

感应电炉熔化

实时控制技术的应用现状及发展趋势

西安机电研究所 (陕西 710077) 颜文非

一、感应熔化的历史和传统的使用方式

科学家法拉第于1831年发现了电磁感应现象,并建立了著名的法拉第电磁感应定律。凯林(Kjellin)于1903年制造出了第一台水平沟槽式的感应熔化电炉,向世人展示了该定律的实用价值。1915年瓦特(Wyatt)建造了世界上第一台实用的垂直沟槽式感应熔化电炉,从而在真正意义上谱写起了感应熔化电炉发展的历史。

回顾一百多年来感应熔化电炉的技术发展历程,从工频电炉(沟槽式和坩埚式)、倍频电炉、中频电炉(发电机组)发展到今天的晶闸管中频电炉。可以看到,它的技术发展一直围绕着三个目标进行的。这三个目标是:①适应于不断发展和完善的铸造熔化工艺的要求。②降低熔化单耗和提高生产率。③降低劳动强度,简化操作,满足社会对人文和环保的要求。

由于熔化过程中炉料的工况变化很大,要实现上述目标,很大程度上取决于对于感应电炉熔化过程的功率控制、金属液的温度控制及其他方面的控制技术。工频电炉的功率自动控制在三相平衡技术实施上遇到困难,在20世纪80年代曾经有不少单位研制工频电炉的三相自动平衡装置,但是真正付诸实际应用的几乎没有。晶闸管电源的中频电炉的出现为实现上述目标提供了可能。但是长期以来,我国铸造行业的传统观念和旧的生产管理模式限制了感应电炉熔化过程控制技术的发展,传统的作业方式还停留在根据炉况人工调整功率、人工快速测温 and 浇包电子称重等控制技术。对于这种现象,要进一步提高上述三个目标值是极困难的。

二、实时控制

近年来,随着电子技术的发展,先进的实时控制技术逐步在感应熔化方面得到应用。这些技术包括恒功率

控制、熔化温度控制、炉料称量和定量出料系统及计算机熔化管理系统等。这些技术的应用极大地提高了感应熔化的自动化程度。

1. 功率控制

传统的SCR并联谐振的中频电源是定压输出的电源,它们控制的是输出电压,而输出功率则取决于电炉的阻抗和电源输出电流的能力。

在一个完整的熔化过程中,电炉的阻抗不是恒定的,而是随炉料温度和炉料密实程度的变化而变化。通常,炉料温度越低,加料越密实,则电炉的阻抗就越小。如果以满炉额定温度的工况为基准的话,熔化过程中电炉阻抗的变化范围是这个数字的 $\pm 35\%$ 左右。电炉阻抗的变化有两个极端,一是冷态加满料,刚开始通电的时候,这时由于炉料温度低、电阻率小,所以电炉阻抗最小;另一个极端发生在炉料的温度达到居里点的时候,这时候铁开始失去导磁性,但是又没有熔化,炉料的密实程度没有得到改善,这个时候电炉的阻抗最大。在这以后,随着温度的上升,熔化的铁液逐渐填满固体料之间的空隙,电炉的阻抗趋于稳定。

传统的定压输出的中频电源在上述的两个极端情况下是不能输出额定功率的。在熔化初期,由于电炉的阻抗小,电源工作在限电流状态,输出电压不能升得太高,这时的输出功率往往只有额定功率的50%甚至更低。在居里点附近,由于电炉的阻抗比较大,这时就是把电源的输出电压升到100%,依然不能获得足够的输出电流,所以输出功率也低于额定功率。图1a是一个熔化周期内这类电源输出功率和时间关系的记录。从图中可以看到,在熔化开始的相当长的一段时间内,由于上述因素的影响,电源的输出功率是低于额定功率的,这直接导致了熔化时间的延长和能耗的增加。

理想的功率曲线应该如图1b所示,在整个熔化过程中,中频电源的输出功率应该始终保持在额定功率附近,不随炉料温度和加料密程度的变化而变化。

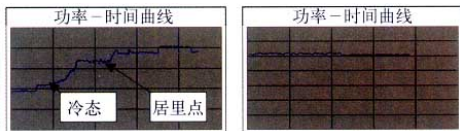


图 1

为了实现高效熔化,中频电源必须具有恒定输出功率的能力,这是通过调节中频电源的工作频率实现的。工作频率的变化能够直接改变电炉的阻抗,当电炉阻抗太低时,适当的升高工作频率,而阻抗太高时,则降低工作频率。通过这样的调节,能够使整个熔化过程中,电炉的阻抗基本一致,从而保证中频电源始终在额定功率下工作。图1b所示的曲线是在一台采用这项控制技术的2t、1250kW电炉上计算机记录的实际数据。

2. 熔化温度控制

感应熔化对温度的控制主要表现在出炉温度的控制,熔化中间过程的温度是没有意义的。传统的方法是在固体料全部熔化后的升温过程中,目测炉料的温度,人工判断接近出炉温度时,多次采用快速热电偶测量,直到温度符合要求后出炉。这种方法有如下3个弊端:①需要经验丰富的操作工人。②消耗很多的快速热电偶。③如果疏忽,炉料可能持续升温导致过热,造成化学成分的烧损或烧坏炉衬。

新的温度控制方法是采用基于能量平衡的控制技术。这是一个电脑软件,可以是内置于中频电源控制CPU中的简单的能量计算程序,或是安装在熔化管理计算机中,采用高级语言编制的复杂的软件。它的基本功能是不断监测中频电源的输出功率,统计出送入电炉的能量,同时,它还对环境温度、冷却水温度和流量进行连续监测,用来计算电炉消耗的能量。送入电炉的能量和电炉消耗的能量之差就是炉料获得的能量,它和炉料的温度有着固定的关系,用适当的数学模型,就能够计算出出炉料的温度。这类软件往往具备误差修正功能,能够根据计算和实测的误差,调整自己的计算模型,使以后的计算结果更加趋近实际结果。在生产实践中,良好的计算模型能够得到小于 $\pm 15^\circ\text{C}$ 的计算精度(熔化铸铁到 1450°C 时)。

采用这样的温度控制技术后,熔化过程变得非常简

单。不再需要人工判断温度,不再需要很多次的测温,也避免了炉料过热的危险。当炉料的温度达到要求时,控制软件能够自动地把中频电源的输出功率降到保温功率,然后提示操作人员温度已经符合要求。图2是安装在熔化管理计算机上的这样一个软件的运行界面。

3. 称重和定量出炉

感应熔化另外一个需

要控制的量就是炉料的重

量。传统上,这个过程是在电炉以外实现的。熔化前需要用吊钩秤或机械磅秤这样的设备预先称好炉料的重量,然后分次加到炉内熔化。

先进的感应电炉自身具备称重装置。通常的做法是在电炉的底部四个角安装重量传感器,使电炉在竖直方向完全悬浮于基础,四个传感器的输出信号加在一起,送到熔化管理计算机内计算出电炉的总重,以炉料倒空后的重量为基准,得到实际炉料的重量。

采用具备称重功能的感应电炉,能够带来很多的便利:①炉料能够直接往电炉里加,直到额定重量,避免了外部称重的过程。②熔化完毕的炉料往往不是一次倾倒入去的,很多时候是分几次,每次按一定的量出炉。感应电炉的称重装置无论是电炉在水平位置,或是在倾斜的时候都是有效的,因此它不但能够记录炉内存料的重量,也能够计算出倾倒入去的重量,将这个数据通过计算机与倾炉的液压系统联动,就能够实现按设定的重量分次出炉。③每次的加料量自动被熔化管理计算机记录,方便产量统计。

三、自动化装置

为了实现上述的实时控制技术,先进的数字化控制系统、多种类型的传感器和实现这些功能的计算机软件是必须的。实际应用中,由两级控制系统构成:一级系统安装在中频电源的控制板内,它用来完成数据采集,对中频电源自身的运行状态进行控制等;二级系统是运行熔化管理软件的工业计算机系统,它通过光纤或其他方式和一级系统通讯,实现高级的控制和管理功能。

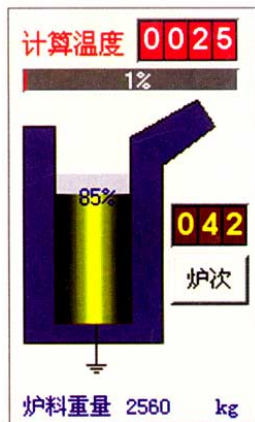


图 2

1. 数字化的综合控制系统

这是最底层的控制系统,通常由微控制器和相关的硬件电路构成。它主要实现几个功能:①采集各电参数,以及冷却水温度压力流量、炉料重量、炉衬厚度等传感器的数据,在自己的操作界面上显示,同时把数据传送给熔化管理计算机系统。②监视这些数据的变化,当出现超过允许范围的情况时给出提示和报警。③控制中频电源的工作状态,根据电炉阻抗的变化,调节工作频率,实现恒功率的熔化过程。④带有简单的炉料温度计算功能,完成出炉温度的控制。

典型的数字化的综合控制系统的操作界面见图3。

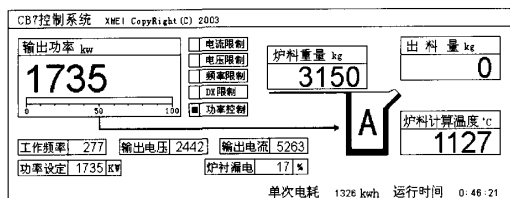


图 3

2. 计算机熔化管理系统

其核心是运行在工业控制计算机上的熔化控制管理软件。它利用工控机强大的运算处理能力,完成更加复杂和精确的闭环控制功能,并实现数据的记录、分析、分类统计、显示打印和共享等管理功能。

(1)闭环控制 计算机熔化管理系统能够完成的控制功能有:①按熔化工艺表进行自动熔化,它采用前面所说的温度计算的方法,自动地把炉料熔化到规定的温度。②按温度-时间曲线自动运行,这个功能用于实现炉衬自动烧结。计算机熔化管理系统通过热电偶采集电炉的工作温度,与设定的温度曲线进行对比,根据温差自动调节中频电源的输出功率,从而实现按设定的温度-时间曲线完成炉衬自动烧结。实际运行表明,其控制精度能够达到 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。③按功率-时间曲线自动运行,这主要用于冷炉衬的预热。温度-时间曲线和功率-时间曲线都能够由使用者自己编制。

(2)熔化管理 计算机熔化管理系统能够按规定的时间间隔,将采集的熔化过程的数据按时间、炉号、熔化批次号等索引方式保存在自己的数据库中。这样能够很方便地进行数据汇总和统计,生成各种类型的报表,随时了解每台电炉的使用状况、产量和能耗等信息。

当电炉发生异常状况时,异常状况实时被计算机熔化管理系统记录。通过对这些记录的统计分析,工作人

员能够了解设备的故障情况、每年更换的零部件数量等,方便了设备管理。

计算机熔化管理系统具有网络接口,能够将熔化管理计算机联接到局域网内,通过一个客户端软件,局域网内的任何电脑都能够了解到电炉的使用情况和进行数据管理。图4是计算机熔化控制管理系统的运行界面。

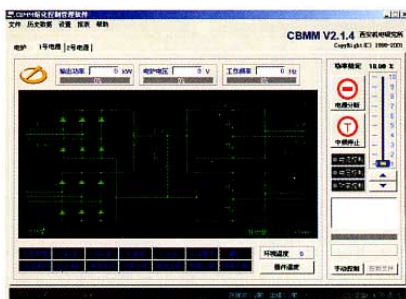


图 4

四、应用现状和发展趋势

受传统观念的影响,具有先进的实时控制技术的感应熔化电炉在国内的应用还是很少。很多铸造企业不了解这些先进技术能够带来的好处,在选择熔化设备的时候,往往局限在电炉容量和功率的选择,忽视了熔化率、能耗、自动控制程度以及故障率等方面对运行成本的影响。

实际运行表明,仅采用恒功率熔化控制技术的中频电源与传统的中频电源比较,在熔化每吨铁液上的能源消耗就下降了3%~5%。如果具有一定的年产量,可能每年电费的节约就已经超过了在先进技术方面的投资。

科学的评判和选择设备的方法是把设备的购置成本、一定年限的使用和维护费用相加,然后分摊到这些年的总产量中去,得到每生产一吨铁液所需要的在设备方面的花费,这样的分析比简单的购置成本的比较更加科学合理。通过这样的分析,结论往往是先进的设备具有更低的综合使用成本。

受能源短缺的影响,这些年原材料和能源的价格都在上涨,这种情况下,如何提高产品质量,降低生产成本已经成了铸造企业能否立足和发展的基本要求。就感应熔化来说,每吨铸件中电力的成本仅次于原材料成本,占第二位。采用高效节能的熔化设备是降低生产成本、提高企业竞争力的有效方法。在最近的几年内,这些先进的实时控制技术将成为感应熔化电炉的标准配置。



(20050108)