

合成铸铁增碳案例浅析

陈天晴

(苏州兴业材料科技股份有限公司, 江苏 苏州 215151)

1 增碳工艺原理

采用电炉熔炼, 由于废钢加入量大, 铁液 C 含量低, 所以必须添加增碳剂进行增碳。

增碳剂中以单质形式存在的碳, 熔化温度为 3727℃, 在铁液温度下不能熔化, 因此, 增碳剂中的碳主要是通过溶解和扩散两种方式溶于铁液。

增碳方法一般有两种: 一种是在熔化过程中与炉料一起分批直接加入熔化炉内进行增碳; 另一种是炉料化清并去除炉渣后在铁液表面进行增碳。选择何种增碳方法应视增碳量的多少确定。

2 增碳剂的选用

影响增碳剂吸收率的因素主要有加入方法、铁液化学成分增碳剂, 应综合考虑这些因素的影响情况来选择所使用的增碳剂。

(1) 加入方式

加入增碳剂后, 应使增碳剂与铁液充分润湿, 避免增碳剂漂浮在铁液表面产生结团燃烧现象, 加入量大的应采取分批加入的方式。在铁液表面增碳时, 应注意铁液的搅拌强度及增碳剂的加入速度, 确保增碳剂的吸收率。

增碳剂与铁液润湿良好, 增碳吸收率一般在 90%~95%, 个别甚至达到 100%。

(2) 铁液化学成分

C 在铁液中的溶解度为:

$$W(C)_{\max} = 1.3 + 0.025T - 0.31W(Si) - 0.33W(P) - 0.45W(S) + 0.028W(Mn)$$

式中 T 为铁液的摄氏温度。由上式可知, 增加铁液中的 $W(Si)$ 、 $W(P)$ 、 $W(S)$ 量会降低 C 的溶解度, 即降低增碳吸收率; 相反, 增加铁液中的 $W(Mn)$ 量, 会促进铁液对 C 的吸收, 即提高增碳吸收率。

(3) 增碳剂的品质

不同品质的增碳剂具有不同的增碳吸收率。优质增碳剂具有稳定的吸收率, 有利于生产控制, 且节约因二次增碳产生的能源及材料消耗, 降低生产成本。

按 C 的存在形式, 增碳剂分为晶体型石墨增碳剂和非晶体型增碳剂。研究认为, 增碳铸铁的特性和凝固行为取决于增碳剂的结构特性。用晶体型石墨增碳剂进行增碳处理时, 石墨容易溶解, 同时促进铁液按 Fe—C 稳定系进行共晶凝固, 并增加熔融铁液中的结晶核心、降低激冷倾向。所以, 增碳剂的类型决定了增碳铁液的质量, 也影响铁液在结晶过程中的形核能力, 在选择增碳剂时应优先考虑选用晶体型石墨增碳剂。

晶体型石墨增碳剂是经过高温石墨化处理, 其 C 原子从原来的无序排列变成片状有序排列, 能成为石墨形核的最好核心。

增碳剂的来源很多, 形态各异, 根据其加工工艺和成分不同, 价格差异很大, 表 1 为某公司增碳剂指标及其适用性情况。

表 1 增碳剂指标及其优缺点

型号 代码	固定碳 (最低) (%)	硫 (最高) (%)	水分 (最高) (%)	颗粒度 (90%) /mm	含氮量 (最大) (%)	材质	适用	优缺点
DT-CA-02	98.50	0.50	0.50	1~5	N/A	碳质的石油焦类	要求一般的灰铁	优点：含碳量高，价格较低；缺点：对于铁碳结合较慢。
DT-CA-06	99.00	0.30	0.50	1~5	0.10	碳质的沥青焦类	要求一般的灰铁、球铁	优点：含碳量高，价格较低；缺点：对于铁碳结合较慢，但优于碳质的石油焦。
DT-CA-09	98.50	0.05	0.50	0.3~5	0.03	石墨质的石油焦类	要求高的灰铁、球铁	优点：含碳较高，铁碳结合快，纯度高，对于石墨形核有较好的作用；缺点：价格高。
DT-CA-10	95.00	0.30	0.50	1~4	N/A	碳质的煤类	要求一般的灰铁、球铁	优点：价格低，硫份低；缺点：灰分高，铁碳结合慢。
DT-CA-11	99.00	0.03	0.50	0.3~5	0.03	石墨质的石油焦类	要求高的灰铁球铁	优点：含碳较高，铁碳结合快，纯度高，对于石墨形核有较好的作用；缺点：价格高。
DT-CA-12*	80.00	0.10	2.00	1~5	N/A	半石墨质的天然石墨类	要求一般的灰铁、球铁	优点：铁碳结合较快，价格低。缺点：其他杂质含量较高。

*灰分 16.5%。

针对不同的熔炼方式、炉型以及熔炼炉的尺寸，选择合适的增碳剂颗粒度，可以有效提高铁液对增碳剂的吸收速度和吸收率，避免因过小的颗粒度而引起的增碳剂氧化烧损。其粒度最好为：100 kg 炉小于 1 mm，500 kg 炉小于 1.5 mm，1.5 吨炉小于 5 mm，20 吨炉小于 30 mm。

3 增碳案例分析

(1) 案例一

铸件情况及生产条件描述：加 Cu 合金化的 HT250 发动机缸盖，采用 2 吨中频电炉熔炼，炉料为：废钢 30%、回炉料 10%、生铁 60%，加入固定碳 80%、W(S) 量 0.1% 的天然石墨增碳剂进行增碳，化学成分约为：C3.3%、Si1.9%、Cu0.7%、S0.4%，树脂砂造型工艺。

存在问题：铸件抗拉强度只有 220 MPa，加工后的铸件压气漏水率达 50%。

改进措施：改用 W(N) 量 0.05%、固定碳量 98.5% 的石墨化石油焦增碳剂，废钢由原来的 30% 调整到 80%，加入硫化铁控制 W(S) 量在 0.9% 左右，其他化学成分不变。

改进效果：铸件抗拉强度稳定达到 260 MPa 以上，漏水率 3% 以下。

原因分析：①改用的石墨化石油焦增碳剂是经过高温石墨化处理的增碳剂，其 C 原子的有序片状排列是石墨形核的最好核心，有利于促进石墨化，从而使铸件能有效进行石墨化自膨胀消除渗漏。

②加大废钢用量可以避免生铁中粗大石墨的遗传性问题，提高铸件抗拉强度。

熔炼合成铸铁时，应尽量降低生铁的用量和提高废钢的用量，甚至可用全废钢炉料，同时使用

增碳工艺来保证高碳当量；在高温熔炼条件下，使用经高温石墨化处理的增碳剂进行增碳，石墨化作用显著，在铸件上反映出的石墨形态更好，从而有利于提高铸件的力学性能，减少铸件收缩倾向，改善加工性能。

（2）案例二

铸件情况及生产条件描述：材料牌号为 EN-GJS-400-18U-LT 的风电铸件，原生产工艺用传统生铁+废钢+回炉铁熔炼准备原铁液。

存在问题：冲击韧度不能满足验收标准要求。

改进措施：采用优质废钢和增碳工艺准备原铁液。

改进效果：冲击韧度稳定满足验收标准要求，不仅节约能源，降低成本，还缩短了生产周期。

4 经济效果对比

增碳工艺不仅能改善铸件的性能和组织，而且还能降低一定的生产成本，曾有铸造企业对使用国产生铁、进口生铁后进行增碳工艺的成本比较（表 2、表 3），其回炉铁的加入量均为 20%。由表 2 和表 3 可知，使用增碳工艺后原材料分别降低 174 元/t 和 474 元/t。

表 2 使用国产生铁增碳前后的原材料成本

项目		价格/元	使用增碳剂		未使用增碳剂	
			使用比例/%	费用/元	使用比例/%	费用/元
炉料名称	生铁	4 500	40	1 800	70	3 150
	废钢	3 400	40	1 360	10	340
	增碳剂	10 400	1.5	156	0	0
合计		-	-	3 316	-	3 490

表 3 使用进口生铁增碳前后的原材料成本

项目		价格/元	使用增碳剂		未使用增碳剂	
			使用比例/%	费用/元	使用比例/%	费用/元
炉料名称	生铁	5 500	40	2 200	70	3 850
	废钢	3 400	40	1 360	10	340
	增碳剂	10 400	1.5	156	0	0
合计		-	-	3 716	-	4 190

5 结束语

选用合适的增碳剂并大量使用废钢生产的合成铸铁比传统熔炼工艺生产的铸铁在成本和质量上都是有优势的，但要注意的是优质增碳剂应具备以下特性：①颗粒大小适中，孔隙度大，吸收速度快；②化学成分纯净，高碳、低硫、有害成分极微，吸收率高；③产品石墨晶体结构好。