● 装备技术 Equipment Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.018

中频炉的节能与物联网(IoT)技术

【日】樱健一[1],高 正[2] 译
(1.富士电机株式会社;2.富士电机(中国)有限公司,上海 200000)

摘 要:在国内钢铁产量稳定增加的大背景下,各铸造企业比以往更需要使用节能专用设备。一般而言,铸造企业仅有64%的能耗有效利用于熔化工序中,如何减少能耗浪费是各企业面临的主要课题。因此,提出了减少理论熔化能耗、改善操作方法,以降低能耗、降低设备损耗等节能方法。介绍了富士新型中频感应炉节能方法,以期能够解决铸造工厂的节能问题。结果表明,通过IoT技术可以对耐火材料和电源等故障进行监视及提前预警,从而实现稳定操作。

关键词:IGBT;物联网;节能;感应电炉

中图分类号:TG232.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2020)12-1173-04

Energy Saving and IoT Technology of Fuji Electric Induction Furnace

【JPN】Fuji Electric Kenichi Sakura[1], GAO Zheng[2] Translator
(1. Fuji Electric Co., Ltd; 2.Fuji Electric (China) Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract: Under the background of steady increase of domestic iron and steel output, the foundry enterprises need to use special energy-saving equipment more than before. Generally speaking, only 64% of the energy consumption of foundry enterprises was effectively used in the melting process. How to reduce the waste of energy consumption was the main problem faced by all enterprises. Therefore, energy-saving methods such as reducing theoretical melting energy consumption, improving operation methods to reduce energy consumption and equipment loss were put forward. The energy saving method of Fuji new medium frequency induction furnace was introduced in order to solve the energy saving problem of casting plant. The results show that IoT technology enables the monitoring and early warning of refractory and power supply failures to achieve stable operation.

Key words: insulated gate bipolar transistor; internet of things; energy conservation; electric induction furnace

根据相关资料显示,近年中国的粗钢产量一直在逐年增加,2019年生产量达到了9.96亿t,占世界总量的53%。(根据国家统计局的数据,2020年5月,粗钢的月度产量创历史新高,与此同时,钢铁产量的稳定增加为铸件产量提供了可靠支持,以2018年为例,中国铸件产量已经达到了4 900万t,占世界总量的44%。

新型冠状病毒虽然对整个行业有一定影响,但随着公用设施投资加大以及制造业强势恢复的支持下,整个铸造业也在强势复苏,铸造业在中国必将迎来飞速发展。

由于铸造需求的增加,追求节能和稳定的生产成为铸造企业的刚需,本文作者对于中频炉熔炼工艺中能耗问题,为大家介绍富士电机中频炉的节能和控制技术和方案。

收稿日期:2020-12-03

作者简介:樱健一,日本,硕士,工程师.主要从事工业电炉方面的工作.

1 电炉运行过程中的耗电情况

1.1 铸造用电分析

图1展示了一般日本铸造企业不同工序的能耗使用比例。可以看出,熔炼过程中消耗电力占了64%。由此可见,熔炼过程中耗电占了铸造厂用电的较大比重。

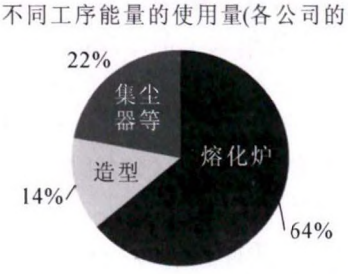


图1 铸造企业不同工序能耗比例
Fig.1 Power consumption used by process in a foundry plant

1.2 根据操作方法的不同,单位能耗不同

在实际生产中,熔化单位能耗被分类为"理论熔化能耗+操作损失+设备损失",如图2所示。因此,降低熔化过程中能耗需要从两方面着手。一方面降

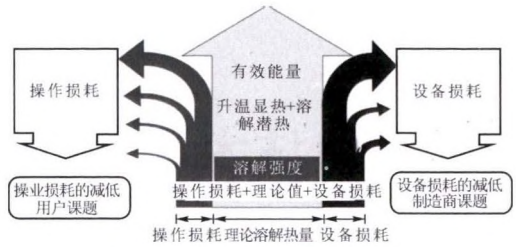


图 2 熔化强度单位能耗的详细说明

Fig.2 Detailed description of power consumption per unit of melting

低设备在生产过程中产生的能耗，另一方面通过优化操作方法上进行节能。

1.3 理论能耗影响因素

理论熔化能耗是由金属材料和溶化温度和固定的物理量决定的。

(1)出铁温度降低，则理论能耗值也会降低。

(2)如果减少温升量，则理论能耗值会降低。

(3)铸铁的熔化温度低于钢的熔化温度，理论值也会降低。

综上所述，对于铸造企业而言，需要更加科学的调整铸造工艺和流程、并尝试低温出铁和低温熔炼等铸造方案，例如采用将出铁中间包的保温，就无需提高出铁温度以避免温损，从而降低出铁温度。如果可将熔化温度降低 50 ℃，则能耗约降低 4%。

1.4 操作损失的降低

(1)最小化保温过程中的热损失　在实际生产过程中，有很多方面会对保温能耗产生影响，造成保温时间延长：①工序安排不合理，造成保温时间加长；②成分分析时间过长；③结渣较多时的除渣作业；④造型时的浇包等待。

保温时间延长会导致能耗大幅上升，如一台 2T 中频炉保温 2 h，熔炼加保温的合计能耗就会达到熔炼能耗的 1.2 倍。

(2)集尘引起的散热影响　对于高温溶液，过大的集尘风量会浪费很大一部分热能。

(3)最佳物料投入方法　投料顺序对能耗也会有非常大的影响，我们尽量使易熔化材质处于熔液上层，这样可以使熔化效率得到有效的提升。

1.5 降低设备损失

设备运行中，仅凭操作部分(运用)来减少设备能耗损失是比较困难的。降低能耗是要通过硬件设备性能的提升来得以实现。

一直以来，各中频炉制造商致力于提升电源变换效率、减少炉体线圈铜损和铁损等设备损失削减的开发。中频炉的各部件外形虽然和 10 年前产品没有太多改变，但实际上核心技术以及设备性能一直在提高。

2 富士电机感应炉介绍

2.1 炉体结构的最佳化

(1)通过磁场分析、确定线圈和磁轭的合理配置。随着线圈效率提升·炉体的损失的减少，从而提高了炉体的效率、并实现了节能效果。图 3 为电磁分析结果。通过对每种金属熔液进行电磁分析、不仅是额定熔液，还是熔化过程中线圈的使用效率均得到提升、从而使得整个熔化过程中的效率得到提升。

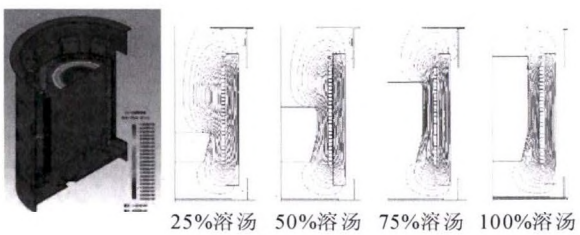


图 3 电磁分析图

Fig.3 Electromagnetic analysis diagram

(2)通过提高绝缘强度等级的高压化实现稳定的运行，并且采用 10 kV 绝缘来增强线圈的绝缘性能。长期的绝缘性能测试即使在潮湿和受污染的环境中也可以确保稳定的绝缘性能。图 4 为一个模拟结果。

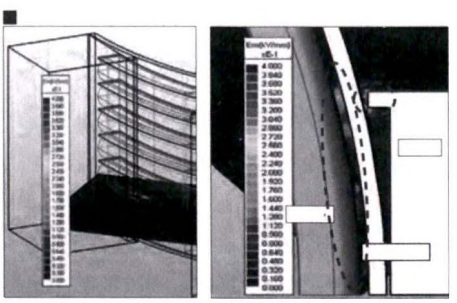


图 4 高电压试验解析

Fig.4 High voltage test simulation

2.2 电源配置的最佳化

(1)采用大容量 IGBT 堆栈　开发了 IGBT(绝缘栅双极型晶体管)单元组，有容量大和高电压化等特点产品线中电源容量升级到最高达 20 MW(见图 5)。

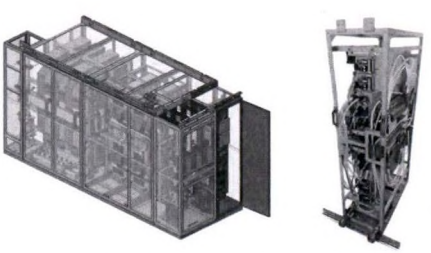


图 5 新型电源构造和大容量堆栈

Fig.5 New power supply unit structure and large capacity stack

(2)高速数字控制装置　采用了高速数字控制装置来实现稳定的驱动，防止出现故障。传统的控制系统主要通过故障检测点来监测故障，发生故障时响应速度慢，事故过后也难以判明原因，要花费大量时间寻找事故原因及恢复。传统故障监测只是解决问题的表面现象，很有可能没有找到发生故障的根本原因。

因此，富士电机已将不间断电源设备中的数字控制技术应用于中频炉设备的故障监测系统中。通过高速控制实时监视运行数据，配合各关键节点的监测，系统化监视设备运行，更加安全地保护设备。另外，RAS 功能可对故障前后的运行数据进行追踪。并有助于调查发生异常的原因，从根本上改善了问题。图 6 为检出的异常波形。

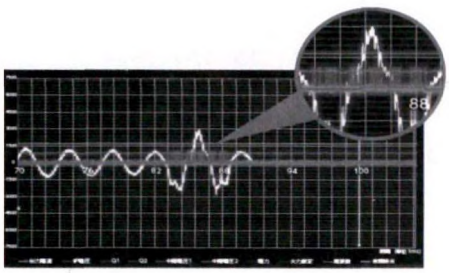


图 6 异常时波形的检出

Fig.6 Abnormal waveform detection

3 IoT 物联网技术

3.1 感应炉运行支持系统

感应炉运行中最重要的是稳定运行，也既是设备无故障，避免因故障停机。可通过对感应炉的运行有关的各种数据进行收集，特别是对炉体(耐火材料)，电源和生产作业进行预兆监控。从而实现在故障发生前，在有故障发生趋势时对客户进行预警，从而避免故障的发生。

3.2 防耐火材料磨损监测系统

目前部分厂家对耐火材料的磨损监控还是以熔化的吨数，炉数、目视、炉内径测量、工人的经验等方法为基准，很大程度上基于人为判断。增加了不必要的成本和安全隐患因素。在富士电机系统无需人为判断，提出一种基于电气数据的防火材料监控系统，根据额定熔炼时的功率和线圈电流计算出熔炼的阻抗，并根据阻抗的变化来预判筑炉周期，如图 7 所示。

图 8 为阻抗随使用时间的变化规律。这是因为炉衬每次熔化都会变薄，但是炉中的铁液容量增加，电阻值也随之增加。当电阻值以一定比例变化时，会提示并检测出防火材料的寿命异常。以此构建实现稳定运行的系统。

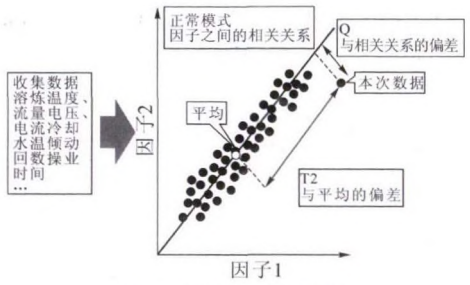


图 7 预兆监控概要图

Fig.7 Predictive monitoring overview diagram

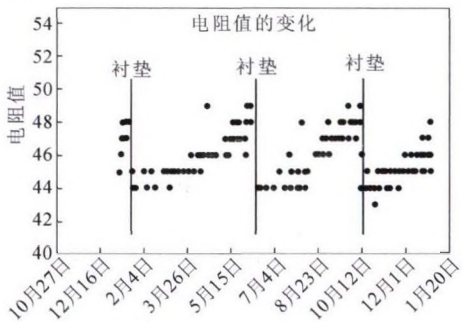


图 8 耐火材料厚度(生产日数)和阻抗的变化

Fig.8 Changes in refractory thickness (number of operating days) and resistance value

3.3 电源监控(预兆监控)系统

目前，电源异常仅能监视故障接点，并且当发生异常时，最终用户通常较多的是联络技术人员来现场，设置通过专业测量仪器调查异常原因。因此，从确定原因到结果处理都需要时间。

如图 7 所示，记录熔化炉运行相关的各种信息的曲线数据，并且通过分析与设计的偏差，可以提前预判监控异常及设备预防维护的提示，从而可以构建稳定运行系统。

3.4 铸造追踪功能

目前在铸造企业中，通常通过手写方式记录与熔化和铸造相关的数据。但是产品的数据只能以天为单位。

因此，将熔化和铸造相关的数据积累，并基于这些数据分析将提高产品成品率并实现稳定的运营。熔化数据和铸造数据集中管理，生成数据库，可以用于分析铸造缺陷发生时的原因和追踪并改善铸造方法。即实现铸造企业的品质可追溯性的功能。

4 今后展望

介绍了熔化过程中的能耗降低，感应炉的节能以及 IoT 技术的结合。未来，为了进一步节能，除推进炉体电源结构优化以外，通过 IoT 技术还将实现免维护、节省人工和自动化，以此实现铸造工艺的创新的目标。