感应淬火能量监控在生产中的应用

闫科[1]，刘光宗[1]，贾武[1]，朱兆民[2]
1.西安双特智能传动有限公司　陕西西安　710119
2.应达工业（上海）有限公司　上海　201203

摘要：传统的感应淬火机床采用的是电压、电流、加热时间、扫描速度等控制模式，进行感应淬火，工艺过程很短。在实际生产中，出现加热异常或设备故障的情况，反馈给操作人员时，甚至没有进行“急停”操作的时间反应，很容易造成工件报废、设备故障、人员安全事故。先进的感应淬火能量实时监控技术的应用，改变了普通感应淬火机床在加工过程中的质量过程控制思路，具有稳定、高效、自动化及安全等特点。该技术的成熟应用，会逐步取代以往感应淬火机床的设计及制造，分化机床制造厂家的市场份额，提高我国感应淬火整体实力。

关键词：扫描速度；能量实时监控；取代

1　序言

西安双特智能传动有限公司在用的一台VSM95型感应淬火机床，主要用于行星架类零件内花键、外圆感应淬火。该设备由应达工业（上海）有限公司提供，采用的是功率输出、能量监控的控制模式。在实际生产应用中，其能量监控系统自动记录、监控、识别、停机，可确保零件的稳定连续加工，避免不合格品的混入及安全事故的发生[1]。

2　能量监控原理

感应加热能量监控系统应用的目的，就是为了监测感应加热电源加热过程的状态和各项加热工艺指标，以便对产品质量及加工过程进行监控。各个感应淬火设备制造厂家，在能量监控原理思路上基本一致，只是在细节设计制造上各有优劣。

2.1　能量监控架构

在特定感应电源频率下，感应加热所需的能量可按照“功率×时间”计算，即影响感应加热的主要工艺参数是电压、电流、时间[2]。通过实时数据采集，将三个数据进行测算、累积计算，可以得出工件加热所需的整体能量和实时能量。

2.2　能量监控的数模实现

应达工业（上海）有限公司所提供的感应淬火设备，其能量监控原理，是将感应线圈负载的电压、电流信号，通过模拟信号采集板进行采集，计算后得出能量累加值，再使用信号变送的方式将电信号转换成光信号，通过物理光钎传送到BCD码电子板，BCD码电子板再将代表能量的光信号转换成BCD码电信号，传送到PLC处理器，经过PLC数据处理及换算最终得出实际的能量值（单位为kVAs）。

这样处理的能量值由于采集信号是在感应线圈负载侧，故该信号真实地反映了实际输出在负载上的能量值。另外，由于在传输通道上采用了光纤传导，利用光信号进行传输，这样就完全避免了高频次谐波电磁环境对传输信号的干扰而产生信号失真的问题，因此经过系统实时监控并计算的能量值就能真实地反映感应加热设备最终输出的能量值，以此便能作为感应加热中产品质量是否合格的重要验证标准，并在后续的计算机数据归档中对产品品质的追溯提供了重要的保证。

同理，淬火液流量、压力，以及工件旋转速度等也可参照能量监控的数模方式进行实现。

2.3　能量监控的其他要求

能量监控系统并入到所使用的PLC控制系统中，可以进行自动的实时监控、识别、控制，并能

在发生故障时及时进行自动停机，可避免因调试不当、参数设置不合理、工件与线圈碰撞或电源异常时，造成的零件熔毁、设备损伤、人员伤亡等事故[3]。

3 能量监控系统在设备上的应用

所用的VSM95 型感应淬火机床，使用标准的西门子机床控制系统，其能量监控功能通过控制柜内的硬件，直接嵌入到PLC接口中，可在控制屏上显示电压、电流、频率、功率、能量、加热时间、淬火液冷却时间、淬火液温度、淬火液压力、淬火液流量及旋转速度等信息，每个数据都可进行上下限报警设置，即最大值、最小值设置[4]。工控机能量监控界面见表1。

表1 工控机能量监控界面

参数	淬火能量/kVAs	加热时间/s	淬火液流量/L·min^{-1}	淬火液压力/bar	淬火液温度/℃	旋转速度/r·min^{-1}
最大值	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
实际值	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
最小值	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

注：1bar＝10^{5}Pa。

其中，能量监控的上下限设置，可自动监控、控制，并在发生故障时及时停机。上下限参数的设置需经过大量的生产和金相检测后确定，一般在正常值的±10%范围内。

在控制屏上设置的“淬火能量kVAs最小值”，加热时，系统会对该零件的能量值进行判断，当低于该最小值时，系统提示该零件为“不合格品”，并显示加热不足的原因。

在控制屏上设置的“淬火能量kVAs最大值”，加热时，系统会对该零件的能量值进行判断并控制，当高于该最大值时，系统提示该零件为“不合格品”，同时系统自动停止加热，避免继续加热造成零件熔毁、电源损坏。停止加热操作不需要人工判断并操作，然后可根据系统显示的错误信息参数，进行参数调整及故障排除。

控制屏上的“淬火能量kVAs实际值”，则是系统自动显示的该零件加热所需的总的能量值，当该实际值在最小值、最大值范围内时，该件显示“合格”。实时对能量、电流、频率数据自动监控和记录，并保存在“趋势图”中（见图1、图2），方便随时查看；同时每一个零件的加工参数，如生产日期、时间、零件号、淬火液流量、淬火液温度、淬火液压力、淬火能量、淬火电源频率及旋转速度信息等都会保存到“过程记录”中。

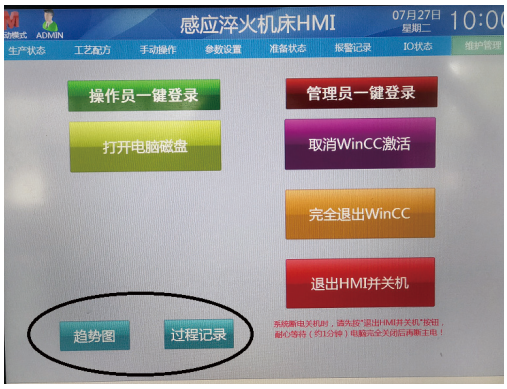


图1 记录界面

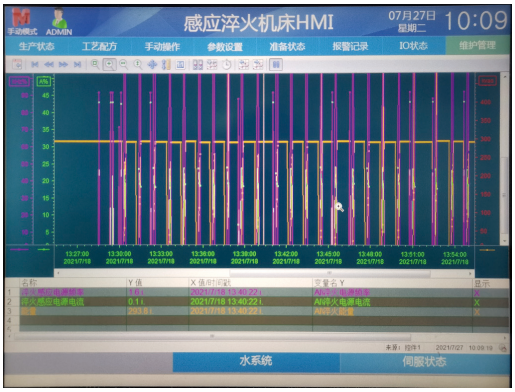


图2 能量实时记录界面

4 能量监控系统在生产中的应用实例

4.1 感应淬火设备配置

在实际生产中，我们应用的是VSM95 型感应淬火机床，配置200kW/（200~400kHz）的THERMATOOL全固态电源，采用功率控制及能量监控的方案，具有高效、安全、简洁的特点。

4.2 感应淬火零件

该设备主要用于西安双特智能传动有限公司行星架类零件内花键及外圆感应淬火，此类零件属于薄壁、易变形零件，对加热参数的控制要求较高。

4.3 能量监控实例

某行星架材料为1E1122，外圆感应淬火，要求淬火长度最小53mm，淬硬层深0.8mm（见图3）。经大量工艺试验验证，感应淬火能量值达到

329kVAs，可满足图样要求的硬化层深度及硬化长度，金相剖切如图4所示。为了严格控制工艺过程，能量最大值、最小值设置分别为340kVAs和320kVAs。

连续生产300件，感应淬火零件能量值均在（329±1）kVAs范围内，随机抽检5件进行破坏性检测，其硬化层深、硬度、硬化长度基本一致，较稳定。

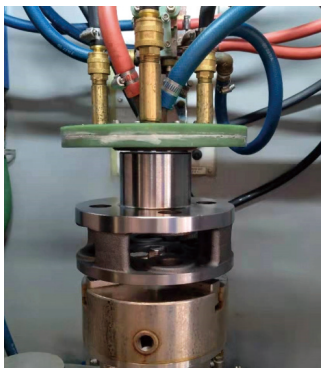


图3　零件结构及装卡示意



图4　金相剖切

4.4　能量监控上下限设置错误实例

某次换产之后，重新调试该行星架，操作人员未按照工艺要求设定感应淬火能量最大值、最小值，试加工后，在感应淬火能量累积达到292kVAs最大值时（见表2），触碰保护功能，系统自动停止加热并报警，提示该件“不合格”。

剖切后，其感应淬火长度未达到工艺要求，如图5所示。查看报警信息并分析后，确认根本原因是感应淬火能量未按工艺要求设置，实际所用的值为换产前另一种零件的设定值。

表2　错误的能量设置

参数	淬火能量/kVAs	加热时间/s	淬火液流量/L·min^{-1}	淬火液压力/bar	淬火液温度/℃	旋转速度/r·min^{-1}
最大值	292	10.0	120.0	6.5	38.0	240
实际值	292	8.5	102.8	4.2	30.4	220
最小值	270	6.0	95.0	3.5	15.0	180

注：1bar＝10^{5}Pa。



图5　不合格金相

5　结束语

感应加热设备的设计及制造，已经从传统单一的电压、电流、时间及转速控制模式，逐步向集成化的能量控制及监控模式转换，且将主导未来很长一段时间的设计制造理念。同时，能量监控系统的使用更有利于制造企业的生产经营管理。

在工厂的实际生产中，感应淬火硬化层深、硬度、长度范围的质量检测要求，受限于其检测方法的破坏性，并不能有效地反应所有零件的真实质量。感应淬火能量监控及记录系统的使用，可以直观地从工艺加工过程及感应淬火能量数据，来分析感应淬火质量的连续性、稳定性，通过大量检测数据建立起来的针对零件的能量上下限设置，可以很容易判断零件的感应淬火质量合格与否，避免规定过大的抽检比例频次进行破坏性检测，缩短检测时间，减少生产浪费。

未来，除了破坏性检测感应淬火质量的方法外，是否可以将感应淬火能量监控数据作为感应淬火质量的补充验证手段或者评判依据，并纳入到质量检测体系中，需要经过广大热处理行业专家的讨论决定，这对工厂的实际生产会有比较积极的影响，可以降低感应淬火质量的破坏性检测费用，减少检测时间，加快整个零件的周转周期。

同时，能量监控系统的记录功能，将操作工人从手动记录零件加热过程参数中解放出来，避免了记录的不及时、不准确。

参考文献：

[1] 沈庆通，梁文林.现代感应热处理技术[M].北京：机械工业出版社，2008.

[2] 姜江，彭其凤.表面淬火技术[M].北京：化学工业出版社，2006.

[3] 北京机电研究所.先进热处理制造技术[M].北京：机械工业出版社，2002.

[4] 叶硕，叶献方.感应淬火综合监控系统设计[J].计算机测量与控制，2016，24（10）：122-124.

MW 20210726