熔炼技术对灰铸铁质量的影响

一拖（洛阳）铸造有限公司 （河南 471004） 杨永录 宋 岩 李朝峰

【摘要】介绍了冲天炉与感应电炉双联熔炼和中频感应电炉熔炼生产灰铸铁件的熔炼技术，并结合生产经验和认识，论述了熔炼技术对灰铸铁件组织性能的重要影响。生产实践证明，稳定的原材料质量，合理的炉料配比，稳定的化学成分，以及高温熔炼和良好孕育是生产高质量灰铸铁件的前提和基础。

熔炼是生产高质量铸铁件的前提和基础，铸铁的熔炼技术直接影响铸造企业产品质量控制水平。铸铁的内在质量、外观质量，以及缺陷的控制都与铁液质量有直接关系。铸铁的熔炼技术包括原材料质量、炉料配比、铁液温度和成分控制，以及孕育处理等方面的工艺控制。本文介绍了冲天炉与感应电炉双联熔炼以及中频感应电炉熔炼生产灰铸铁件工艺，探讨生产高品质灰铸铁件的熔炼技术。

一、熔炼技术的发展

1. 熔炼方式

熔炼技术的发展与改进主要围绕提高铁液质量，提高效率，节约能耗，以及改善环境等方面进行。目前，铸造企业的熔炼方式主要有两大类：一是冲天炉与感应电炉（有芯保温电炉、无芯保温感应电炉等）的双联熔炼方式；二是中频感应电炉熔炼方式。环保问题是许多企业选择电炉熔炼的原因之一。

2. 双联熔炼与中频感应炉熔炼的特点

冲天炉与感应电炉双联熔炼方式具有连续供应铁液，且铁液过热温度高，以及有利于消除炉料遗传性等优点，但是冲天炉排放大量废气和烟尘，会造成环境污染，因此需要良好的通风除尘和脱硫环保设施。发展热风大排距冲天炉是双联熔炼技术发展的趋势，如潍柴铸造公司引进35t/h富氧热风冲天炉与80t有芯保温电炉双联熔炼，在国内铸造行业居于领先地位，冲天炉出炉温度达到1500～1550℃。

中频感应电炉熔炼铸铁，存在铁液保持时间长，铁液搅拌作用强，铁液氧化严重，减少石墨核心，白口、缩孔倾向大，以及铁液流动性差的缺点。中频感应电炉熔炼过热温度一般在1500～1550℃，与冲天炉内高达1700℃的过热温度相比，在消除新生铁粗大石墨组织方面处于劣势。但是中频感应电炉具有操作简单，改换材质牌号容易，以及调整成分方便等优点。在生产实践中，掌握好中频感应电炉熔炼技术，同样可以生产高质量的灰铸铁件。东风汽车公司在采用电炉熔炼方式生产高质量铸件方面积累了丰富的生产经验，具有成熟的中频感应电炉熔炼技术和生产工艺。

3. 熔炼技术发展促进铸件质量的提高

无论采取何种熔炼方式，每一个铸造企业都需要摸索和掌握适合本企业的成熟有效的熔炼技术，以保证铸件材质性能的稳定性。我公司的熔炼方式经历过从五六十年代的内水冷冲天炉熔炼到八九十年代的外水冷冲天炉与感应电炉双联熔炼，再到目前的中频感应电炉熔炼，每一次熔炼方式的改进，对灰铸铁的熔炼技术都意味着发展。从生产低牌号

（HT150、HT200）的履拖铸件，到生产大功率轮式拖拉机底盘件，再到生产高质量发动机铸件，熔炼技术在实践摸索中得到改进和提高。一拖公司熔炼技术的发展在一定程度上是铸造行业熔炼技术发展的一个缩影。

二、双联熔炼技术

1. 双联熔炼铁液的质量要求

双联熔炼生产的核心是冲天炉熔炼，感应电炉在生产工艺流程中的主要作用是储存铁液、均匀铁液成分和保温升温。冲天炉熔炼优质铁液的根本在于铁液的熔炼温度，其直接影响铸件本体的金相组织和力学性能的稳定性。冲天炉铁液的出炉温度过低时，直接造成铸件本体组织石墨粗大和石墨长度偏长问题。铁液温度的稳定也是冲天炉铁液成分稳定的重要前提。

2. 炉料和焦炭质量控制

焦炭的选择对冲天炉熔炼温度有直接影响。生产实践证明，使用改良焦时，冲天炉铁液出炉温度一般在1420～1460℃。例如，某铸件指定取样部位（厚度40mm）的石墨形态几乎80%石墨长度为3级（客户要求4～6级）。而改用优质铸造焦后，铁液出炉温度达到1480～1510℃，彻底解决了该铸件石墨长度不合格的问题。因此，双联熔炼生产高质量铸件的前提是使用优质铸造焦，以保证冲天炉铁液的熔炼温度。

新生铁本身具有粗大石墨片（见图1），控制生铁的加入比例有利于提高铁液质量的稳定性。冲天炉熔炼温度提高的另一个结果是提高了铁液的增碳率，使炉料配比中废钢加入比例增大。生铁中的微量元素Pb、As等对铸件质量有较大影响。据相关资料介绍，铸件中Pb含量偏高时造成铸件出现异常石墨组织，缸体、缸盖铸件渗漏比例异常增加。因此，选用生铁时一定要重视微量元素含量。使用锈蚀严重的废钢或轻薄生活废钢时，不仅影响炉料熔化的出铁率，而且会对铁液质量产生不利影响。

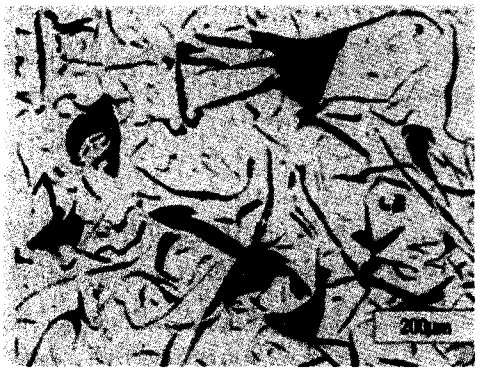


图1 生铁中的粗大石墨

3. 化学成分控制

在化学成分控制上，对于不同结构和特点的零件要有不同的工艺要求。双联熔炼采用连续出铁熔化的方式进行生产，而实际生产中需要浇注各种类型的零件，且这些零件所要求的出铁温度也会不一致。

在电炉内铁液w_C= 3.20%～3.35% 、w_{Si}=1.5%～1.7%时，通过添加合金来保证铸件的材质性能。对于厚壁零件，炉前包内加入一定量的小块废钢，不仅可以降低碳含量，而且可以使铁液降温，满足厚壁铸件铁液浇注温度低的需要。

铬是很强的珠光体促成元素，在提高铸件硬度和强度方面作用明显。相对于其他合金元素，铬铁的价格最低，因此铬是生产高强度灰铸铁件最常用的合金元素。但是，在铸铁凝固过程中，铬促成渗碳体的作用很强，使铸铁的白口倾向增大，过高的铬容易造成铸件料硬。一般铬控制w_{Cr}= 0.15%～0.35%。

铜、锡和钼主要用于生产发动机缸体、缸盖铸件，其中铜与铬配合可减轻铬的白口化倾向。锡具有强烈促进珠光体能力，少量的Sn（w_{Sn}=0.04%～0.06%）可以提高铸件硬度（增加10～15HBW），同时使铸件珠光体含量达到95%以上。

4. 孕育工艺

孕育处理是生产高质量铸铁的主要工艺途径。良好的孕育可以减少白口，促进A型石墨的形成。孕育剂的类型根据不同需要选择，在实际生产中，主要采用复合孕育剂与普通硅铁配合使用的方法，即使用硅钡孕育剂（或稀土钙钡孕育剂、硅锶孕育剂等）与普通硅铁孕育剂配合使用，比例大致各50%。由于复合孕育剂价格偏高，过多加入不仅成本高，对铸件组织也有不利影响。孕育剂的选择只是一方面，更重要的是要保证铁液孕育的均匀。生产实践证明，直接将孕育剂加入包底，采用冲入法处理，其结果会造成铸件组织不均匀，特别是包内剩余铁液时，铸件石墨形态较差。后改用炉前随流

孕育（出铁槽处加漏斗，见图2）的方式，可有效解决铸件石墨形态不稳定的问题。



图2 炉前随流孕育装置

三、中频感应电炉熔炼技术

1. 铁液熔炼的基本要求

中频感应电炉熔炼高质量铁液需把握两个重要环节：一是控制新生铁加入比例，多用废钢；二是保证铁液在高温状态下（1500～1550℃）进行过热处理。

2. 炉料配比

为了减小新生铁粗大石墨片对铸件组织的不利影响，控制生铁的加入比例，多用废钢。东风汽车公司的经验介绍：生产发动机缸体铸件时，废钢加入量60%～80%，与同成分少加废钢（10%～20%）相比，强度高出19.8MPa，硬度下降9HBW，缸体渗漏率低2%。因此，多用废钢代替新生铁，可以降低原材料成本。在实际生产中，一般回炉料的比例为30%左右，废钢加入比例控制在40%～50%，新生铁加入20%～30%。

3. 铁液成分控制

中频感应电炉在调整和控制铁液成分方面具有优势，可以通过调整炉料配比和补加调整保证铁液成分，满足工艺要求。因此，中频感应电炉铁液成分控制主要是两方面：一是控制w_S=0.06%～0.10%，以保证良好的孕育效果；二是铁液在保温过程中的元素烧损增减要充分考虑。一般在1450℃以下铁液成分变化表现为碳、硅、锰烧损，而在1480℃以上时，铁液成分变化表现为碳、锰烧损和增硅。铁液温度越高，碳含量烧损倾向越大，可以达到每小时0.1%的碳烧损。在空班或停产时，铁液的保温温度控制在1350～1380℃。需要说明的是，如果铁液保温时间过长时（隔班），会造成铁液晶核减少，影响孕育效果，为此需要在恢复生产前补加一定量的冷料进行调整。

增碳剂是中频感应电炉熔炼重要的原材料。增碳剂的质量和使用方法直接影响铁液的熔炼质量。增碳剂的类型主要有碎废石墨电极料、石油焦等。前一种增碳效果较差，即使使用也是在炉料熔炼阶段提前加入炉内。熔炼后期碳含量的调整主要使用高温焙烧过的石油焦型增碳剂，增碳率可以达到80%～90%。某些铸造企业采用碳化硅作为增碳材料，同样只用于熔化阶段加料。优质的增碳剂要求氮含量低，有资料表明，铁液中氮含量达到一定临界值，铸件将产生弥散分布的裂隙状氮气孔。

4. 孕育工艺

由于中频感应电炉熔炼铁液白口化倾向较大，铁液石墨核心减少等因素，在孕育材料和孕育工艺选择上，优先选择硅钡孕育剂与硅铁孕育剂复合孕育。有些厂家随流孕育时使用硅锆孕育剂，锆有脱氧作用，有利于提高铁液的流动性，能减轻铸铁的白口倾向，促成均匀、细小的A型石墨，而且还有减缓孕育衰退的作用。硅锶孕育剂主要用于生产缸盖等易渗漏产品，在不增加共晶团基础上，改善铸件组织均匀性和白口倾向。在孕育方法上，采用电炉出铁时随流加入。

5. 过热处理

铁液温度的提高，可以改变铁液纯净度，消除炉料中粗大石墨组织，细化晶粒。但是，铁液温度过高时或高温时间持续过长，会造成碳烧损严重，石墨晶核大量减少，铸件容易形成E型石墨，且石墨长度变长。一般控制过热温度在1500～1550℃，过热时间7～10min。对于每次筑炉烧结的铁液，一般不要浇注缸盖类铸件，以防止铸件出现渗漏异常。

四、结语

无论是双联熔炼方式还是电炉熔炼方式，生产高质量铸件的基本要素包括稳定的原材料质量，合理的炉料配比，高温熔炼或高温过热处理，稳定的化学成分，以及良好的孕育处理等方面。**MW**

（20120416）