



合成铸铁的熔炼及增碳剂的使用

■ 杨群收, 田永富

摘要: 由于废钢价格比新生铁价格低, 现在已经广泛地使用废钢加增碳剂工艺生产铸铁, 即“合成铸铁”。不但铸铁的化学成分和温度便于控制, 由于增碳剂的孕育作用, 还可以提高铸件的综合物理性能, 降低生产成本。

关键词: 增碳剂; 合成铸铁; 氮含量; 增碳剂吸收因素

一、合成铸铁的概况

由于铸件市场竞争激烈, 且对铸件质量要求越来越高, 另外由于环保要求越来越严格, 因此目前在铸造行业已广泛采用感应电炉熔炼铁液。从原材料的价格上来说, 由于废钢在社会上沉淀存留量较多, 废钢价格比新生铁价格低得多, 所以这几年广泛地用废钢加增碳剂的方法生产铸铁, 即“合成铸铁”。在生产过程中如果工艺操作正确, 不但铸

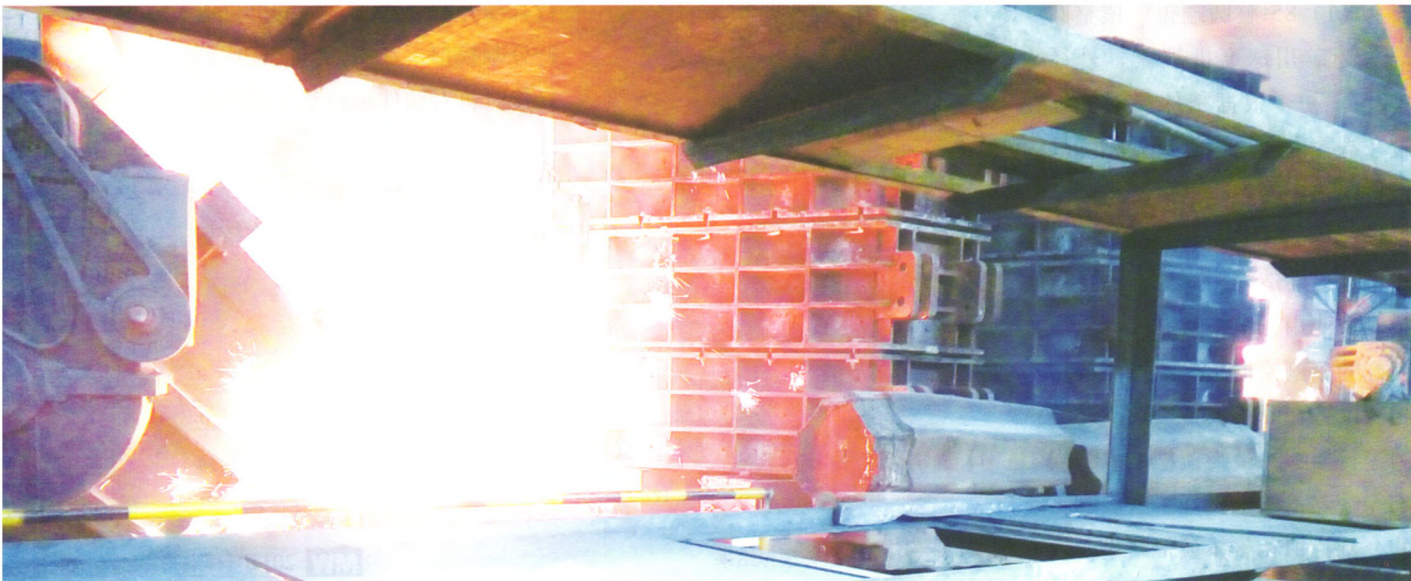
铁的化学成分和温度便于控制, 还可以提高铸件的综合物理性能, 同时也可以降低铸件的生产成本。在合成铸铁技术不断发展、不断完善的过程中, 废钢的加入量也越来越多, 从最初加入量约40%, 现在已经提高到80%, 电炉熔炼铸铁不像冲天炉那样有增碳源, 为了得到合格的含碳量, 添加增碳剂是必不可少的措施, 这样增碳剂的选择和使用方法, 将对改善铸铁组织, 提高铸铁的综合物理性能是至关重

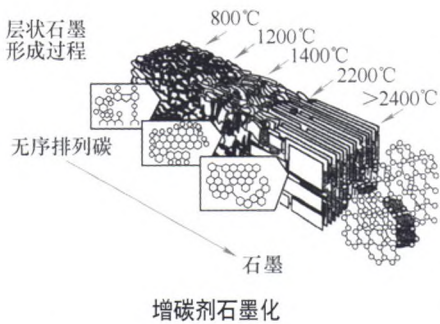
要的。

二、常用增碳剂的种类

增碳剂的种类很多, 可以用作铸铁增碳剂的材料也很多, 生产增碳剂的工艺也不同, 质量悬殊很大, 价格差也很大, 在保证铸件质量的前提下, 应根据铸件的几何形状和质量要求, 正确地选择增碳剂。

优质增碳剂一般经过石墨化, 即在高温条件下, 碳原子的排列呈石墨的微观形态, 如附图





所示。
根据大多数工厂的使用情况，结合笔者在生产过程中使用增碳剂的体会，仅简单介绍两种常用的增碳剂。

1. 人造石墨

在常用的增碳剂中，人造石墨是品质最好的增碳剂。
制造人造石墨的主要原料是粉状的优质煅烧石油焦，在其中加入少量其他辅料。原料配齐后压制成形，然后经2500～3000℃、非氧化性气氛中处理，使之石墨化。经高温处理后，灰分、硫、气体含量都大幅度减少。由于其生产工序多及生产周期较长，所以价格较高。

铸造厂常用的人造石墨增碳剂，大都是制造石墨电极时的切屑，废旧电极和石墨块等循环利用的材料。

2. 煅烧石油焦

煅烧石油焦是目前广泛使用的增碳剂。

石油焦是精炼原油得到的副产品。原油经过常压蒸馏或减压蒸馏得到的油渣及石油沥青，都可以作为制造石油焦的原料，再经焦化后就得到生石油焦。生石油焦中的杂质含量高，不能直接用作增碳剂，必须先经过煅烧处理。石油焦的煅烧是为了脱除

硫、水分和挥发物。将生石油焦在1200～1350℃煅烧，可以使其成为基本纯净的碳。各种石油焦制品的成分列于表1（供参考）。

有资料介绍：①普通煅烧石油焦增碳剂，其因为没有经过高温煅烧，或煅烧温度偏低、时间偏短，氮含量一般在9000ppm左右（1ppm=10⁻⁶），硫含量也高，在白纸上无法画出清晰的痕迹。②高温煅烧石油焦增碳剂，氮含量在300～500ppm，硫比前者低很多。在白纸上可以留下清楚痕迹。③质量最好的高温煅烧石油焦增碳剂，氮含量在100ppm。硫比前者更低。在白纸上可以留下清晰痕迹，手感舒适，就像6B铅笔一样。

根据笔者走访几个工厂所知：很多企业在购买增碳剂时，往往注意的一是增碳剂的价格，二是增碳剂中的固定碳、硫、灰分、挥发分、水分的含量，这些对稳定产品质量和降低生产成本固然是重要的，但往往忽视了一个重要的参数，那就是增碳剂中的“氮”含量。

氮在铸铁中的作用具有两面性：有资料介绍，氮含量每增加10ppm，灰铸铁的强度可提高5～7MPa，同时硬度可增加3～4HBW。一般认为，当氮含量在70～120ppm，可以使石墨变短并具有尾部钝化的作用。氮能强化珠光体基体，提高铸铁力学性

能，但当铸铁的含氮量超过临界点（一般认为约140ppm）时，就会使铸件产生氮气孔。

近年，虽然国外尤其是日本很多企业，要求铸铁的氮含量在60～120ppm，钛含量要求小于0.025%。但是，氮毕竟是惰性气体。

通常氮以三种形态存在于铸铁中：一是溶于液态或固态铸铁中；二是与铁液中的元素形成氮化物；三是从铁液中析出，以单质气体的形式存在，形成气孔。有资料介绍：炉料中废钢的使用量为15%时，铸铁中的氮含量为0.003%～0.005%；炉料中废钢的使用量为50%时，铸铁中的氮含量为0.008%～0.012%；炉料全部为废钢时，氮含量可能高达0.014%以上。由于废钢的加入量不断增加，增碳剂的加入量也不断增加，所以必须重视增碳剂中的氮含量。为了避免铸件出现气孔缺陷，在购买增碳剂时，一定要选购含氮量低的品种，如有可能，应检测增碳剂中的氮含量。现在，不要说增碳剂中的氮含量，就是铸铁中的氮含量，很多企业都不能准确地进行分析。根据笔者的经验，在购买增碳剂时，要购买大型企业的产品，可以在购买前到生产厂家去考察，到已经使用过的用户处去了解，一旦使用后铸件质量稳定，就不要轻易的更换生产厂家，即便是固定的生产厂家，在又一次批量

表1 石油焦制品的成分（质量分数）（%）

品种	固定碳	硫	灰分	挥发分	水分
煅烧石油焦	98.5	0.02～3.0	0.2～0.5	0.3～0.5	≤0.5
合成碳制品	99.0	0.01～0.03	0.1～0.5	—	≤0.5
低硫合成碳制品	99.9	0.01～0.03	0.01～0.03	—	≤0.2

进货时，也要先试用几炉，确定对铸件质量没有影响时，再批量使用。

3. 案例分析

(1) 案例一 我公司和驻马店某大型铸造企业，长期以来一直使用舞钢市某公司生产的增碳剂，产品质量很稳定，后间断使用SD某公司生产的增碳剂，铸件加工后成批出现气孔，严重时铸件落砂后就可以发现。金相分析：气孔周围没有石墨，边缘白亮，呈“贫碳”现象。与埃肯国际贸易（上海）有限公司提供的金相图谱相对比，应该属于氮气孔。表2为出现气孔炉次化学成分检验结果。

(2) 案例二 河北沧州孟村县某厂，生产建筑扣件，选用的材质是QT450—10。球墨铸铁的 w_C 控制在3.5%~3.7%，CE控制在4.5%~4.6%。其配料及化验结果见表3。

根据表2，计算增碳剂的吸收率：

不计烧损增碳剂应代入碳量 = $95\% \times 3.8\% = 3.61\%$

不计烧损所有炉料应代入碳量 = $3.61\% + 0.7\% + 0.225\% = 4.535\%$

增碳剂实际代入碳 = $3.3\% - 0.7\% - 0.225\% = 2.375\%$

增碳剂的吸收率 = $\{1 - [3.61(\%) - 2.375(\%)] \div 3.61(\%)\} \times 100\% \approx 66\%$

需要说明的是，这种煤质增碳剂的吸收率不仅低，而且在炉料熔化完毕，且清理完毕炉口熔渣时，如果因故需要停电或降低功率时，悬挂在炉壁上未熔的增碳剂，就会漂起来布满液面；另

外不仅铸件上有气孔，即便是浇注时掉到砂箱上的跑铁，厚5mm左右，断口上也会有几个小气孔。

更换为石墨增碳剂后，增碳剂的吸收率在85%左右，不仅减少了增碳剂的加入量，而且也消除了上述的气孔现象。

顺便浅谈一下对使用煤质增碳剂的认识：由于煤的含碳量低，含硫高，燃点低（无烟煤700℃），煤质增碳剂的煅烧温度在800℃左右，其石墨化时碳原子为无序杂乱排列，碳原子相互勾连，不易摆脱本体。增碳剂宏观组织致密，质地光滑坚硬，且含杂质多，所以其溶解速度慢、吸收率低。

碳原子经过高温处理，随着温度的提高，碳原子的排列由混乱无序到逐渐地排列有序。无烟煤燃点低，很难进行高温煅烧，没有经过高温煅烧处理，所以不仅含的杂质高，而且还保留着原始的粗大石墨。这些粗大的原始石墨（片），熔点高、稳定性强，在用中频感应电炉熔炼过程中，是无法彻底消除的，这就是通常所说的“遗传性”。这些没有彻底消失的粗大石墨，在铁液凝固时，就形成了最早的石墨核

心，随着其他石墨一起长大，其粗大的石墨形态如同蝌蚪状，叫做“C”型石墨。李传斌在《用感应电炉熔炼灰铸铁时的一些冶金特点》一文提出，新生铁的用量不要大于20%，就是担心新生铁中的粗大石墨，不能够彻底溶解，而产生“遗传性”。生产配料中添加新生铁还要担心“遗传性”，更何况煤中的碳原子，其“遗传性”就更大，会影响铸件的物理性能，即便没有马上反映出来，但工件在服役过程中，这些粗大的石墨片也就可能成为裂纹源，影响铸件的疲劳强度而产生断裂。由于煤质增碳剂的组织致密碳原子排列混乱，其被吸收的速度慢，易漂浮在铁液表面，不能吸收的部分，由于没有彻底熔化，在电磁搅拌的作用下，或挂在炉壁上，或夹裹在铁液中，使铸件形成夹渣、碳化物孔洞等。铁液在凝固过程中，由于石墨膨胀，在没有熔化的增碳剂颗粒位置处，就易形成气孔、气缩孔。

三、影响增碳剂吸收的因素

(1) 增碳剂的自身质量 建议使用煅烧石油焦增碳剂

表2 气孔炉次化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sn	N(ppm)
3.41	1.81	0.78	0.04	0.085	0.5	0.44	0.048	—

注：氮含量使用美国力可公司生产的氮、氧、氢测定仪，型号TCH—600。

表3 配料单及化验结果

（质量分数，%）	扣件回炉料	废钢	增碳剂	备注
炉料含碳量	2.8	0.3	95	煤质增碳剂，厂家介绍含量为95%，吸收率按75%计算
加入量	25	75	3.8	
应代入碳量	0.7	0.225	2.71	
化验碳含量				3.3

或者石墨化增碳剂，即人造石墨。

(2) 铁液的含碳量 一般情况下，铁液的含碳量越低，增碳剂的吸收率越高，当铁液的 w_C 在3.6%以上时，再增碳就困难了。

(3) 铁液的含硅量 铁液中的硅含量越高，越影响增碳剂的吸收，这是因为硅具有排碳作用，降低了碳在铁液中的溶解度。

(4) 铁液的锰含量 原铁液中的锰含量高，有利于增碳剂的吸收。

有资料介绍，初始碳量每增加0.1%，增碳剂吸收率降低1%~2%；硅量每增加0.11%，增碳剂吸收率降低3%~4%；硫量每增加0.1%，增碳剂吸收率降低1%~2%；锰量每增加0.1%，增碳剂吸收率提高2%~3%。由此可见，当铁液中初始碳含量高时，在一定的溶解极限下，增碳剂的吸收速度慢，吸收量少，烧损相对较多，增碳剂吸收率低。当铁液初始碳含量较低时，情况相反。另外，铁液中硅和硫阻碍碳的吸收，降低增碳剂的吸收率。而锰元素有助于碳的吸收，提高增碳剂吸收率。就影响程度而言，硅最大，锰次之，碳、硫影响较小。因此，在实际生产过程中，应先增锰，再增碳，最后增硅。

(5) 炉料和铁液质量 熔炼中防止铁液严重氧化。

(6) 炉工操作 增碳剂还没有被吸收，就不停地往外挑渣，将把增碳剂和熔渣一起挑出来。

(7) 加入时间及加入方法 增碳剂不要先加入炉底，由于增碳剂的熔点高，其是依靠铁液的包围被缓慢地分解吸收的，所以如果直接加入炉底，不但延长增碳剂的分解时间，集聚的高温还可以将炉底烧成海绵状，甚至将炉底烧穿。应在炉底有少量铁液时，增碳剂随废钢一起加入，力争在炉料加入3/5时，把计算的增碳剂加入完毕。

(8) 炉温控制 在正常的生产条件下，铁液温度较高（约1380℃），则碳较易溶于铁液，增碳效率因而较高。

四、增碳剂的加入方法

我们知道用感应电炉熔炼炉料，是由感应圈经导电产生磁场，在炉料中产生电涡流，由电涡流发热以熔化炉料。

废钢的熔点比铸铁高，增碳剂的熔点更高，当废钢在熔化过程中以及熔化之后，增碳剂被加热缓慢的溶解和扩散，增碳剂中的碳才能被钢液侵蚀吸收。钢液逐渐变成铁液，即常称之为“合成铸铁”。

感应电炉在熔炼铁液过程中，具有电磁搅拌摩擦的特性。铁液过热温度高，过热时间长，且又有感应电流的搅拌摩擦，铁液中微细的晶态石墨即自发晶核和外来结晶核心，都会逐渐溶于铁液而消失，或浮经液面与集渣剂黏裹在一起被挑出炉外，这样使铁液中可在共晶结晶时作为石墨外来晶核的物质大幅减少。

由于使用中频感应电炉不但没有增碳源，而且碳还有烧损，

所以为了得到合格的含碳量，添加增碳剂是必不可少的措施。在熔炼中，正确的操作方法，对铁液质量和增碳剂的吸收率也是至关重要的。具体操作方法如下：先在炉底加入30~50kg新生铁或回炉料→少量废钢→（有铁液后）增碳剂+废钢→生铁+回炉料。

五、结语

用废钢加增碳剂生产合成铸铁，在选用增碳剂时，要根据废钢的加入量来选择增碳剂，如果废钢的加入量少，可以选择含氮量适当的增碳剂；如果废钢的加入量多，可以选择含氮量低的增碳剂。优质的增碳剂，不但具有增碳作用，还具有对铁液的孕育作用。由于氮毕竟是气体，且不易检测和控制，所以在购买增碳剂时，力争购买含氮量低的增碳剂为好。

参考文献

- [1] 李传斌. 铸铁的增碳和常用的增碳剂[J]. 金属加工, 2010(9): 25-28.

作者简介：杨群收，现为中国铸造学会质量控制及检测技术委员会委员、河南铸锻协会专家组成员，长期从事灰铸铁、球墨铸铁等汽车配件以及油田钻井用高铬双金属缸套及高铬锤头等耐磨材料的技术工作。在《金属加工（热加工）》等杂志上发表论文二十多篇。田永富，驻马店富景机械有限公司。

MW 20170420