

热丝法炉渣熔化和结晶过程测定装置的研制

施金良 贾碧 吴云君 贺丰雷 李家庆
(重庆科技学院, 重庆 400050)

文光华 唐萍
(重庆大学, 重庆 400044)

摘要 研制了热丝法炉渣熔化和结晶参数测定仪, 该测定仪用一根双铂铑热电偶丝既作加热元件又作测温元件, 具有升、降温速度快, 测量效率高的特点。对板坯保护渣测试结果表明, 炉渣开始熔化温度和流动温度的测量误差 $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 结晶温度 $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 结晶比率 $\pm 5\%$ 。

关键词 热丝法 炉渣 熔化温度 结晶温度 结晶率

Development of a Measuring Device for Melting and Crystallization Parameters of Slag by Single Thermal Couple Method

Shi Jinliang, Jia Bi, Wu Yunjun, He Fenglei and Li Jiaqing
(Chongqing Science and Technology College, Chongqing 400050)
Wen Guanghua and Tang Ping
(Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract A measuring device for melting and crystallization parameters of slag has been developed using single thermal couple which not only is as a measuring temperature element, but also as a heating element with the characteristics of higher speed of temperature going up and lowering and higher measuring efficiency. The measuring results on protecting slag for slab concasting showed that measuring relative error for initial melting temperature and flowing temperature slag was $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, for crystallizing temperature also was $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ and the error for crystallizing rate of slag was $\pm 5\%$.

Material Index Single Thermal Couple Method, Slag, Melting Temperature, Crystallizing Temperature, Crystallizing Rate

在冶金行业中, 高炉渣、钢渣和保护渣的开始熔化温度、熔化温度区间、结晶温度和结晶率等重要物理特性, 对提高产品质量、节约能源等都有着十分重要的意义^[1]。传统的测量熔点和结晶温度的方法有差热分析法(DTA)和半球法。但这些方法观察不到渣样的凝固过程, 并且半球法测量效率低, 每测量一个试样需要几个小时甚至十几个小时。作者研制的热丝法炉渣熔化及结晶过程测定仪, 使用一根双铂铑热电偶丝既作加热元件又作测温元件, 具有升、降温速度快, 测量效率高的特点。同时结合了视频显示和图象识别技术, 能够准确测定冶金炉渣等材料的熔化温度、流动温度、结晶温度和结晶率等物理特性。该仪器采用计算机控制和测量技术, 控制效果好, 测量精度高; 操作简便, 观察方便, 实验全过程以图文方式显示, 具有良好的人机界面。

1 热丝法炉渣熔化及结晶过程测定装置

热电偶丝既作加热元件又作测温元件^[2,3]。温度可达到 $1\ 600\text{ }^\circ\text{C}$, 而且受冷端温度波动影响小。热电偶的热接点做成 U 字型, 被测试样直接放于热电偶的热点上。整个试样的熔化和结晶过程, 可通过显微镜和视频设备直接在显示器上观察^[4]。

1.1 硬件电路设计

为了使热电偶的加热和热电势的测量能同时进行, 专门设计了如图 1 所示的热丝法控制电路。图 1 中, T2 导通时, 热电偶通电加热, 加热瞬时电压为 12 V。当 T2 关断时, 热电偶两端电压正好是热电偶的热电势。可见, 热电偶的加热与测量是分别独立进行的。当 T2 通断频率相当高时, 即 T2 断的时间相当短也即热电偶断电时间十分短时, 可认为热电偶的接点温度几乎不变。这从连续的意义讲, 加热与测量是同时进行的。因此, 计算机只要发出一连串的 PWM 调制波信号来触发 T2, 使热电偶信号与 PWM 信号一致, 并使 T2 关断时间很小 ($200\ \mu\text{s}$) 并保持不变, 通过调节连

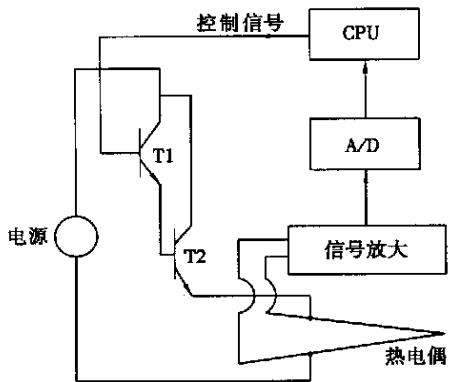


图 1 热丝法驱动电路

Fig. 1 Driving electric circuit for single thermal couple method

能控制策略来达到响应的快速性、低超调和恒温的精度。

仪器由微型电弧炉、控制机箱、显微镜、CCD 摄像机构、图象采集卡和计算机等组成。在控制箱中有微处理器(CPU),通过 RS232 的方式接收计算机发送的命令,根据命令控制驱动电路,实现温度的控制和测量。

在显微镜上安装有摄像头,可以在计算机的屏幕上直接观察被测试样的整个熔化和结晶过程,同时系统具有图片捕捉功能,可手动捕捉也可按给定条件自动捕捉,捕捉下来的图片保存在计算机的硬盘中,每张图片上有对应的时间和温度值,为实验后的研究分析带来方便。

1.2 软件设计

1.2.1 炉温控制算法

由于热丝法使用热电偶作加热元件和测量元件,因此这样的微型炉热容量很小,易受各种因素干扰。为了达到测温的准确性和炉温的稳定性,采用了多模式控制策略。

(1) 误差 $|e_n| > M_1$ 时,炉子用 Bang-Bang 模式进行控制。其中 e_n 为当前温度给定量与被调量之差值; M_1 为给定的误差界限,取值 1~255,一般取 20~30。

(2) 当误差 $|e_n| > M_1$ 时,且 $\Delta e_n = e_n - e_{n-1} > 0$ 时,用比例模式;当 $|e_n| > M_2$ 时,再将比例系数乘以放大系数 (M_2 为设定的误差界限,取值 $2M_1$),使控制量更大。

(3) 当误差变化趋势为 0 时,即 $\Delta e_n = 0$ 或 Δe ,应减小控制量,直至 e 反号为止。

上述多模式控制策略,有效地满足了热丝法的控制要求。

1.2.2 结晶率计算

由于物质结晶过程,是由液态转变成固态的过程。表现在图象上,由于结晶体的反光作用,结晶点的亮度会高于非结晶区熔体的亮度,如图 2 中矩形框中的区域。

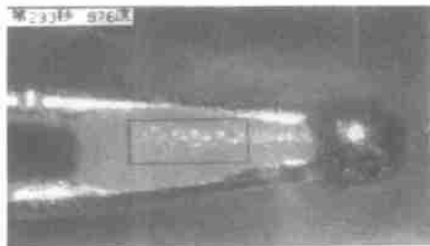


图 2 结晶示例

Fig. 2 Example of crystallizing

由此可对所选区域进行结晶部分的图象识别,结果如图 3 所示,图中黑色为结晶点区域;结晶率计算结果为:总象素点个数 2 175,结晶象素点 955,结晶率 43.91%。

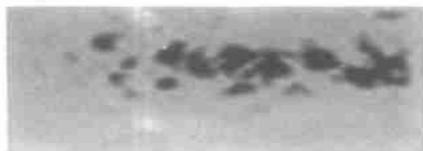


图 3 结晶区域图象

Fig. 3 Morphology of crystallizing zone

1.3 校正

当测未知试样之前,先用已知熔点和结晶点温度的纯物质(如 K_2SO_4)进行标定,系统将自动标定仪器常数并保存。图 4(a)所示的是 K_2SO_4 熔化曲线,升温速率为 $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ($300\text{ }^\circ\text{C/min}$);图 4(b)所示的是 K_2SO_4 结晶曲线,降温速率为 $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ($300\text{ }^\circ\text{C/min}$)。

2 测试结果分析

选用 3 个工业上使用的板坯保护渣进行测试,保护渣化学成分见表 1 所示。表中 1[#]渣浇注低碳钢,2[#]渣浇注低合金钢,3[#]渣浇注包晶钢。

3种工业上使用的结晶器保护渣测试结果见

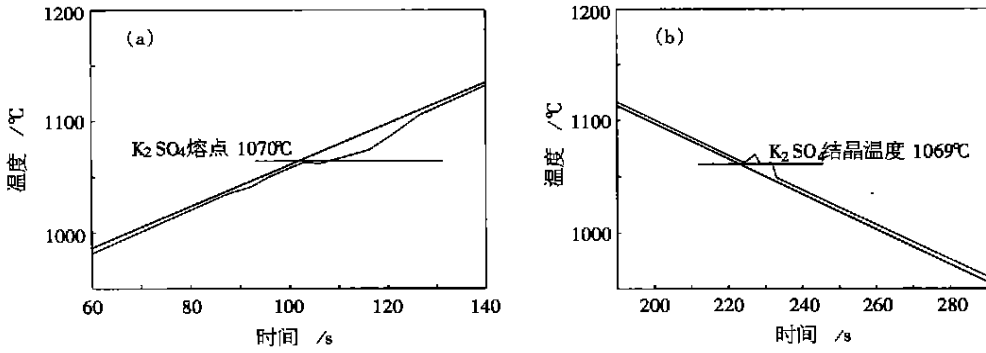


图4 K₂SO₄ 熔化(a)和结晶(b)过程曲线

Fig. 4 Process curves of K₂SO₄ melting (a) and crystallizing (b)

表1 实验保护渣的成分/%

Table 1 Ingredient of test protecting slag /%

渣号	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F ⁻	Li ₂ O
1#	28.9	29.9	4.2	0.3	2.7	10.5	0.1	7.9	—
2#	33.6	32.1	4.0	0.3	2.5	8.7	0.1	8.1	0.6
3#	34.5	27.1	2.6	0.3	3.2	8.6	0.1	8.6	0.6

表2和表3。每个渣样重复测试3次;同时用半球点熔点温度测试仪、差热分析仪和熔渣冷却渣样断口观察法对结果进行验证。实验升温速率为300 °C/min,熔渣结晶冷却过程均采用10 °C/min的冷却速率。从表可知,保护渣熔化温度和流动温度与半球点法测试结果吻合,3次平均值误差在±10 °C范围内;结晶温度最大误差是11 °C,其平均值与差热分析仪测试结果吻合;结晶比率最大误差为6%,3次平均值也与熔渣冷却断口测试结果接近。

表2 炉渣熔化温度测试结果/°C

Table 2 Measuring results of melting temperature of slag /°C

渣号	热丝法		半球点法	
	开始熔化温度	流动温度	开始熔化温度	流动温度
1#	992	1 097	987	1 091
2#	1 049	1 146	1 058	1 146
3#	1 070	1 157	1 062	1 165

表3 炉渣结晶温度和结晶比率测试结果

Table 3 Measuring results of crystallizing temperature and crystallizing rate of slag

渣号	结晶温度/°C		结晶比率/%	
	热丝法	差热分析	热丝法	熔渣冷却断口
1#	1 113	1 112	13	12
2#	1 142	1 140	32	29
3#	1 196	1 198	65	63

通过多次测试,该热丝法仪器测试冶金渣的熔化温度和结晶性能重现性达到如下要求:(1)开始熔化温度和流动温度±10 °C;(2)结晶温度±10 °C;(3)结晶比率±5%。

3 结论

该装置是重庆科技学院和重庆大学共同开发研制的。仪器特点是采用热丝法技术,能在线观察、离线分析工业冶金渣和实验室自制渣的熔化和结晶过程,试验过程快速、直观;同时利用图象识别技术,还可对结晶比率做出准确的计算。经过对比测试结果表明,该系统测定冶金渣熔化温度和结晶性能结果可靠,重现性能达到如下范围要求:(1)开始熔化温度和流动温度±10 °C;(2)结晶温度±10 °C;(3)结晶比率±5%。

参考文献

- 1 Yoshiaki Kashiwaya·An Investigation of the Crystallization of a Continuous Casting Mold Slag Using the Single Hot Thermocouple Technique·ISIJ International, 1998, 38(4):357
- 2 Yoshiaki Kashiwaya·Development of Double and Single Hot Thermocouple Technique for in Situ Observation and Measurement of Mold Slag·ISIJ International, 1998, 38(4):348
- 3 施金良,贾碧·微机控制的热丝法物质熔点仪·冶金自动化, 1998, 21(3):36
- 4 杨汝清,杨明·智能控制过程·上海:上海交通大学出版社, 2001

施金良(1963-),男,高级工程师,1992年北京科技大学工业自动化硕士毕业。重庆科技学院电子信息工程学院副院长,从事控制理论与控制工程、冶金检测设备研究。