

蠕铁智能制造系统

马建华, 郭建斌

(天津汇丰探测装备有限公司, 天津 300409)

摘要: 用亚球化法生产蠕化率稳定在 80%以上的蠕铁, 需控制蠕化铁水的共晶度、浇注时刻的活性镁含量、凝固时刻的形核核心量。在预处理铁水接近蠕化目标时, 热分析测量三大要素的偏离值。精确制导喂丝机命中目标, 实现蠕化率在 80%以上。

关键词: 亚球化法; 活性镁含量; 镁氧平衡; 动态衰变; 蠕化预处理

Introduction of Intelligent Manufacturing System in Producing Compacted Graphite Iron

MA Jian-hua, GUO Jian-bin

(Tianjin hui Feng thermo sensor equipment co., LTD, Tianjing 300409)

Abstract: CE, Active magnesium content and Inoculation should be controlled in the production of CGI with stable nodularity range in 0-20% using the process of sub-spheroidization. After the pre-treatment of molten iron, the system will measure the deviation of CE, active magnesium content and inoculation from the target value and then drive wire feeding machine accordingly to realize stable production.

Keywords: sub-spheroidization; active magnesium content; balance between; magnesium and oxygen; pretreatment of CGI

1 蠕铁的生产条件和瓶颈

蠕墨铸铁的石墨形态呈蠕虫状, 其强度性能介于灰铁和球铁之间。蠕墨铸铁其铸造性能、减振性能优于球铁; 强度、韧性、导热能力、耐热疲劳性能优于灰铸铁; 引起人们的普遍重视和广泛应用。

蠕铁生产有两种不同的生产方法: 工业发达国家依仗着他们先进的在线检测手段采用亚球化法生产蠕铁, 蠕化率稳定在 80%以上。国内由于缺乏先进的在线检测手段, 大多采用反球化法生产蠕铁, 蠕化率仅达 50%以上。为抑制球状石墨的生成向铁水中添加反球化成分, 不仅是造成了资源的浪费; 反球化成分还会生成碳化物影响铸件的加工性能, 其回炉铁还会带来污染其他材质的后患。因此走亚球化法生产蠕铁的工艺路线, 才是我国蠕铁生产发展的健康之路。国内外专家总结了蠕铁的亚球化法生产条件:

1.1 蠕化铁水的共晶度应控制在近共晶附近, 切不可进入过共晶状态

当蠕化铁水的含碳量超过了共晶点进入过共晶状态时, 首先从铁水里凝固出来的是石墨。先析石墨的形态是不可控的, 因此必然会影响凝固组织中蠕虫状石墨的比例。

蠕化铁水的共晶度应控制在接近共晶点的亚共晶段。越接近共晶点的蠕化铁水液相线温度越低, 流动性、填充性越好。越接近共晶点的蠕化铁水, 生成的蠕虫状石墨越多, 有利于提高蠕铁的减振性和耐热疲劳性。

1.2 浇注时刻蠕化铁水的活性镁含量应控制在 0.008%~0.016%

铁水吸收镁蒸气获得的活性镁, 首先与铁水中的 S、O、N 反应生成 MgS、MgO、MgN, 剩余的活性镁对石墨的生长方向起引导作用。在选择结晶过程中留在铁水中的活性镁含量逐渐升高, 作为低熔点相最后凝固在晶界。

虽然定量加入蠕化剂的 Mg 量一定,当逸出的镁蒸气不确定时,铁水吸收的活性镁量也不确定。当原铁水中的 S、O、N 含量不稳定时,反应后剩余的活性镁量也不稳定。扒渣、转运铁水和浇注过程中,蠕化铁水表面会吸收大气中的氧,蠕化铁水中的活性镁会随着时间以(0.001%/5min)的速度氧化(如图 1 所示)。因此浇注前活性镁含量的控制,应考虑到上述动态因素对活性镁含量的影响。

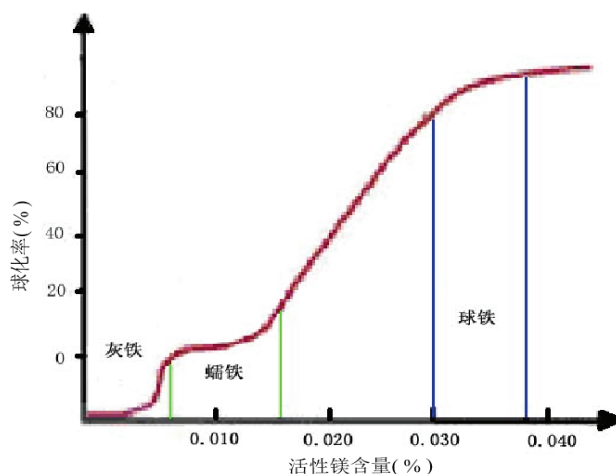


图 1 球化率与活性镁含量的关系

由上图可见：浇注时刻蠕铁稳定区的活性镁含量范围在(0.008%~0.016%)。活性镁含量不足 0.008% 时,只产生大量的片状石墨。活性镁含量超过了 0.016% 时,会使球状石墨的比例迅速增加^[1]。因此浇注时刻活性镁含量的控制,是满足高质量蠕铁稳定生产的必备手段。

1.3 凝固时刻蠕化铁水的核心量应控制在 8~12℃ 共晶再辉温度

蠕化铁水在凝固时刻的核心数量,影响着蠕状石墨和球状石墨的生成比例。当共晶再辉温度低于 8℃ 时球状石墨的生成比例迅速提高,当共晶再辉温度超过 12℃ 时凝固组织中会产生游离渗碳体。

铁水中的形核物质来源于组织遗传和孕育处理两个方面。由炉料遗传来的形核物质,随着原铁水过热温度的提高和过热时间的延长会逐渐消融。长时间的高温熔解会使铁水中氧的平衡浓度降低,影响铁水的受孕能力。孕育处理引入铁水中的形核物质也会随着浇注时间的延长逐渐消融。

因此在蠕化铁水的核心数量控制时,应考虑上述动态因素对核心数量的影响。针对具体的工艺路线布局和产品结构,铁水输送时间、浇注时间、浇注温度等因素来确定孕育剂的加入量。以保障蠕化铁水在凝固时刻的核心量在 8~12℃ 共晶再辉温度范围。

蠕铁生产的瓶颈在于对蠕化铁水的共晶度、浇注时刻的活性镁含量、凝固时刻的形核核心量,这三大要素在窄小范围的精确控制。以往灰铁和球铁生产中采用的那些粗略控制手段,已不能满足高蠕化率铸件的稳定生产条件。因此要精确命中三大要素的窄小范围,首先要解决三大要素的测量和精确补加手段问题。

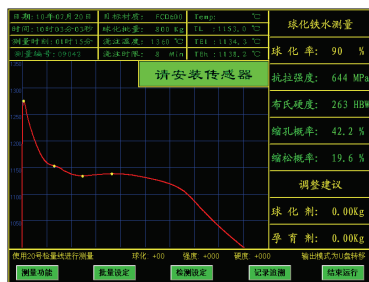
2 蠕铁三大要素的测量方法

2.1 蠕化铁水共晶度的测量

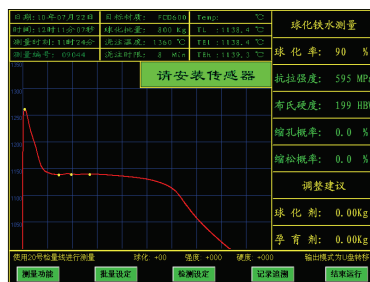
间接用光谱仪测量铁水成分、含量计算共晶度的方法,存在以下的不确定度:(1) 光谱仪受测量通道和标样的限制,不能完全测量铁水中全部成分的含量。(2) 到目前为止铁水中每个成分对共晶度的作用方向、每个成分的含量对共晶度作用的系数还没完全搞清楚。因此用光谱仪测量的铁水成分、含量间接计算共晶度的方法,在自变量不全、系数未全部确定的条件下,不可能得到准确的计算结果。

用热分析仪测量凝固铁水初生奥氏体和次生奥氏体的生成比例,是直接测量铁水共晶度较准确的方法。当凝固过程中没有初晶组织析出、凝固温度曲线上只有共晶温度平台时,说明该铁水是共

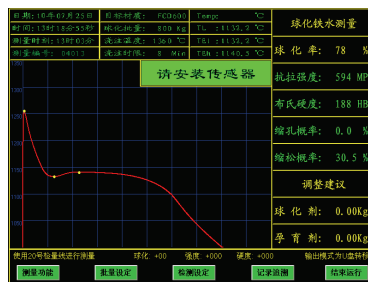
晶度 $Sc=1$ 的共晶铁水。当凝固温度曲线上的初晶、共晶温度差越小,说明该铁水是越接近共晶点的亚共晶铁水。由于过共晶铁水首先析出石墨,所以凝固温度曲线上的特征是:既没有初晶平台,还存在着共晶再辉。



亚共晶铁水凝固温度曲线



共晶铁水凝固温度曲线



过共晶铁水凝固温度曲线

图2 热分析仪测量

热分析法通过测量次生奥氏体与初生奥氏体+次生奥氏体的比例,计算出被测铁水的共晶度,如图2所示。

2.2 蠕化铁水活性镁含量的测量

目前还没有直接测量铁水中活性镁含量的方法,光谱仪还不能识别样品中的活性镁。用光谱仪测量的镁含量,是包含了 Mg 、 MgO 、 MgS 、 MgN 等在内的总镁量。用化学分析方法分析镁含量的过程时间太长,远不适应炉前在线检测的要求。

在线快速测量铁水中活性镁含量的方法,是根据“氧高镁低”的镁-氧平衡原理,用间接测量铁水中活性氧含量的方法导出活性镁含量。炼钢生产中使用的低氧定氧探头,可用于测量蠕化铁水中的活性氧含量。但由于低氧定氧探头的价格昂贵,在蠕铁生产的活性镁含量测量中未能采用。

在碳当量不变的前提下,铁水中的氧含量直接影响铁水的液相线温度^[2]。据此我们研发了脱氧比对样杯,如图3和图4所示。

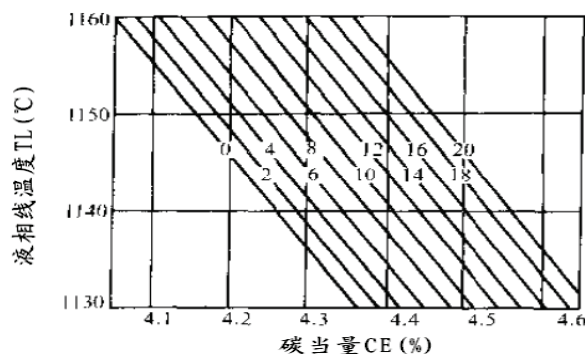


图3 氧含量与液相线温度的关系

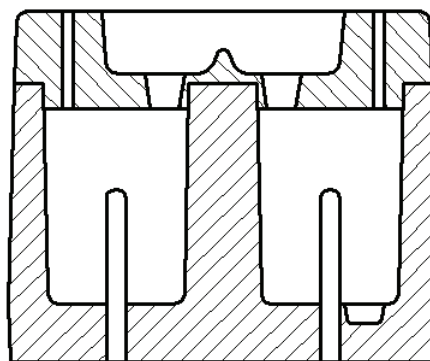


图4 脱氧比对样杯

取蠕化预处理后的铁水同时浇注两只样杯,其中一只样杯定量添加脱氧剂。热分析仪同时测量两只样杯的凝固温度曲线。通过脱氧与不脱氧样杯中铁水的液相线温度差,间接导出蠕化铁水中的活性镁相对量。以变质率这个无量纲的项目名称,报告出活性镁的相对量。

2.3 蠕化铁水的形核核心量测量

在铁水凝固温度曲线上,从共晶过冷点开始的共晶再辉温度,是反映被测铁水中形核核心量的一个主要指标。在工业发达国家已经被广泛的用于高端铸铁生产中孕育效果的检测。在我国由于高端铸铁的生产少,没有引起业界的广泛重视。

从不添加脱氧剂样杯中获取的凝固温度曲线上,以 $0.1^{\circ}C$ 分辨识别出反映形核核心量的各个相变特征参数,即可计算出被测铁水的形核核心量。以形核率这个无量纲的项目名称,报告出铁水中的形核核心量,如图5所示。

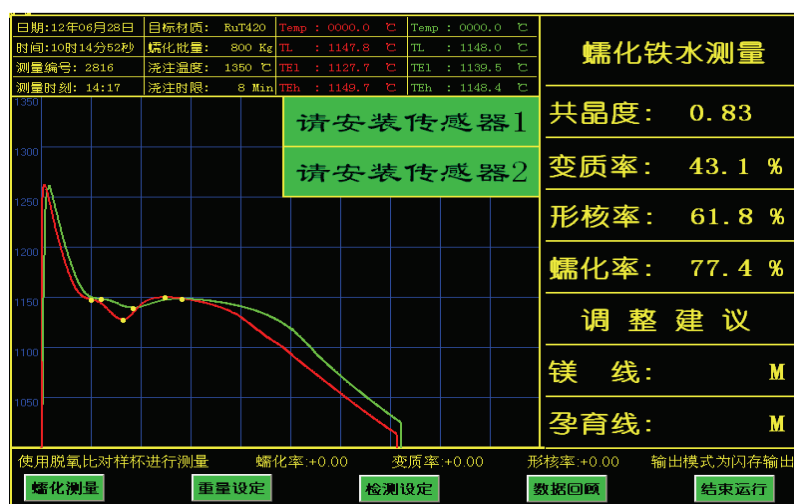


图5 蠕化铁水测量

3 蠕铁亚球化法生产流程

亚球化法生产蠕铁的工艺流程要点是：

(1) 配料时选择反球化成分（S、Ti、Al、Pb、Te）含量低的炉料，是稳定蠕铁生产的前提条件。此外选择炉料的反球化成分含量越低，使用的蠕化剂量越少。

(2) 以蠕化后铁水的共晶度 $Sc \leq 1$ 为目标，在原铁水配料时预留蠕化处理产生的共晶度提高量。注意：使用不同的蠕化剂、孕育剂，共晶度提高的程度不一致。

(3) 在配料时配足合金量，不得在出铁时使用冲入法作为合金加入方法。以免冲入合金时的激冷形核，影响蠕化铁水的形核核心量控制精度。

(4) 原铁水熔解后取光谱样片，检测反球化成分是否在控制范围。浇热分析样杯检测共晶度是否在控制范围。调整到控制范围后，调整铁水温度准备出铁。

(5) 蠕化预处理用铁水包的高径比要大于 1.8，预处理前不得盛接过原铁水或灰铁铁水。以防止向蠕化处理后的铁水陆续返硫，增加蠕化铁水的衰变因素。

(6) 蠕化剂、孕育剂的掩埋，以蠕化反应时铁水表面看不到镁光为准。蠕化剂的镁含量越高要求掩埋层的厚度越大、要求吸收镁蒸气的铁水高度越高。以防止镁蒸气在上浮中不能被铁水完全吸收，发生镁蒸气逃逸。

(7) 蠕化预处理后，铁水中的[S]、[O]、[N]及其化合物与[Mg]反应后达到新的平衡浓度。取预处理后的铁水浇入脱氧比对样杯，可检测出剩余的活性镁含量和铁水中的形核核心量的偏离值。

(8) 确定检测时刻变质率、形核率的目标值，应包含铁水在后续的扒渣时间、转运时间、浇注时间的衰减因素。以确保收得率的喂丝法精确补足变质率、形核率检测结果与变质率、形核率目标值的偏离值。

(9) 喂丝机根据蠕铁质量热分析用无线电传送的偏离值、叉车秤用无线电传送的铁水实际重量、测温仪用无线电传送的铁水温度值，读取蠕化剂、孕育剂的收得率，计算出蠕化剂、孕育剂补加量，换算出蠕化丝和孕育丝的喂补长度。

(10) 以预处理铁水变质率、形核率的偏离值、以铁水实际重量匹配的补加量、以铁水温度相应的收得率、精确制导喂丝机命中蠕化率 80% 以上的质量目标，保障高质量蠕铁的稳定量产。

参考文献：

- [1] 刘金城.中国大批量蠕墨铸铁生产的过程控制[C]. 第九届全国铸铁及熔炼学术会议论文集, 2014.
- [2] 周继扬.铸铁彩色金相学[M]. 北京：机械工业出版社, 2002.