用废钢加增碳剂生产球墨铸铁

河南驻马店新创业管桩附件有限公司 （463000） 杨群收 王明志

受焦炭价格不断上升，节能环保，以及用户对铸件质量要求越来越高等因素的影响，电炉在很多地方已经取代了冲天炉。此外由于生铁价格的不断上升，废钢在社会上沉淀存留量较多而价格较低，所以这几年广泛采用废钢加增碳剂的方法生产球墨铸铁及灰铸铁。

用电炉熔炼废钢加增碳剂生产铸铁件，尽管电炉便于化学成分的调整，且主要元素可以调整到材质要求的范围内，但是如果不采取有效的处理手段，生产出铸件的质量，确与用冲天炉生产出的铸件质量有较大差异。最主要的不同之处就是：用电炉熔炼的铁液，无论是废钢加增碳剂或者是用铁屑作炉料，生产出的铸件白口倾向大，硬度高，造成加工困难。本文就此谈谈笔者的实践体会和认识。

一、冲天炉和电炉熔炼铁液质量差异

1.冲天炉熔炼铁液

冲天炉是用焦炭作燃料，将固体铁块和其他炉料经预热、熔化、过热、还原，最后铁液经炉底流入前炉缸并停留一段时间，对金属液的增核是有利的。现在冲天炉的铁液出炉温度一般在1450℃左右。铸铁中的主要元素碳，在熔炼过程中有一个烧损和吸收的减增过程，由于铁液滴在灼热的焦炭上，就吸收了焦炭中的碳原子，所以在整个熔炼过程中，碳的吸收大于烧损，最终含碳量是增加的。同样，铁液也会从焦炭中吸收部分硫。

在压入球化剂进行球化处理前都要先烫包。由于冲天炉的熔化速度快，当第一包球墨铸铁浇注完毕后再处理下一包时，包内温度还很高，铁液倒入浇包内降温少，所以再进行球化处理时，出炉温度与电炉相比可以稍低些，对球化处理质量（球化剂的熔化及吸收、浇注温度）影响较小。用电炉熔炼铁液，每炉熔炼间隔时间约50～60min，有时其间隔的时间可能会更长些，浇包散热时间长，包内温度低，经球化处理后，包内铁液温度下降约80℃，冬天温度下降的更多，因此用电炉熔炼铁液处理球墨铸铁时，出炉温度要比冲天炉的温度高些。

2. 用感应电炉熔炼铁液对材质性能的影响

（1）对“自发晶核”的影响 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及熔化后，增碳剂被加热并缓慢地溶解和扩散，增碳剂中的碳才能被钢液吸收而逐渐变成铁液，即常称之为“合成铸铁”。由于废钢熔化温度高，钢液变成铁液之后的过热温度往往就高。在高温下，铁液中的碳易于被氧化成CO，其在铁液中的溶解度很小，形成后即释放于邻近液面的大气中。在生产实践中我们发现，当高温钢液倒入浇包后，浇包中有放射状火花飞出（俗称“贼花”），即可能是高温氧化的释碳现象。

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，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，或浮至液面与集渣剂粘裹在一起。

硫在铸铁中尤其是在球墨铸铁中属于有害元素。但有关资料介绍：当$w_S<0.06\%$时，硫的一些有益作用就无法得到发挥。在铸铁中存在有细小而分散的硫化物夹杂，能在石墨的生核和成长中起积极而有益的作用。用感应电炉熔炼废钢加增碳剂的合成铸铁，其最终含硫量一般在$w_S\leqslant0.03\%$。如果

原铁液的含硫量过低，球化剂中的镁就无法与硫化合，过多的残余镁量不但阻碍石墨化，而且还会使铸件产生缩孔、气孔等铸造缺陷。如果减少球化剂的加入量，又会影响到球化率。

合成铸铁在感应电炉中，受含硫量过低，过热温度高，以及电流的搅拌摩擦等因素影响，铁液中石墨化核心大幅减少。这种缺乏石墨化结晶核心的铁液，过冷度很大，对孕育处理的回应能力极差，很难通过常规孕育处理措施，使铸铁具有符合要求的微观组织，因而即使化学成分完全符合要求，浇注出的铸件也会产生硬度高的问题。

（2）对材质质量的影响 ①感应电炉熔炼时，铁液温度可以提升到1570℃以上，并可在高温状态下长时间保温，使原材料带入的夹杂物，以及在熔炼过程形成的渣及夹杂物上浮至铁液表面。对于废钢＋增碳剂，尤其是粒子钢＋废钢＋增碳剂＋回炉料，这些炉料无论是废钢、粒子钢或是粒子铁，大都是白口组织，其具有较强的遗传性，而消除遗传性就需要适当地提高熔化温度，增加保温时间，才能较好地净化铁液，减少铸件缺陷。②合金元素烧损量低，铁液中锰、硅的烧损低于冲天炉熔炼，便于各元素的调控，能够稳定化学成分。③生产球墨铸铁时，含硫量过高将会直接影响到球墨铸铁的质量。如产生球化级别低，材质强韧性差，以及铸件有夹渣等铸造缺陷。用电炉熔炼铸铁时不存在增硫反应。④用废钢＋增碳剂生产合成铸铁时，由于废钢的夹杂物含量低，成分稳定，加增碳剂经高温熔炼之后，消除了炉料的遗传性，铁液的纯净度得到提高，同时增碳剂具有孕育作用，使石墨化效果更加稳定突出，铸件的基体组织晶粒会更加均匀、细化，因此铸件材质的韧性和强度均得到提高。

二、优化操作程序

用电炉熔炼废钢＋增碳剂生产球墨铸铁时，若想稳定产品质量，需要“补短”，主要是解决金属液在凝固结晶时自发晶核少，铁液过冷度大，石墨化能力差，以及铸件硬度高的问题。

具体的操作方法如下：

（1）在熔炼后期要注意“自发晶核”的培养。加入适量的废钢使铁液激冷，同时加入适量的硅铁及细颗粒的增碳剂，上面覆盖保温剂，并降低功率或停电保温一段时间，以促使析出微细的晶态石墨。

（2）在出炉或浇注过程中，进行充分的多次孕育处理，以补充“外来晶核”，可以添加小颗粒的增碳剂、硅铁粉及复合孕育剂，虽然加入量很少，但是促进生核的效果很好。

（3）如果含硫量过低（特别是生产灰铸铁时），可适量加入硫铁，但必须控制在要求的范围内。

总之，优化操作程序指的就是：炉料入炉的先后顺序，熔炼中的温度和出炉温度的控制，化学成分的选控，以及强化孕育和复合孕育。

三、应用实例

我公司的产品是汽车轮毂，造型采用的是铁模覆砂工艺，材质是QT450－10，其硬度要求160～210HBW（用户要求铸件的硬度≤200 HBW）。

1. 化学成分的选择

碳当量取CE＝4.6%～4.8%，化学成分为w_C＝3.6%～3.9%，原铁液w_{Si}＝1.4%～1.5%，w_S≤0.035%，终铁液w_{Si}＝2.65%～2.9%，w_{Mn}＝0.3%～0.4%，w_P≤0.05%，w_S≤0.022%，$w_{RE残}$＝0.02%～0.04%，$w_{Mg残}$＝0.03%～0.06%。

在实际生产中，碳当量控制在中上限，含硅量力争控制在上限，旨在提高铁液的石墨化能力。

2. 炉料的加入顺序及温度控制

炉料主要是废钢、粒子钢、回炉料、增碳剂，以及很少一部分新生铁。

先在炉底加入大块废钢或少量回炉料，以及部分增碳剂（根据炉料情况凭经验而加，以防增碳剂堆积形成高温层），边熔化边加废钢和增碳剂，尽可能在粒子钢没有加入前，将增碳剂需要加入量的60%～70%加完。在这段时间里，为了提高增碳剂的吸收率，消除铁液中的遗传性，宜采用大功率高温熔炼。

但上述加料方法也存在着两个问题：①当铁液含碳量达到一定量时，再提高铁液含碳量就困难了。②在熔炼后期加入粒子钢，炉内金属液喷溅严重，不能保证安全生产。

因此，也可以采用另一种加料顺序，先熔化粒子钢，边熔化边往外除渣，当熔化完毕需加入

量（一般40%～50%）并达到一定温度时，关闭电源，消除炉内液面“驼峰”，使液面平稳，熔渣就会往液面中心聚集，这样就便于除净熔渣。熔渣清除干净后，就可以适当多地加入增碳剂，启动电源高功率熔炼，边加废钢边加增碳剂直至炉满，然后加入部分硅铁取样分析。

球墨铸铁金属液是Fe-C-Si-O合金液，其内部存在化学反应与反应平衡问题。

平衡温度在1390～1420℃之间，故推荐球化处理温度为（1450±20）℃。如果增碳剂加热温度高于平衡温度时，铁液中的碳氧化损耗增加，增碳剂的吸收率降低。当加热温度低于平衡温度时，增碳剂的溶解扩散速度下降，因而增碳剂的吸收率也较低。另外，在实际生产操作中，很难把炉温控制在平衡温度附近。提高炉温可以加快增碳剂的溶解和扩散，有利于铁液对碳的及时吸收而缩短碳的氧化时间，尽可能地使吸收远大于损耗，同时也有利于提高熔化速度。因此，在熔炼过程前期我们采用大功率高温熔化。

由于粒子钢的含渣量太多，在熔化粒子钢过程中，需要用特制的勺往外舀渣，所以增碳剂不宜与粒子钢混装熔化。当炉料熔化完毕并彻底清除熔渣后，留下10%的增碳剂作为波动可调空间，其余的全部加入，并加盖保温剂。

在炉内温度升高且增碳剂溶解并被铁液吸收后，清除保温剂及熔渣，在加入的部分硅铁上面覆盖保温剂，硅铁的加入量，应在代入硅1.2%（质量分数）左右，这是因为废钢和粒子钢的含硅量都很低，加入部分硅铁，一是为了起到脱氧作用；二是为了缩小后期调整范围，使成分含量更加准确；三是为了铁液成分含量不超过热分析仪的测量范围，避免测量失败。

还需说明的是，无论在任何阶段需要添加增碳剂和硅铁时，都要先加增碳剂，待增碳剂溶解扩散并被吸收后，再加硅铁，以提高增碳剂的吸收率。这是因为硅具有排碳特性，即硅量的增加，降低了碳在铁液中的溶解度。

当炉温达到1320℃左右时，清除液面熔渣，取样倒入热分析仪样杯中。当热分析结果出来后，调整原铁液的C、Si含量。

3. 采取有效措施强化孕育

使用孕育剂的种类有75SiFe、增碳剂、硅钙钡复合孕育剂。用增碳剂进行炉内、包内双重孕育；用硅铁进行冲入孕育及浮硅孕育；由大包倒入浇包时加入硅钙钡复合孕育剂进行随流孕育。只要经热分析仪测报含碳量不超上限，出炉前在炉内液面、球化包底球化反应结束扒渣后，在球墨铸铁液面要适量加放一些细颗粒（0.5～1.0mm）的增碳剂。尽管这样增碳剂的吸收率较低，但是确能产生大量的“外来晶核”，促进石墨化，有利于石墨的生成。

4. 球化温度的控制

球化温度是根据铸件的大小、壁厚及材质的不同而灵活掌握的。各企业有各自的习惯做法。如山东临沭某机械厂用10t包处理球墨铸铁，当包底有一定的铁液后，为降低下部铁液温度，延缓球化剂的起爆时间，减少反应沸腾，顺包边加放“热铁块”，便于降温浇注大型铸件，效果很好；濮阳某铸造厂，用废钢生产球墨铸铁，出炉温度1550℃，当包内铁液达到3/4时，停止倒铁液，让球化包内铁液进行球化反应，同时将炉内剩余1/4的铁液继续升温，包内球化反应结束并清理浮渣，加孕育剂后再出炉内剩余1/4的铁液，这时炉内铁液温度已达1570℃，用这种方法进行球化处理，生产出的铸件内在质量好，无气孔等铸造缺陷。

在出炉之前的熔炼中，要经历一个先高温后低温的过程，先高温便于消除铁液中的“遗传性”，促进增碳剂的吸收，后适当降低温度便于晶核的复生和球化处理。在生产实践中，我们将原来的球化处理温度控制在1560～1570℃（用测温仪），生产的铸件硬度偏高，其硬度常在200HBW左右，有时硬度还有超标现象而影响产品质量。后来将出炉温度控制在1430℃左右，铸件硬度满足了技术要求。

5. 产品检测质量

我公司采用铁模覆砂造型工艺生产的QT450－10轮毂， 经检测，球化级别2～3级，石墨大小6～7级，硬度160～170HBW。铸件实体切割取样做力学性能试验，抗拉强度≥500MPa，伸长率为13%～16%（最高可达22%），质量非常稳定。**MW**

（20120710）