钢液化学成分目视化调整在熔炼浇注中的应用

范哮瑀，喻异双，韦春莉，王道武，肖海波，柳建国

摘要：从克服工艺操作经验性强对熔炼浇注过程不利影响的角度出发，通过对钢液化学成分在线检测过程优化，化学成分调整目视化等技术的研究和实践，提出了一种新的化学成分目视化调整的方法及其实施装置，为熔炼浇注过程中钢液的化学成分在线检测和调整提供参考。

关键词：熔炼浇注；化学成分；目视化；调整

一、概述

众所周知，铸造过程中合金化学成分会对合金凝固过程及凝固组织产生很大影响，继而影响到铸件后续的加工和使用。在生产过程中，由于熔炼浇注过程工艺操作的经验性很强，实际熔炼浇注过程受设备条件与人为因素的影响非常大，因此不当操作会引起合金元素的烧损，甚至钢液成分不合格即出炉浇注等，使得到的铸件化学成分和凝固组织与预期相比大相径庭，最终导致产品合格率降低、生产周期延长以及生产成本提高，这些对普通铸造企业都是不利的，对于某些大型复杂铸件的验收、装备等更是难以接受的。同时，熔炼浇注过程钢液化学成分控制仅凭作业人员经验，对新入职人员来讲，作业时无法准确及时调整出合格的钢液以供浇注。此外，熔炼浇注过程为铸件生产过程中的重点工序，该过程化学成分控制仅依靠作业人员经验，无法满足生产过程中产品质量管控要求。基于上述因素，在钢液出炉浇注前非常有必要能够及时获得钢液的化学成分检测结果，以及不合格钢液的调整建议。

本文针对上述不利因素，介绍一种铸造过程中合金化学成分在线检测与目视化控制的方法，从根本上解决铸造合金熔炼浇注过程中存在的大多数难题，包括钢液化学成分的及时有效调整、合金元素烧损后的定量补充、铸件化学成分的精确控制等，从而实现炉前快速在线检验、化学成分调整信息目视化、现场指导生产，最终提高产品的合格率，缩短生产周期，继而降低生产成本。该方法对铸件生产中化学成分的控制具有借鉴意义。

二、合金成分调整方法

合金化学成分目视化调整的基本流程是：首先，提取熔炼炉钢液制备试样，采用直读光谱仪测定试样化学成分，光谱仪数据读取系统采集并记录试样化学成分；其次，通过计算机调用铸造合金数据库进行标准化学成分与试样化学成分的比较，并计算出合金添加剂加入量，继而在LED显示屏上给出各合金添加剂加入量提示信息，同时警报提示相应作业人员，最终控制钢液化学成分。合金成分目视化调整流程如图1所示，其具体步骤如下。

（1）制备试样　按照铸造过程中熔炼工艺，在钢液约占熔炼炉容积3/4时，炉前作业人员提取熔炼炉钢液浇入制样模具，按照GB/T 4336—2002碳钢、铸铁检测标准制备试样。

（2）上报试样信息　炉前作业人员告知光谱操作人员试样信息，光谱操作人员在直读光谱仪下进行检测。

（3）比对判断成分　检测完毕后，计算机自动调用相应钢号的标准化学成分，依据比对判断方法，将试样化学成分与钢号

标准化学成分进行比对。

（4）计算合金加入量　若比较结果为化学成分不合格，则化学成分目视化系统自动根据化学成分调整为标准成分值的计算方法，在LED显示屏上给出各合金添加剂的加入量，同时警报提示相应炉前作业人员。

（5）LED屏显示　炉前作业人员依据LED显示屏上各合金添加剂加入量的提示信息，调整控制该炉钢液化学成分。

1. 试样基本信息

炉前作业人员告知光谱操作人员试样信息。试样信息包括设备编号（即取样炉号）、作业人员姓名、试样材质牌号、炉衬使用次数。其中，炉衬使用次数在设备信息中保存记数。定义当炉衬为新炉衬时，炉衬使用次数记为1，即为当前炉衬使用次数；当第一炉取样时，炉衬使用次数=记数+1；第二炉取样时，炉衬使用次数在前一次计数基础上增加1；后续取样时，炉衬使用次数计数方式依次类推。当熔炼炉更换炉衬材料后，炉衬使用次数复位到第1次，记为1。

2. 化学成分标准值

每种牌号的材料各元素化学成分值均为某一范围，存在化学成分上限值和下限值。为便于化学成分调整计算，我们给出不合格钢液化学成分调整为合格时所需要的参考值，即化学成分标准值。依据浇注过程中各元素烧损规律，对于易烧损元素的化学成分标准值定义为其化学成分上限值-1/4（上限值-下限值），其他元素的化学成分标准值取其下限值+1/2（上限值-下限值）。

3. 比对判断方法

试样经直读光谱仪检测后，系统自动调取牌号的标准化学成分，分别取试样检测结果各主要元素与标准牌号相应元素进行比对，得出成分调整浓度差（标准成分值-检测结果值），判定相应元素是否需要调整。

具体判定方法如下：

（1）首次取样时试样的判定方法　在熔炼炉内钢液约占炉体容积3/4时，进行首次取样，记为A样。A样各元素按照检测结果是否满足“标准成分值≤检测结果≤化学成分上限值”来进行判定。若试样各元素成分值在该范围内，判定为合格，则该炉钢液不需要调整，可直接出炉浇注；若试样某一元素在该范围外，则判定为不合格，需要调整熔炼炉内钢液化学成分。

（2）第二次取样时试样的判定方法　若首次取样时钢液化学成分不合格，依据LED显示屏上各合金添加剂加入量提示信息对钢液化学成分调整后，需对钢液进行第二次取样检测，记为B样。同炉钢液第二次取样时，各元素按照检测结果是否满足“化学成分下限值≤检测结果≤化学成分上限值”来进行判定。若试样各元素成分值在该范围内，判定为合格，则该炉钢液不需要调整，可出炉浇注；若试样某一元素在该范围外，则判定为不合格，需要调整熔炼炉内钢液化学成分。

（3）经多次取样后试样的判定方法　若经两次取样检测后，钢液化学成分仍不合格，则之后的试样各元素按照检测结果是否满足“标准成分值≤检测结果≤化学成分上限值”来进行判定。若试样各元素成分值在该范围内，判定为合格，则该炉钢液不需要调整，可出炉浇注；若试样某一元素不在该范围外，判定为不合格，则需要调整熔炼炉内钢液化学成分。

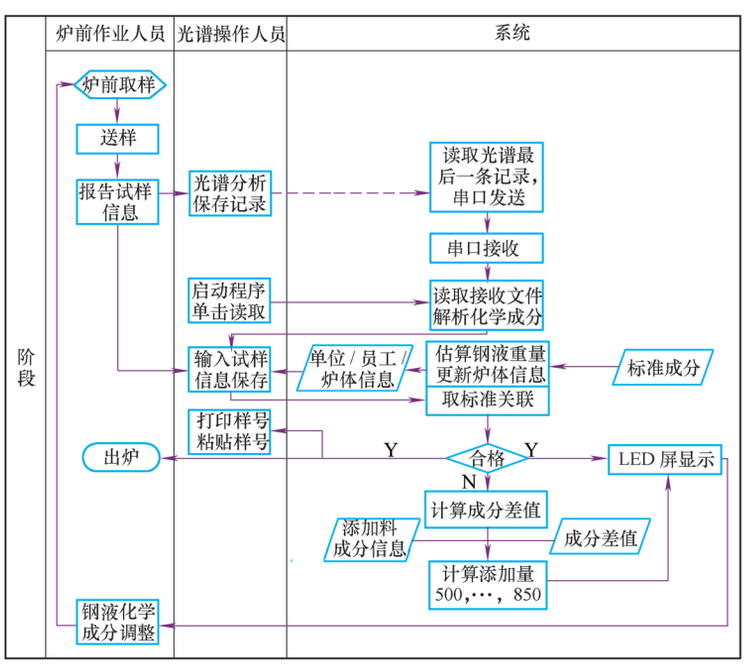


图1　合金成分目视化调整流程

4. 合金调整计算方法

当试样化学成分判定为不合格时，则需要通过向钢液中加入合金添加剂的方式来调整钢液的化学成分，以使钢液化学成分满足所需的材质牌号要求。合金调整过程中，合金添加剂的加入量是依据各主要元素的成分调整浓度差和合金添加剂中元素的含量来进行计算的。

（1）计算模型　公式如下：

$$G_i = \frac{G_{ox}}{t_i s_i} \Delta g_i$$

式中 i——需要调整的四大元素，即C、Si、Mn、Cr；

G_i——i组元的合金添加剂加入量（g）；

G_{ox}——熔炼炉中钢液的质量（kg）；

Δg_i——i组元的成分调整浓度差；

t_i——合金添加剂中i组元的百分含量（%）；

s_i——i组元的元素收得率。

式中表示调整钢液成分时，每一组元的合金添加剂加入量G_i同对应钢液质量G_{ox}，以及该组元的成分调整浓度差成正比，同该组元的合金含量t_i及元素收得率s_i成反比。

（2）计算思路　首先选用高碳锰铁作为合金添加剂，根据上式来计算合金添加剂的加入量。具体计算思路：通过加入合金添加剂来调整某一元素含量的同时，会向钢液中引入附加元素，这种情况下，需要首先依据主元素调整时计算出需加入的合金添加剂的加入量，然后依据该种合金添加剂加入量来计算附加元素的附加改变差，最后用附加元素的标准成分值–检测结果值–附加改变差，来作为该附加元素的成分调整浓度差，重新计算该种合金添加剂的加入量。

（3）判断碳元素调整后是否超过化学成分上限值的方法　若碳元素依据其标准成分值–标准结果差+附加改变差的调整量来进行调整后，试样中碳元素超过化学成分上限值，则采用低碳锰铁作为合金添加剂。依据碳元素的成分调整浓度差及上式重新来计算该种合金添加剂的加入量。通过这一步计算出来的合金添加剂的加入量即为最终需要向钢液中投入的合金补加量。

5. 目视化显示

最终需要向钢液中投入的合金添加剂的加入量依据熔炼炉容积分别给出500kg、550kg、600kg、650kg、700kg、750kg、800kg、850kg范围档的合金添加剂加入量建议，并在LED显示屏上目视化显示。

炉衬使用次数与熔炼炉容积对照关系见附表。炉前作业人员依据表中对照关系、LED显示屏上各合金添加剂加入量及炉衬使用次数信息，向钢液中投入合金添加剂，从而调整控制该炉钢液化学成分。

三、实施装置

合金成分目视化控制装置框图如图2所示。该合金成分目视化控制装置主要包括制样模具、直读光谱仪、计算机、存储有标准化学成分数据的铸造合金数据库、光谱仪数据读取系统、检测结果计算程序、数据发送程序、后台统计查询系统、显示程序、LED显示屏等。

试样在直读光谱仪下检测后，光谱仪数据读取系统向计算机传输所采集和记录的被测试样的检测结果，然后计算机通过调取铸造合金数据库中的标准化学成分与被测试样化学成分进行比对，并通过检测结果计算程序计算出合金添加剂的加入量，最终经数据发送程序和显示程序发往LED屏进行显示。

该合金成分目视化控制装置在使用过程中，可通过后台统计查询系统即时查询每炉钢液的化学成分，在有效指导现场生产的同时，又能满足生产过程中对铸件化学成分追溯的要求。

四、实施效果

自2015年6月开始，化学成分目视化控制装置在我公司熔炼浇注现场投入使用。该装置的应用，缩短了炉前作业人员对钢液的调整周期，大幅提高了铸件化学成分合格率，满足了铸件生产中对产品质量有效管控的要求。同时，经济效益显著，极大地降低了生产成本。经统计分析，2015年6~12月期间，合金添加剂消耗量相比往年同期相同产量下

炉衬使用次数与熔炼炉容积对照关系

熔炼炉代号	熔炼炉标准容积/kg	炉衬使用次数/次			
		1~30	31~60	61~90	91~120
		熔炼炉实际容积/kg			
A	500	500	550	600	650
B	700	700	750	800	850

注：炉衬材料一般在使用120次后需重新筑炉。

高铬铸铁耐磨衬板的试制

王敬华，白云龙，赵文辉，闫海涛

摘要：介绍一种辊磨机高铬铸铁耐磨衬板的化学成分选择及作用。采用合适的铸造工艺和热处理方法可以试制获得与进口衬板性能相当的高铬铸铁耐磨衬板。

关键词：高铬铸铁；衬板；铸造工艺；热处理

目前，在我国碾磨设备中使用的衬板等易损件一般都采用高锰钢(ZGMn13)材料，因高锰钢是一种奥氏体硬化钢，在高冲击下会产生明显的加工硬化，表现出优良的耐磨性能，适合制造大型破碎机齿板和挖掘机铲齿等[1]。但在辊磨机中，辊轴的滚压、摩擦和磨料磨损是衬板的主要受力形式，这种受力均属于低载荷冲击，高锰钢不会产生加工硬化，其耐磨性会变差，衬板磨损加重加快，进而降低衬板使用寿命。高铬铸铁是一种耐磨合金白口铸铁，其具有很强的抗磨料磨损能力，加之其适当的韧性和较高的耐蚀性，在世界上得到了日益广泛的应用，已被成功地用于各种水泥磨机、磨煤机、矿石破碎机和泥浆泵等受磨损严重的零件上，并获得了显著的经济效益。因此，选择高铬铸铁作为我公司辊磨机耐磨衬板试制材料。

1. 化学成分的设计

（1）碳和铬　C、Cr这两大元素决定着高铬铸铁基体组织、碳化物结构和性能，其中C含量决定共晶碳化物数量，而Cr含量则决定共晶碳化物类型。随着C含量提高，碳化物数量会增加，有利于增强耐磨性，但是也会极大地降低材料的韧性，因此，根

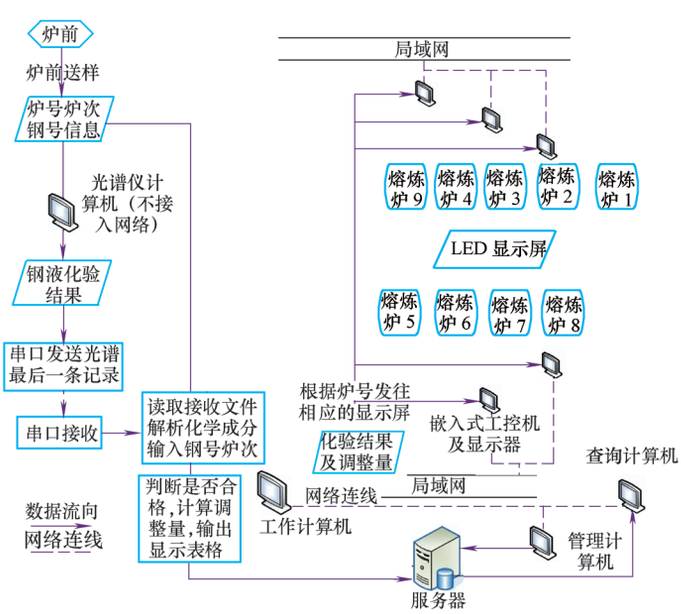


图2　合金成分目视化控制装置

下降12%，效益折合为22.15万元，同时节电效益约4.5万元。

本方法具有结果稳定、可靠性高、分析周期短及自动化水平高等优点，适合铸造合金的在线成分检测与控制，具有较大的市场推广价值。

作者简介：范哮瑀，工程师，东风精密铸造有限公司，主要从事熔模精密铸造工艺及生产现场质量管理工作。喻异双、韦春莉、王道武、肖海波、柳建国，东风精密铸造有限公司。

MW 20160618