用表 6 有两个问题需要说明:

(1) 有两栏格内的高、低碳铬铁为什么是两种配比呢? 因为尽管都是“中碳多元合金钢”, 由于所要浇注的铸件不同, 根据其服役状况的不同, 所以有意识的取碳的上限或下限 (本文后有所述)。

(2) 炉工在操作中只要注意投料量, 硅含量就不会超限。炉前化验硅含量, 加上铬铁代入硅量的和, 与目标硅量的差, 再加硅铁补充。

在了解上述配料基本知识和注意事项后, 虽然可以指导生产了, 但想要使产品质量更加稳定, 使铸件化学成分稳定在最佳含量范围内, 从而达到最佳物理性能的匹配, 还要进一步了解并懂得影响配料的因素。

4. 影响配料的因素

(1) 即便是同一材质, 由于铸件自身几何形状的不同, 以及铸件服役工况条件的差异, 而有意把其中某个成分控制在上限, 或某个成分应控制在下限。

例如, 球磨机的一仓衬板在服役工作时所承受的冲击力较大, 而二仓衬板所承受的冲击力相对较小。另外, 大直径球磨机衬板所承受的冲击力就大, 而小直径球磨机衬板所承受的冲击力就小。因此即便要求都是“中碳多元合金钢”材质, 但是在配料作业中, 前者的碳量有意识的取下限, 以提高其冲击韧度, 防止工件断裂而失效; 后者的碳量则应取上限, 以提高其硬度, 增强抗磨损能力。隔仓板由于其几何形状复杂, 厚薄悬殊大, 孔多体长, 自身易产生应力, 虽然承受的冲击载荷较小, 其含碳量也应有意识的取下限。


(2) 根据铸件的服役状况, 什么样的铸件应取什么样的金相, 哪个成分的高低对材质金相有什么样的影响, 会引起材质综合物理性产生什么样的变化等。

例如, 油田钻井用的泥浆泵高铬双金属缸套的内套和采石厂用的破碎机锤头, 它们的材质都是高铬铸铁, 由于它们的工况条件不同, 在控制其化学成分的上下限时就存在很大的差异。如碳和锰, 在高铬铸铁中, 碳含量高, 金相中碳化物量就多, 材质相对硬度高, 耐磨性好, 而韧性降低。锰在高铬铸铁中起到稳定奥氏体的作用, 但奥氏体是软相, 硬度低而韧性好, 只有在强冲击磨损条件下才发生相变, 使硬度提高, 耐磨损性能良好。

(3) 泥浆泵缸套的内套主要承受的是滑动磨损, 而几乎不存在冲击磨损, 因而对材质的硬度要求高而对韧性要求相对低些。在高铬铸铁内套材质中, 奥氏体含量是应控制的相, 所以其含碳量应控制在中上限, 而锰含量应控制在中下限。

(4) 破碎机锤头的情况就不同了, 工作中承受着强冲击磨损, 对材质的冲击韧度及硬度要求都高, 而耐磨性和冲击韧度又是一对矛盾, 有时不得不顾此失彼 (为了实现材质冲击韧度和硬度的最佳匹配, 需要弄清诸多因素间的相互关系, 此处不再赘叙)。仅对高铬锤头材质中碳和锰量来说, 碳含量应取中下限, 而锰含量应取中上限。

五、结语

作为一名铸造熔炼技术工作者, 除应详细理解上述技术知识外, 还应经常深入到生产第一线, 取得第一手资料与经验也是至关重要的。在生产中, 要把理论与实践结合起来, 掌握规律, 不断总结经验, 从而制定合理工艺, 只有这样, 工作起来才能得心应手。 

(20051028)