DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.05.010

中频感应电炉熔炼灰铸铁的工艺与质量控制

段平昌,黄　涛
(中国建材集团 凯盛重工有限公司,安徽 淮南 232008)

摘　要:针对中频感应电炉熔炼灰铸铁的特点和电炉铁液的特性,分析了原材料选用、炉料配比、化学成分、增碳率、熔炼温度和孕育处理等对灰铸铁的强度等性能的影响,阐述了中频感应电炉熔炼灰铸铁铁液的工艺与质量控制及改进,提出高纯净度铁液对确保灰铸铁铸件高质量和高性能的重要性。结果表明,通过工艺改进,可以提高灰铸铁铸件的质量和性能、减少或消除铸造缺陷、降低废品率。

关键词:灰铸铁;中频感应电炉熔炼;质量控制

中图分类号:TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)05-0450-06

Melting technology and Quality Control of Gray Cast Iron in Intermediate Frequency Induction Furnace

DUAN Pingchang, HUANG Tao
(CNBM Triumph Heavy Industries Co., Ltd., Huainan 232008, China)

Abstract: According to the characteristics of medium frequency induction furnace melting gray cast iron and the characteristics of electric molten iron, the effects of raw materials selection, charge ratio, chemical composition, carbon rate, melting temperature and inoculation treatment on the strength and performance of gray cast iron were analyzed. The process, quality control and improvement of melting molten iron of gray cast iron in intermediate frequency induction furnace were described. The results show that the quality and performance of gray cast iron castings can be improved, the casting defects can be reduced or eliminated, and the reject rate can be reduced.

Key words: gray cast iron; intermediate frequency furnace melting; quality control

在目前铸造企业的铸铁生产中,冲天炉熔炼因环保难以达标已大多被关停,铸造企业现多改用中频感应电炉熔炼铸铁。与冲天炉相比,中频感应电炉熔炼工艺相对简单;铁液的化学成分和温度容易控制,不增碳不增硫,有利于低硫铁液的获得;环境污染小,炉前冶炼的工作环境和劳动强度也大为改善;利用夜间电价低谷熔炼,生产成本可控制大致与冲天炉熔炼相当;同样化学成分的铁液、同样的铸型浇注的铸件,中频感应电炉比冲天炉熔炼的灰铸铁强度和硬度高;中频感应炉铁液比冲天炉铁液过热温度高、流动性差,并具有以下不良特性:铁液的晶核数量少,过冷度、白口和收缩倾向大,铸件厚壁处易产生缩孔和缩松,薄壁处易产生白口和硬边等铸造缺陷。在亚共晶灰铸铁中,A 型石墨数量极易减少,D、E 型石墨及其伴生的铁素体数量增加,珠光体数量少。所有这些再加上日常生产中存在的一些其他不当因素,都在生产中表现为铸件质量的波动,影响了铸铁的正常生产。

针对中频感应电炉熔炼灰铸铁出现的新问题,笔者克服了灰铸铁电炉熔炼工艺技术资料少,实践、探索难度大等诸多困难,逐步摸索和总结积累了一些生产技术经验和体会,期望能对正处于艰难经营和转型升级阵痛中的中小铸造企业提供帮助。

1　原材料的选用及炉料配比

采用炉料的优劣直接影响铁液的质量,中频感应电炉熔炼灰铸铁对于炉料的清洁和干燥程度要求较高,炉料不干净、含有有害元素或熔炼控制不当,会导致铁液氧化和纯净度低,严重恶化铁液的冶金质量,影响铸铁的基体组织和石墨形态,引发孕育不良、白口和缩松倾向大、气孔多等问题。因此应强化对原辅材料的管理,严禁使用锈蚀严重、有油污的炉料。同时,为提高铁液的纯净度和稳定铁液的化学成分,应选用碳素钢废钢做炉料,并使其在炉料配比中占一半以上;对于回炉料应选用同材质铸件浇冒口,并清理掉粘附的型砂和涂料后再使用,使用量以

收稿日期:2020-03-08

作者简介:段平昌(1967-),安徽淮南人,工程师.主要从事钢铁及铸造原辅材料的分析检测、实验室的管理和钢铁的熔炼工艺技术方面的工作.电话:15505546629,E-mail:dpc123@126.com

40%左右为宜；废铁屑也应是同材质铸件机加工铁屑；对于生铁，因其中的杂质和微量元素以及组织缺陷都具有遗传性，应选用来源稳定、干净少锈、有害元素含量低、最好是Z18以上牌号的铸造生铁，这样的生铁生产的铸件内在质量好且稳定，不要轻易变换生铁的来源，否则对于使用存在不合格因素的炉料而可能引起的质量问题将防不胜防，并且生铁的加入应在熔炼初期加入为好，配比可占15%左右，以利于改善铸铁的石墨形态；增碳剂应选用商品石墨增碳剂或经高温石墨化处理过的增碳剂，并在熔炼中尽量早加，使增碳剂与铁液直接接触，且有充足的时间熔化吸收；铁合金和孕育剂应化学成分合格、粒度适宜、用前适当预热。配料时应预先根据炉料配比及材料成分计算出C、Si、Mn等元素的含量，不足的部分用增碳剂和铁合金调整。在熔炼后期成分微调时，如果C含量偏低可加生铁增碳；若C含量偏高可加入低碳废钢降碳。

2　化学成分的影响

碳和硅是强烈促进石墨化元素，C、Si偏高，会导致石墨粗化、铁素体量增多、珠光体量减少，铸铁的强度和硬度下降。铸铁基体的强度是随珠光体量的增加而提高的[1]，因此，在高强度灰铸铁中，C、Si含量应在一定范围内适当降低，在保证获得灰口的同时，有利于细化石墨、促进形成珠光体、提高力学性能。碳当量CE和Si/C比显著地影响灰铸铁的组织和性能，选定适当的CE和Si/C比，对改善铸铁的组织、提高铸铁的性能是有利的。CE是影响灰铸铁铸件内在质量的最主要的因素，CE提高可大大改善铸铁的铸造性能，减少白口、缩孔、缩松和渗漏缺陷，降低废品率，这一点对于薄壁铸铁件尤为重要。但CE过高，石墨析出数量增加，铁素体化倾向明显，会降低铸件的抗拉强度和硬度，铸件厚壁处因冷却速度慢，易产生晶粒粗大、组织疏松缺陷；如果CE过低，铸件薄壁处易形成局部硬区，导致机加工性能变差。因低CE，灰铸铁组织中易出现共晶莱氏体及D、E型过冷石墨，致使铸造性能降低、铸件断面敏感性增大和内应力增加、硬度上升。适当的提高Si/C比，可提高铸铁的强度，改善铸铁的切削加工性能。在相同的条件下，不同的Si/C比能使铸铁的力学性能和组织产生较大的差异。当CE一定时，Si/C值从0.6提高到0.8，灰铁的强度和硬度出现峰值；当Si/C值一定时，灰铁的强度和硬度随CE的增大而降低。在生产现场严格控制CE的同时，应选择和控制适宜的Si/C比。中频感应电炉熔炼灰铁的CE应高于冲天炉熔炼的同牌号灰铁0.3%左右，C含量应高于冲天炉熔炼约0.1%，并控制Si/C比在0.6~0.7，使铸铁保持合适的硬度和较高的抗拉强度。

锰和硫是稳定珠光体、阻碍石墨化的元素。锰能促进和细化珠光体，锰量增加可提高铸铁的强度和硬度以及组织中的珠光体含量，锰能促进生成和稳定碳化物，并能抑制FeS的产生。锰还和硫形成高熔点的化合物作为异质形核，细化晶粒，所以锰在高牌号灰铸铁中使用量加大。但锰含量过高，又影响铁液结晶时形核，减少共晶团数量，导致石墨粗大，并产生过冷石墨，反而会降低铸铁的强度。硫在灰铸铁中属于限制元素，适量的硫在石墨的生核和成长中起积极而有益的作用，可以改善灰铸铁的孕育效果和机加工性能。中频感应炉熔炼灰铸铁，为了确保孕育效果，一般要求 $w(S)\geqslant0.06\%$，但是最好小于 $\leqslant0.08\%$。而磷在灰铸铁中一般是有害元素，易在晶界形成低熔点的磷共晶，造成铸铁冷裂。因此，在灰铸铁中通常磷越低越好，对于有致密性要求的铸铁件，磷量应低于0.06%。

在实际生产中，应根据不同灰铸铁铸件的牌号、壁厚、大小、结构复杂程度等因素优化化学成分设计，严格控制各元素的波动范围，这对于保证灰铸铁铸件的质量和性能非常关键。

3　中频感应电炉熔炼灰铸铁的工艺与质量控制及改进

3.1　增碳率的控制和增碳剂的使用

采用中频感应电炉熔炼灰铸铁时，许多人都以为只要炉前控制住铁液的化学成分和温度，就能熔炼出优质铁液，但事实并非如此。中频感应炉熔炼灰铸铁的重中之重是控制增碳剂的核心作用，核心技术是铁液增碳。增碳率越高，铁液的冶金性能越好。这里所说的增碳率，是铁液中以增碳剂形式加入的碳，而不是炉料中带入的碳。生产实践表明，在炉料配比中生铁比例高，白口倾向大；增碳剂比例增大，白口倾向减小。这就要求在配料中要多用廉价的废钢和回炉料，少用或不用新生铁，这种采用废钢增碳工艺的铁液中存在大量细小的弥散分布的非均质晶核，可降低铁液的过冷度，促使以A型石墨为主的石墨组织的形成[3]。同时，生铁用量的减少，也减小了生铁粗大石墨的不良遗传作用，而且灰铸铁的性能也随着废钢用量的增加而提高。在实际生产中就曾发现，在废钢用量约为30%的情况下，同样用废钢、回炉料、新生铁做炉料，在化学成分基本相同时，

中频感应炉熔炼的灰铸铁比冲天炉熔炼的性能低，强化孕育效果也不明显，这就是废钢用量少、增碳率低的缘故。由此足见增碳对于保证灰铸铁的铁液质量、改善灰铸铁的组织与性能的重要性。

灰铸铁的性能是由基体组织和石墨的形态、大小、数量及分布决定的，改变石墨形态是改变铸铁性能的重要途径。相比而言，基体组织较容易控制，它主要取决于铁液的化学成分和冷却速度。但石墨形态却不容易控制，它要求铸铁的石墨化程度要好。而奇怪的是只有新增碳才参与石墨化，炉料中的原始碳并不参与石墨化。如果不用增碳剂，熔炼出的铁水虽然化学成分合格，温度也合适，孕育也合理，但铁液表现却难尽人意：看似温度较高，流动性却不太好，缩孔、缩松倾向大，易吸气，易产生白口，截面敏感性大，铁液夹杂物多，所有这些都是铁液增碳率和石墨化程度低造成的。

碳在原铁液中的存在形式主要为细小的石墨和碳原子，从细化石墨的角度考虑，原铁液中不希望有过多的碳原子，其势必会减少石墨的核心数，并且碳原子在冷却过程中更易形成渗碳体，而细小的石墨可以直接作为非均质形核核心。细化石墨、增加核心是实现铸铁高性能的关键，增大增碳剂用量可以增加形核核心数量，进而为细化石墨打下坚实的基础。因此，在实际生产中应强调增碳剂的使用和增碳效果：①增碳剂的吸收率与其 C 含量直接相关，C 含量越高，则吸收率越高；②增碳剂的粒度是影响其溶入铁液的主要因素，实践证明，增碳剂的粒度应以 1~4 mm 为好，有微粉和粗粒增碳效果都不好；③硅对增碳效果有较大影响，高硅铁液增碳性差，增碳速度慢，故硅铁应在增碳到位后加入，要遵循先增碳后增硅的原则；④硫能阻碍碳的吸收，高硫铁液比低硫铁液的增碳速度迟缓很多；⑤石墨增碳剂能提高铁液的形核能力，吸收率也比非石墨增碳剂高 10%以上，故应选用低氮石墨增碳剂；⑥增碳剂的使用方法推荐使用随炉装入法，即先在炉底加入一定量的小块回炉料和废钢，然后把增碳剂按配料量需要全部加入，上面再压一层小块废钢和生铁，之后再边熔化边加炉料。此法简便易行，生产效率高，吸收率可达 90%。如果增碳剂的加入量很大，可以分两批加入，先加 60%~70%于炉底废钢垫层上，剩下的在继续加废钢的过程中加入。在铁液温度 1 400~1 430 ℃时也可加增碳剂，目标是要把铁液 C 含量增至达到牌号要求上限；⑦增碳剂的加入时间不可过迟，在熔炼后期加入增碳剂有两方面不利：其一，增碳剂易烧损，碳吸收率很低。其二，后期加入的增碳剂需要额外的熔化、吸收时间，迟缓了化学成分调整和升温时间，降低了生产效率，增加了电耗，而且有可能带来由于过度升温而造成的危害；⑧铁液的搅拌可以促进增碳，特别是附着在炉壁的石墨团，如果不用过度升温和一定时间的铁液保温，不易溶于铁液，中频感应电炉较强的电磁搅拌对增碳有利。

3.2 温度的控制

灰铸铁熔化期的温度不宜过高，一般控制在 1 400 ℃以下。如果熔化温度过高，合金的烧损或还原会影响熔炼后期的成分调整。在炉料熔清炉温达 1 460 ℃后，取样快速检验，然后扒净渣，再加入铁合金等剩余的炉料。扒渣温度对铁液质量的影响，是它与稳定的化学成分、孕育效果密切相关，并直接影响到出炉温度的控制。扒渣温度过高，会加剧铁液石墨晶核的烧损和硅的还原偏高(酸性炉衬中)，并产生排碳作用，影响按稳定系结晶；若扒渣温度过低，铁液长时间裸露，C、Si 烧损严重，需再次调整成分，延长了冶炼时间，并使铁液过热，增大过冷度，易使成分失控，破坏正常结晶。

出炉温度的控制须保证孕育处理和浇注的最佳温度，一般应根据实际情况控制出炉温度为 1 460～1 500 ℃，过热温度可控制在 1 510～1 530 ℃，并静置 5～8 min。在 1 500～1 550 ℃内，提高铁液的过热温度，延长高温静置时间，会细化石墨和基体组织，提高铸铁的强度，有利于孕育处理，消除气孔、夹杂缺陷和炉料遗传性给铸铁的组织和性能带来的不良影响。如果静置温度过低、时间过短，增碳剂不能完全溶入铁液中，也不利于铁液的杂质上浮被挑渣除去。但过热温度过高或高温静置时间过长，反而会恶化石墨形态、粗化基体、增大过冷度、加大白口倾向，使铁液已有的异质核心消失，氧化严重，降低铸铁的性能，并影响出炉温度的控制。如果出炉温度过高，尽管 C、Si 含量适中，浇注三角试块的白口深度也会过大或中心部位出现麻口。如果出现这种情况，需调低中频功率，向炉内补加生铁降温增碳。

浇注温度也不宜高，否则会使铸件产生严重的粘砂缺陷，有的甚至难以清理而使铸件报废，而且浇注温度高，过冷度大，不利于 A 型石墨的形成。浇注温度如果过低，则不利于除气，还会造成铸件偏硬和出现冷隔、轮廓不清等问题。适当稍低的浇注温度，铁液液态收缩量较小，有助于减少缩孔，获得致密的铸件。不同壁厚，不同重量的铸件有着不同的理想浇注温度，在日常生产中一般控制浇注温度在 1450～1380 ℃。对于厚大铸件必须要确保“高温出炉，低温

快浇”。为了缩短等待铁液温度降至浇注温度的时间，防止孕育衰退，可以通过倒包加静置的方法使铁液快速降温，以防止发生缩松，提高生产效率。

3.3　硫和氮的控制

中频感应电炉熔炼铸铁没有增硫源，铁液的S含量较低，这一点对于生产球铁有很大的优势。但对于灰铸铁，低硫而较高的锰会增大铸造应力，使裂纹出现几率大大增加，而且铁液中适量的硫可以改善孕育效果。过去运用冲天炉生产灰铸铁，由于焦炭会对铁液增硫，不用担心硫低。而使用中频感应炉生产灰铸铁，不但不增硫，而且还因大量使用废钢，使S含量更低了(约0.04%左右)。灰铁中 $w(S)\leqslant 0.06\%$，将会导致石墨形态不好、难以孕育、缩松和白口倾向大。在以往的生产中就发现，凡是有裂纹和白口缺陷的铸件，其石墨形态大都以D、E型石墨为主。电炉铁液要得到正常的石墨形态，必须要有合适的S含量，硫及硫化物含量低，晶核数量会减少，石墨形核能力降低，白口增大，A型石墨减少，D、E型过冷石墨和铁素体增加，晶粒粗大，强度降低[4]。而且随着高温铁液保温时间的延长，过冷度继续增大，越是高牌号灰铸铁，保温温度和时间对过冷度的影响越显著。有资料指出，铁液S含量低，共晶团数少，随着S含量的增加，共晶团数急剧增加，而共晶团数目越多，尺寸越细小，铸铁的力学性能越好。因此，中频感应炉熔炼灰铸铁一般要把S含量提高到0.06%～0.10%，以充分发挥硫的有益作用，改善孕育效果，使铁液的形核数量增加，铸件的金相组织以A型石墨为主，基体组织的珠光体含量增加，从而改善铸铁的强度和切削加工性能。具体做法是，在熔炼后期调整成分后加FeS增硫，也有采用焦炭或无烟煤作增碳剂，在增碳的同时，也把S含量增至大于0.06%。但S含量也不可过高，因硫是阻碍石墨化元素，过高会增加白口。在S含量适当高时，随着Mn含量的增加，生成的MnS充分起到了异质形核作用，能为良好的孕育创造条件。但当Mn含量大于1%后，生成了过多的MnS偏聚在晶界，弱化了晶界，甚至产生夹渣，降低铸铁的强度。从减少MnS夹渣的角度考虑，应控制S含量小于0.1%，这样允许存在的锰量高一些，对提高灰铸铁的性能有利。

由于中频感应炉熔炼灰铸铁大量使用废钢，并随着废钢配比的增加，增碳剂的用量也随之增大，加之增碳剂含氮较高，所以中频感应炉铁液的N含量较高。当铁液中N含量大于 $100\times10^{-4}\%$ 时，铸件易出现龟裂、缩松和裂隙状皮下气孔缺陷[5]。控制铁液中N含量的有效的方法是将铁液在高温下保温，并随着保温时间的延长，N含量将逐渐下降。但高温铁液长时间保温会增大过冷度和白口倾向，所以日常生产中应选用N含量低的石墨增碳剂。在必要情况下，可在涂料中加入10%的氧化铁粉，以消除高氮的影响。但灰铸铁中的氮和硫一样属于限制元素，铁液中微量的氮能使灰铸铁的晶粒和共晶团细化，基体中珠光体量增加，力学性能提高，对改善灰铸铁的石墨形态，促进基体组织珠光体化能发挥积极作用，氮化合物也能作为晶核，为石墨形核创造成长条件。在实际生产中，一般应控制N含量在0.008%以下。

3.4　强化孕育处理

孕育处理时，加入大量人工结晶核心，迫使铸铁在受控的条件下进行共晶凝固，其目的是促进石墨化，降低白口倾向和断面敏感性，控制石墨形态，减少过冷石墨和共生铁素体，适当增加共晶团数，促进形成珠光体，从而改善铸铁的强度和机加工性能。实际生产中的强化孕育处理，是选择合适的孕育剂、孕育量和孕育方法，对碳当量CE在3.9%～4.1%，温度在1 480 ℃左右的高温铁液进行高效孕育，以得到铸造性能好，力学性能高的灰铸铁铸件。不同的孕育剂有不同的特点，必须根据孕育剂的特性，结合企业自身生产条件合理选择孕育剂、孕育量和孕育方法。通过试验选定并确立最适合本企业特点的处理方法后，应严格控制工艺过程，以确保铸件质量的稳定。

除随流加入孕育剂，控制加入量和随流时间外，防止孕育衰退、提高孕育效果还要注意以下方面：①因熔炼温度和保温时间的限制，生铁中粗大的石墨片不可能完全消溶，未溶尽的粗大石墨性状会遗传给铸铁，大大抵消孕育的作用，所以在实际生产中应尽量减少生铁的用量，以消除生铁的遗传性，改善孕育效果，提高灰铸铁的性能；②应选用含钙、铝、有较多难熔非均质形核核心的孕育剂，并控制孕育剂有合适的粒度，因孕育剂的粒度对孕育效果的影响非常大。粒度过细，易被氧化进入熔渣而失去作用；粒度太大，孕育剂熔解不完全，不但不能充分发挥孕育作用，而且还会造成偏析、硬点、过冷石墨等缺陷。孕育剂的粒度一般控制在3～8 mm（1 t以下的铁液量），孕育量一般控制在约为铁液重量的0.30%～0.55%。过大的孕育量会使铸铁的收缩和夹渣倾向增大；③多次孕育能有效防止孕育衰退，改善铸铁内部石墨分布均匀程度，降低铁液过冷倾向，使A型石墨占有率高，长度适中，并促使非自发晶核数量增多，细化晶粒，强化基体，提高铸铁的强度和性能。例

如二次孕育选用具有很强促进石墨化能力的硅钡长效孕育剂，可改善薄壁铸件中石墨的形态和分布状况，增加共晶团，促进形成A型石墨，消除过冷石墨，抑制产生游离渗碳体，且可减缓孕育衰退；④铁液温度对孕育的影响，是在一定范围内提高铁液的过热温度，并保持适当的时间，可使铁液中残存的未溶石墨完全溶入铁液，消除遗传因素影响，充分发挥孕育剂的作用，提高铁液的受孕能力。过热温度以提高到约1 520 ℃为宜，孕育处理温度控制在1 460～1 420 ℃较佳。

3.5 工艺技术的调整与改进

(1)中频感应电炉熔炼灰铸铁的工艺操作顺序：小块回炉料和废钢＋石墨增碳剂＋废钢和新生铁＋回炉料＋铁合金＋合适的孕育。为了改善铁液在高温长时间保温带来的不良影响，基于中频感应炉温度易于提高、可快速熔炼的优势，制定“快熔快出”的工艺操作方法，尽量缩短熔化时间，加快熔化速度，使铁液在炉内经化学成分调整、升温后尽快出炉，并加快浇注速度，力争5 min左右完成浇注，最大限度地缩短铁液在炉内和包内的保温时间。

(2)夹渣对铸件质量的影响很大，轻则细小夹渣割裂基体，降低抗拉强度，严重的夹渣缺陷能直接导致铸件报废。存在较多夹渣的炉料熔化后，附着于炉壁和存在于铁液中的夹渣受电炉电磁搅拌和铁液浮力作用而陆续上浮，在熔炼后期需频繁、高效地挑渣，特别是高温静置时杂质上浮，应及时挑渣，直至铁液表面干净，无新增浮渣，这对去除夹渣、消除渣孔缺陷、减少夹渣对基体的破坏作用非常大。

(3)因中频感应炉熔炼灰铸铁使用了大量废钢和回炉铁，一方面会促成铸铁枝晶石墨的产生和白口倾向的增大、硬度升高，机加工性能变差。因而应比冲天炉铁液更加注重孕育，以促进石墨化，细化共晶团，改变石墨形态，减少白口倾向，使白口或麻口组织变为细珠光体组织，D、E型石墨变为均匀分布的A型石墨，提高铸件不同壁厚处组织的均匀性，达到提高铸铁性能的目的。另一方面，废钢用量的增大，使铁液S含量变低，在$w(S)\leqslant 0.06\%$时，易导致孕育困难[6]，一般用FeSi75孕育处理作用不明显，应采取增硫措施。

(4)薄壁铸件的白口缺陷严重，机加工困难，废品率高。解决这一突出问题首先要杜绝使用合金钢废钢，适当提高CE[7]，并控制处理前铁水的Si含量在1.6%以上，S含量大于0.06%，加大孕育量至0.55%，使铁液形核数量增加，石墨形核能力提高，促进A型石墨的形成，抑制D、E型石墨的产生，基体组织中珠光体量增加，铸铁的过冷度和白口倾向减小，强度和切削加工性能改善。合理地控制灰铸铁的微观组织是改善灰铸铁加工性能的关键所在，在必要情况下，可在出铁前向包中加入2%的干净无锈小块生铁，有效增加石墨质点，消除白口。

4 关于提高灰铸铁铸件质量和性能的一点看法

业内人士都知道：化学成分基本相同、金相分析基本一致的国产铸件与进口铸件的使用性能和光洁度相差很大；相同碳当量的进口铸件较国产铸件高1～2个牌号；硬度高于国产铸件的进口铸件，切削加工性能反而优于国产铸件。造成这些现象的原因是进口铸件的材质纯净度和碳当量高，夹杂物和游离碳化物少，组织均匀性好。

铸铁件的内在质量、外观质量以及是否会形成铸造缺陷与铁液的各方面因素密切相关，高品质的铁液是获得优质铸铁件的最基本最重要的先决条件。而铁液品质又由铁液温度、化学成分、纯净度这些因素所决定。中频感应炉熔炼灰铸铁获得高于1 500 ℃高温和精确化学成分的铁液非常容易，铁液中的每个元素对铸铁的凝固结晶、组织和性能都有一定的影响和作用；铁液过热温度的高低可直接影响到铁液成分和纯净度，其在一定范围内提高，能使石墨细化、基体组织致密、抗拉强度提高、铸造性能改善，铁液中的杂质也更易于上浮被清渣除去。只有铁液的纯净度，至今仍停留在高温熔炼、聚渣剂、过滤网这些层面上。其实业内专家都明白，通过这几种措施是难以获得高洁净的铁液的，只能使情况改善，而对于铁液的深度净化、铸造缺陷的发生机理分析及预防却少有研究，鲜见对策。存在于铁液中的各种有害气体和非金属夹杂物，在铁液凝固后留存于铸件中，造成种种铸造缺陷，影响了铸件的使用性能；由非金属夹杂物形成的硬质质点，导致铸件切削加工困难；而铁液中含有的杂质有害元素，更是直接影响了铸件的组织和性能。正是这些因素造成了国产铸铁件的综合质量长期低于进口铸件。因此，我们应大力提高铁液的冶金质量，努力以获取有害元素和气体含量低、夹杂物少的高洁净铁液为目的，在目前的灰铸铁中频感应电炉熔炼工艺基础上，进一步完善现代铁液净化技术和工艺流程，确保用于浇注的铁液必须是高纯净度铁液，进而才能确保铸件的高质量和高性能。

5 结语

(1)中频感应电炉熔炼灰铸铁，废钢要有一定的配比，一般应占炉料的一半以上。应选用低氮石墨增碳剂，并保证高增碳率，以利于获得石墨化程度好、白口和缩松倾向小的优质铁液。同时，大量使用废钢和回炉铁，少用或不用新生铁，消除粗大石墨的遗传影响。并利用生铁与废钢的价差及夜间电价低谷熔炼，可使生产成本大幅降低。

(2)中频感应炉铁液的S含量一般较低，应采取增硫措施把铁液S含量提高到0.06%~0.10%，增大形核能力，增加晶核数量和珠光体含量，改善石墨形态，并细化石墨，促使形成A型石墨，改善孕育效果和切削加工性能，提高强度。

(3)通过采用废钢增碳工艺+适当提高CE和Si/C比+快熔快出的操作方法+强化孕育处理等生产技术，控制铁液过热温度在1 510~1 530 ℃，出炉温度在1 480~1 500 ℃，达到减少铸造缺陷、增强灰铸铁性能、提高铁液品质和铸件质量、降低废品率的目的。

(4)铁液品质是影响铸铁件质量的重要因素，没有高品质的铁液就不可能有高质量的铸件。应在目前中频感应炉熔炼灰铸铁的工艺基础上，着力提高铁液的纯净度，进一步完善现代铁液净化技术和工艺流程，以确保灰铁铸件的高品质和高性能。

参考文献：

[1] 陆文华，李隆盛，黄良余. 铸造合金及其熔炼[M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[2] 童军，章舟，连炜. 铸铁感应电炉熔炼及应用实例[M]. 北京：化学工业出版社，2008.

[3] 邹荣剑，谢寨川. 全废钢技术在铸铁生产的应用[J]. 铸造技术，2008(12)：1747-1748.

[4] 岳海，赵超云. 中频炉熔炼高强度灰铸铁型石墨的控制[J]. 铸造设备与工艺，2013(4)：42-44.

[5] 殷作虎. 硫对灰铸铁组织和性能的影响[J]. 铸造，2004，53(10)：805-809.

[6] 沈中仁，施永德，刘党库. 中频炉熔炼铁液易产生的铸造缺陷及预防对策[J]. 铸造技术，2012(6)：744-746.

[7] 林艳茹，李艳琴. 碳当量对铸铁加工性能的影响及控制[J]. 金属加工-热加工，2014(13)：46-48.

《铸造技术》杂志优秀企业、先进人物专访通告

《铸造技术》杂志开展专访活动，旨在通过专访这一内涵深邃、读者喜闻乐见、欣赏韵味独特的交流方式，深度挖掘铸造界人文财富，倾心打造行业精深资讯，进而从独有的精神与文化之角度施力，推动中国铸造业的科学振兴和健康发展。

《铸造技术》基于“榜样的力量是无穷的”以及“益言可以兴邦”的基本理念和初衷，《铸造技术》杂志社记者与业界企业家、专家学者、工程技术人员等先进人物近距离接触、多层面无障碍恳谈，从而接地气地见识与领略中国铸造业界深邃浩瀚的人文资源、鲜活生动的真人与实事，在第一时间得到启迪与感悟，进而把这发自心灵的收获通过专访报道奉献给读者朋友。

《铸造技术》专访笃信“唯有真情可以感人”。能感动人的专访报道，必然是被访者真实生活的经历、体验和独特感受，高尚人格的彰显。专访报道中的所有感人之处，无不源于被访者独有的生活经历加上独到的见解。不可复制的人生阅历之润养、对生活的挚爱、对事业的全身心投入，是每一位被访者能够超越现实与自我而永葆充沛生命力的秘诀。从自己挚爱的事业那里领悟人生的真谛，激发爱与美相交融的情感。被这真实的情感所感染，使人情不自禁地用看似清淡的笔墨，仰仗倾情产出令人心颤的专访报道。

《铸造技术》专访对“说理”情有独钟。信奉“唯有讲理可以服人”。因“至”即无限趋近高端，故“至理”系高度符合科学规律的道理。“科学”乃说理的学问，科学是迄今全人类生产及社会实践的顶级智慧结晶，科学是全人类的共同财富，科学是人类从必然王国走向自由王国的桥梁。唯科学之理能使人们正确认识世间万物、尤其包括认识者自己。《铸造技术》专访已延续多年，读者不难发现，所有被访者的感人之处无不根源于其自觉或不自觉地遵循了科学的思维与行为的准绳。

《铸造技术》专访所追求的是，以优秀传统文化底蕴为基石，以高尚道德操守与精神境界为标杆，倾力打造铸造专访的精到内涵和独特风格，倾心为读者朋友打造理性思考的空间，竭力实现被访者—读者的理性与情感的惊人共鸣。