

铸铁合金熔体成分及性能热分析系统的研究

李福山 , 李永刚

(郑州工业大学材料科学与工程系 ,河南 郑州 450002)

摘 要 :对热分析技术的特点进行了分析 ,提出了一种对铸造合金熔体成分及性能进行综合检测和预报的新的热分析技术 .该技术可根据所测得的温度特征值及所回归的数学模型 ,预测灰铸铁和球铁的主要成分和性能 .为了实现对所建数学模型的动态修正和更新 ,设计引用了对热分析模型自适应性分析软件模块 .通过对冷却曲线形状的分析 ,实现对特征值的误判和预测值偏差的解释 ,将传统热分析技术从单纯的定量拓宽到了定量和定性相结合 .在自动校正技术的基础上 ,设计开发了能对铸铁成分进行检测并预报其性能的微机热分析仪硬件电路系统和软件系统 .

关键词 :铸造 ;热分析技术 ;合金熔体 ;检测

中图分类号 :TG 235 文献标识码 :A

0 引言

在铸造生产中 ,对铸造合金熔体的主要化学成分和机械性能进行现场快速、准确的测定 ,是对铸件质量进行控制的重要环节 .实现对成分和性能检测的方法很多 ,但从对生产现场有指导意义的在线即测的角度出发 ,热分析技术仍是最适用于铸造工艺质量检控的一种方法 .因此 ,该项技术及其应用十分值得铸造工作者作深入的研究 .

1 铁水成分测定及性能预报数学模型

热分析法依据的原理是 :液态合金在冷却过程中所发生的任何一种相变(包括初晶析出的液相转变和共晶结晶转变) ,都伴有热量的释放或吸收 ,从而使合金试样温度变化的连续性受到破坏 ,显出温度特征值 .根据这些特征值 ,便可确定铸铁的成分 ,并预报有关的机械性能^[1~4] .

1.1 灰铸铁成分及相关性能与特征温度的关系

实验研究证明 ,对于灰铸铁(或低合金铸铁) ,当在样杯中加入砷 ,使各成份的合金液均按强制白口方式凝固 ,如图 1 所示 .利用数理统计的方法可得到灰铸铁的碳当量 CE 、碳量 $w(C)$ 、硅量 $w(Si)$ 与液相线温度 T_L 和共晶转变温度 T_{EM} 之间存在的线性关系 :

$$CE = A + B \cdot T_L ; \tag{1}$$

$$w(C) = a_1 + b_1 \cdot T_L + c_1 \cdot T_{EM} ; \tag{2}$$

$$w(Si) = a_2 + b_2 \cdot T_{EM} , \tag{3}$$

式中 : A, a_1, a_2, B, b_1, b_2 为回归常数 .

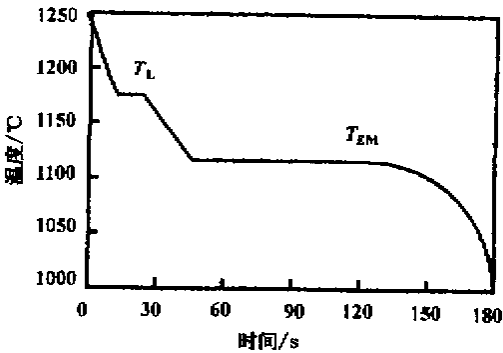


图 1 灰铸铁冷却曲线

Fig.1 Cooling curve of grey cast iron

当采用灰口样杯不加砷时 ,灰铸铁溶液按灰口方式凝固 ,此时可以根据冷却曲线的特征值来预报其力学性能 .研究证明 ,碳当量 CE 是决定灰铸件硬度、加工性能等一系列特性的重要参数 ,而如上所述 , CE 与 T_L 呈良好的线性关系 ,可见 T_L 是对铸件主要机械性能进行预报的主要参数 .在过冷度及孕育处理条件相同的情况下 ,可得铸件的预测抗拉强度 σ_b 及硬度 HB 的数学模型为

$$\sigma_b = a_3 \cdot T_L + b_3 ; \tag{4}$$

$$HB = a_4 + b_4 \cdot \sigma_b , \tag{5}$$

式中： a_3, a_4, b_3, b_4 为回归常数。

图 2 为球铁典型的冷却曲线。由于稀土镁的加入，产生强烈的反石墨化作用，使得初晶、共晶温度和回升温度（ T_{EN} 、 T_{EU} 及 T_{ER} ）较原铁水（灰铸铁）低。经大量冷却曲线采集及金相分析，得到球化率 D_s 的表达式为

$$D_s = a + b \cdot T_{EU} + c \cdot \Delta T_2 + d \cdot D_m , \tag{6}$$

式中： a, b, c, d 为回归常数； ΔT_2 为再辉度， $\Delta T_2 = T_{ER} - T_{EU}$ ； T_m 为微分曲线的峰值。

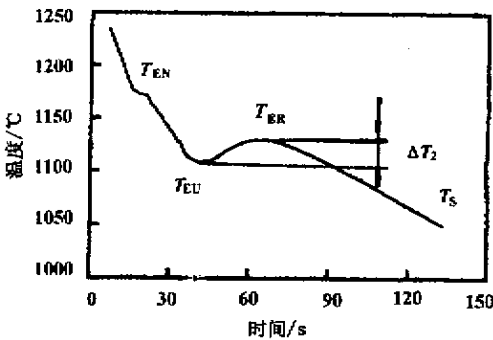


图 2 球铁冷却曲线

Fig.2 Cooling curve of nodular cast iron

1.2 球铁球化率的数学模型

1.3 热分析模型自适应性分析^[5]

某一条件下利用统计和数值模拟的数学方法所建立的热分析模型往往不能适应不同的生产厂家，常会出现分析结果超差。为此，本项研究开发了自适应软件，为用户在上位 PC 机上提供了一个操作管理平台，工作时，用户将一定数量试样的化学成分分析和力学性能检测值以及与之相应的热分析特征值按要求以记录的形式输入，自适应软件将所录入数据 $\{T_L, T_{EM}, CE, w(C), w(Si), \sigma_b, HB\}$ 转换成数据文件，并据此自动对所建模型进行修正，然后通过 RS232 串行通讯模块即可实现对热分析仪中所固化模型进行更新。

2 热分析硬件系统的研制开发

本文研制的热分析仪硬件系统如图 3 所示，它由以热电偶为核心的即一次仪表和热电偶模拟电路部分及微机数字电路部分组成^[6]。本文仅对其关键并具有创新性的部分进行分析。

2.1 样杯及微信号处理电路的研制

除了数学模型的可信度外，热分析仪的精确度直接影响热分析测试结果的准确度。笔者经实

验分析认为，提高仪表精确度的关键技术有 3 个方面：①一次样杯的设计；②热电偶微信号处理模拟电路的设计；③热电偶冷端温度补偿技术。为了提高一次样杯的精确度和稳定性，本项目在热电偶选型、结构形式、坩的加入方式上做了大量实验，比较得知，选用 S 型热电偶 U 型石英保护管，底插式插头，内壁尺寸 $\Phi 30\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ 的样杯精度和重复性最好。在信号处理方面，选用了高精度的放大器件 7650，并采用了浮地技术。为了消除现场杂波干扰，进行二阶有源、低通滤波及跟随隔离处理，并采用高精度温度传感器 AD590 对所选 S 型热电偶冷端温度进行准确补偿。

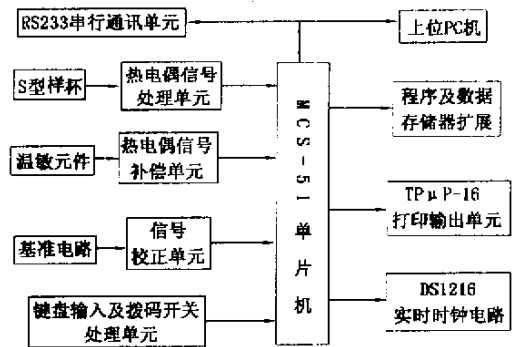


图 3 热分析硬件系统原理图

Fig.3 Scheme of hardware construction for thermal analysis system

2.2 自动校正技术及其实现电路

自动校正技术是保证模拟电路精度的重要手段，尤其是在恶劣环境中使用的仪器仪表，随着时间和环境条件的变化，电路元器件常会呈现出漂移等不稳定性，影响电路精度。本文通过软件实现对电路的放大倍数 A_f 和迁移电压 V_0 的校正，校正时，在可能的液相温度 T_L 和 T_{EM} 共晶温度对应的热电势之间，分别给出两个基准电压 T_1 和 T_2 ，读出此时的 A/D 值 N_1 和 N_2 ，通过编程解如下方程

$$N_1 = A_f \cdot T_1 + V_0 ; \tag{7}$$

$$N_2 = A_f \cdot T_2 + V_0 , \tag{8}$$

即可求出此时的实际放大倍数 A_f 和 V_0 及它们与设计值的偏差，这样即可通过软件在温标转换时进行修正，如果超差，还可自动提示，以进行硬件校正。利用该软件校正技术，每次开机都可实现自动校正。

3 热分析系统软件的设计

热分析软件由如图 4 所示模块构成。本文就

图 5 中关键的软件技术进行下述分析.

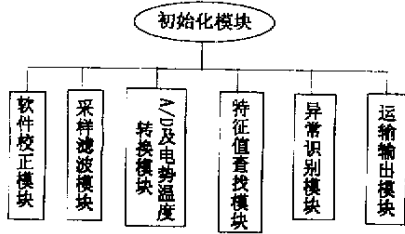


图 4 热分析软件模块构成

Fig.4 Scheme of software construction for thermal analysis system

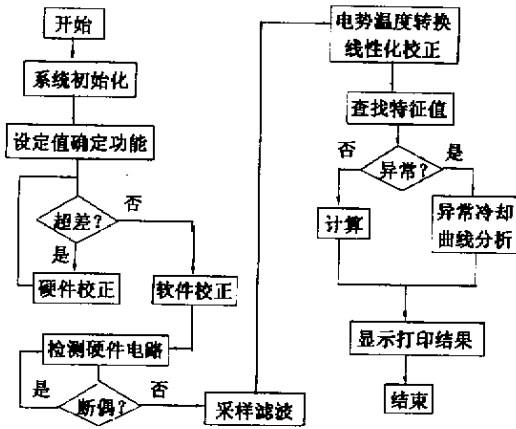


图 5 热分析程序框

Fig.5 Block diagram of thermal system progra

3.1 特征值确定的综合分析

其中特征值的查找和滤波是关键.本文首先对所采集的信号进行数字滤波,在此采用了滑动平均值滤波技术,有效地避免了有效数据的丢失,滤波参数是根据 A/D 转换速率决定的.对特征值的查找采用了差值和斜率综合分析的方法,实验表明,相对于单一方法,该方法可提高特征值确定的准确性.

3.2 异常曲线识别分析^[7]

合格铁水的成分范围为: $w(C) = 3.01\% \sim 3.95\%$, $w(Si) = 1.1\% \sim 2.0\%$, $CE = 3.6 \sim 4.3$, 相应的温度范围为: $T_L = 1223 \sim 1136^\circ\text{C}$, $T_{EM} = 1125 \sim 1110^\circ\text{C}$. 若偏离此合格范围,就会造成特征值的误判.主要有两种误判情况:①初晶不明显.这主要是由外界因素所造成,如浇注温度过低、样杯结构不合理等.②化学成分超差.有两种情况:碳量过低.软件无法正确地找到 T_L ,只找一个 T_{EM} ,而将其错判为共晶铸铁.从凝固及相组织特点分析,此时初晶奥氏体多,共晶量少,初晶平台不明显,冷却速度慢, $T_L - T_{EM}$ 冷却曲线呈 45° 倾角,而共晶成分的铸铁则呈 15° 倾角.另一个特点是:共

晶平台短,而共晶铸铁共晶平台最长,这便为软件提供了判据.另一种情况是碳量过高.这种铸铁碳当量超出共晶点,共晶凝固前出现石墨析出现象,无初晶特征,所以也会产生错判为共晶铸铁的情况.此种情况较少见,其冷却曲线倾角较小,再结合现场三角试块面出现的黑亮碳,则可判断为过共晶铸铁.

4 结论

本文研制的微机热分析系统在软、硬件技术上均采用了先进的技术,特别就热分析中实际存在的问题,从微信号处理、热电偶冷端温度补偿、软件自动校正、数字滤波及特征值查找和异常曲线软件判别等关键技术上进行研究改进,实验表明,该系统性能稳定可靠,准确性高,操作方便.由此得出以下结论:

(1) 铸造热分析系统的精度和性能取决于热电偶微信号的处理以及软件滤波和特征值查找技术,即除硬件保证外,软件也可提高其精度和可靠性.

(2) 在工业现场特别是环境恶劣的铸造现场,系统经长期使用,误差将会增加,因此必须采取校正措施.而硬件校正不便进行,本文提出的软件校正技术可在每次开机时自动实现,确保精度,使用方便.

(3) 实际测试表明,特征值的查找确定应由多方法综合分析.

(4) 铸造热分析数学模型的可信度是热分析正确进行的前提,亦应动态修正.

(5) 通过软件方法进行异常情况判断,拓宽了热分析的应用范围,提高了测试精度.

参考文献:

- [1] 李言祥,胡晓.冷却曲线人工智能识别与新一代铸造合金熔体质量评估技术[J].铸造,1999,48(7):4-6.
- [2] ZHU P, SMITH W. Prediction of the microstructure of cast iron using the analysis[J]. Material Science Forum, 1996, 16: 215-216.
- [3] SILLEN R V. Optimizing iron quality through artificial intelligence[J]. Modern Casting, 1996(11):43-45.
- [4] SPARKMAN D A, BHASKARAN C A. Chill measurement by the rmal analysis[J]. AFS Trans, 1996, 104(9):69-976.
- [5] 孙业赞,王荣,曹刚,等.基于高技术平台上的铸造热分析系统研究与实验[J].中国铸造装备与技

[6] 龚文邦 ,余 靖 ,陶汉德 . 新型铁液综合参数快速分
析仪的研制 [J]. 现代铸铁 ,1997 (3) 25 - 28 .

[7] 黄 斌 . 铸铁异常冷却曲线的识别 [J]. 铸造 ,1999 ,
48 (11) 25 - 28 .

术 ,2000 (5) :16 - 20 .

Study on Thermal Analysis System Used for Composition Determination
and Performance Prediction for Casting Alloy Melt Liquid

LI Fu - shan , LI Yong - gang

(Department of Material Science & Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract : In this paper , various characteristics of current thermal analysis technique are analyzed . A new method of composition determination and performance prediction for casting alloy melt liquid has been proposed . The technique is used to predict the composition and performance for casting alloy . According to characteristic temperature and maths model , a software block is designed for self - adaptability of the thermal model . The thermal analysis system accounts for the mistaken judgment on characteristic temperature and the devition of prediction on the basis of analyzing the shape of cooling curve . Therefore , the paper has developed the traditional quantitative analysis to the level of combination of quantitation and qualitative analysis . The analysis of correction technique is studied in the paper . Hardware circuit and software system for thermal analysis system are developed by means of single - computer as mainframe . Both the composition determination and the performance prediction can be realized by using the thermal system .

Key words : casting ; thermal analysis technique ; alloy melt liquid ; test

高丹盈获省“ 十大青年科技新闻人物 ”称号

在日前揭晓的首届河南科技新闻人物评选活动中 ,我校科研处处长高丹盈教授荣获“ 十大青年科技新闻人物 ”称号。

该项评选活动由中共河南省委宣传部、省科技厅等 5 家单位联合举办 ,在我省尚属首次 ,旨在大力宣传和表彰在实施科技兴豫战略中 ,做出突出贡献的优秀科技工作者。通过全省 18 个市各有关单位层层推荐和选拔 ,从数百名候选人中 ,经过社会公开投票和专家集中评审 ,最后评出河南省十大科技新闻人物和河南省十大青年科技新闻人物。

今年 38 岁的高丹盈教授主要从事新型复合材料及其结构性能的研究。1989 年获大连理工大学工学博士学位 ,1995 年开始与哈尔滨建筑大学联合指导博士研究生 ,1996 年至 1998 年在加拿大 Sherbrooke 大学做博士后研究工作 ,2000 年获国务院特殊津贴。他撰写或担任主编出版专著 3 部 ,发表学术论文 70 多篇 ,主持完成的 5 项科研项目均通过省部级鉴定 ,其中 4 项分获省科技进步二、三等奖。目前他还主持承担 3 项国家自然科学基金项目 ,1 项省杰出青年科学基金项目 ,2 项省重点攻关项目。曾荣获省文明教师、郑州市“ 三育人 ”先进个人、中国水利学会优秀青年科技工作者等荣誉称号。