

从冷热加工模式对比探讨提高感应热处理应用水平的途径

□ 北京亿磁电热科技有限公司 赵秀华, 王佩璋, 闫满刚



赵秀华 工程师

摘要: 例举感应热处理工艺与零件切削等冷加工工艺的相似性, 包括单件加工、偏差控制、感应器(刀具)、机床及工艺工序能力等, 说明冷加工的生产加工模式和感应热处理的加工生产在很大程度上是一致的, 指出感应热处理的生产组织者应该借鉴切削加工的生产组织形式, 从而提高质量的一致性和生产率的高效性, 做到热处理的精细加工。

关键词: 感应热处理; 质量管理, 感应器标准化; Cpk

感应热处理以其具有绿色、高效, 节能, 以及易组成生产线等特点, 而成为现代热处理的主要手段之一。笔者在之前公开发表的文章中曾经论述了现代感应热处理的特征^[1], 其中很多符合现代冷加工的特征, 其是目前唯一和冷加工生产组织相类似的高效热处理工艺。虽然我国已成为世界范围的制造大国, 机械制造特别是冷加工普遍采用CNC/CAM技术, 生产组织和质量控制已经有相当的技术和成熟的模式, 但是感应热处理与机械加工

相比, 生产组织和质量控制的技术差距很大。

本文类比了感应热处理工艺与零件切削等冷加工工艺的共性, 提出了借鉴冷加工的生产组织和质量管理方法来提高感应热处理应用水平的途径。

1. 单件加工

零件热处理模式有单件加工和批量加工两种模式。感应热处理是单件加工模式, 而采用加热炉进行的其他热处理加工是批

量加工模式。对于感应热处理而言, 无论企业产能多大, 每个零件的感应热处理都是逐个进行的。而唯一增加产能的办法就是增加加工单元的数量, 比如, 单工位机床增加机床的数量; 多工位机床增加工位的数量。

批量加工的好处是增加了产能, 但也带来质量控制的弊端。比如, 你无法控制其中任何一件产品的状态, 也就无法针对任何其中一件产品进行质量控制。为了确保同批次的零件加工结果

都一致，只有提高炉膛的状态均匀性，如温度均匀度、气氛均匀性等；另外，还需要增加控制采样的数量。而炉膛由于有结构上的不均一性，如有出入口、拐角等，要想达到完全均匀是不可能的。

单件加工在质量控制方面则有独到的优势，可以针对每件进行监测，并实现产品质量的追溯。在加工完成后也可以逐件检查。

零件的冷加工切削完全采用单件加工模式。而冷加工的零件质量控制已经有非常完备的体系和实施措施，特别是CNC、CAM技术的应用，让零件的在线加工质量精度有了长足的提高，零件的加工一致性也很好。同样地，感应淬火也越来越多采用CNC、CAM技术，因此，只要我们采用冷加工的成熟生产组织方式，就能大幅提升感应热处理的产品质量一致性。

感应热处理单件生产另一优势是生产组织按节拍配置，工时核定，成本精确控制。

2. 加工偏差（公差）限定

要控制单件加工结果的一致性，在冷加工切削工艺中是采用公差带来约束的。这在感应热处理加工上同样适用，这可从零件产品的技术图样标识上看起来。

图1为某型法兰盘的外观，众所周知，在机械加工图样中，无论是轴向尺寸还是径向尺寸都有详尽的公差标识。而感应淬火的加工图样与其类同（见图2），图中不仅示出了淬火硬化层的轮

廓线，还有对应的偏差。此处术语以“偏差”来区分“公差”，不仅是由于冷热加工的不同，而且是由于它们的量级差别很大。比如，淬硬层在①处的有效深度（SHD）为 $(2.6+0.8)$ mm；其中2.6mm是基本要求淬火硬化层深度（公称值，下差），而+0.8mm则是允许的上差。类似地，淬硬层在②处的有效深度（SHD）为 $(1.1+1.8)$ mm；其中1.1mm是要求淬火硬化层公称深度（下差），而+1.8mm则是允许的上差。而淬硬层在轴向的起始点③处 $(1.71+3)$ mm；淬硬层在径向的起始点④处为 $(26+5)$ mm。

零件的尺寸公差保证了其在总成上的装配一致性；零件的感应淬火硬化层的加工偏差则保证了零件的承载能力一致性，甚至是变形的一致性。我们知道硬化层深度大于应力透入深度时则零件的承载能力没问题，服役过程是安全的。因此，在我国以前的粗放感应淬火处理工艺图样要求中只规定了硬化层的最小值；但是随零件的硬化层深度增大，内应力增大，变形也增大，特殊情况下甚至造成开裂^[2]。因此，现代感应热处理精细加工的要求不仅规定下差，同时规定允许的上差。虽然偏差的量级（mm）比冷加工的量级（ μ m）大得多。

3. 感应器与刀具

相对于零件的切削加工工艺的刀具，感应器就是感应热处理的“刀具”。为了达到切削加工的一致性，工艺人员对刀具有极高的认识。而我们对感应器的认

识高度则远远不够。除一些国际性公司外，我国很多企业的感应器甚至不向专业公司订购，还停留在“自给自足”的老师傅带徒弟的手工制作模式上。而即使专业公司，大家的感应器设计制作标准不一，没有互换性，主要是因为目前还没有一个关于感应器设计制造的行业标准。

我们觉得，感应器也可以像刀具一样，符合一些共性特点，包括：

（1）一般由特殊材料制造，针对加工零件和加工工艺特殊设计。就像刀具由特殊材料制造一样，感应器的制造也必须采用特殊材料。感应热处理的感应器其主要作用是产生一定形状的电磁场，与工件被加热的部位耦合产生一定形状分布的涡流，最终实现淬火。因此，要求感应器

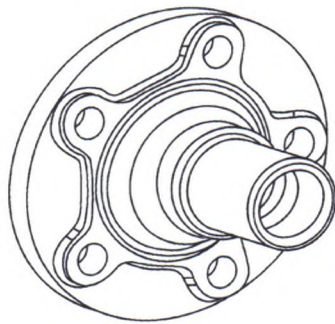


图1 法兰盘示例

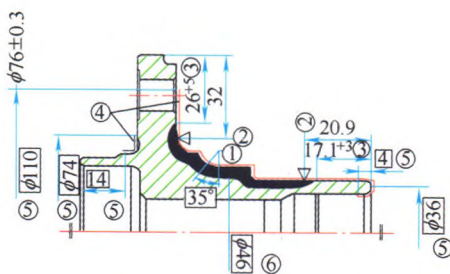


图2 法兰盘的淬火硬化层分布及偏差示例

工作线圈的导电性很好。同时，在感应热处理过程中的电磁力要求感应器要有一定的刚度。另外还要考虑材料的经济性，综合起来，纯铜成为行业公认的第一选择。常用的纯铜牌号是T2，在一些特殊应用场合，无氧铜可以大幅提高导电率而被选择。

(2) 高的制造精度和工艺过程精度。随着制造业的发展，刀具的手工制造已被专门的机械化批量生产取代。但目前我国感应热处理行业内的许多感应器制造大多还停留在手工制造阶段，对制作人的依存性很高，显然难以满足现代加工要求。近年来机制感应器越来越多，已成为批量生产企业的首选。

(3) 机床的“刀具库”是现代机床高效加工的另一个特点。感应淬火加工要实现高效和可靠生产，可以借鉴设置机床的“感应器库”。虽然感应器的更换频率不像加工中心那样频繁，但是按照管理刀具库的要求来管理感应器库是完全正确的。这就要求感应器定型，尺寸一致性好，设计制造标准化程度高，互换性好^[3]。订制专业公司的感应器或机制感应器易于达到要求。

(4) 高精度的连接和快换功能。刀具标准化的典型特征之一是刀柄的标准化（见图3），这在国际上已经形成几个标准系列^[4]。它是刀具实现快速更换、可靠连接、高精度定位的核心。感应器的连接标准化还未达到这个程度，还未有统一的标准。目前已经有一些国际化的感应热处理专业公司在朝这方面努力，国

内也有标准化的产品推出。如我公司的专利产品“感应器伴侣”（见图4），即是实现感应器快换和标准化生产的有效选择^[5]。

(5) 寿命和加工数量相关。当加工到一定数量后，“刀具”就是达到寿命了，这一点无论是切削刀具还是感应器都相同。虽然加工过程感应器和工件不接触，但是反复的通断电以及冷热疲劳同样造成其失效，必须更换新的，这就要求感应器的制造精度和刀具一样有好的替换性。

4. 机床

无论是感应热处理加工还是切削（冷）加工，加工的实施是通过机床。感应淬火机床和冷加工机床有很多共性，也有各自的特殊性。对比两类机床的典型特征可知，这两类机床除了感应器与工件不接触，无切削力从而使得感应淬火机床的吨位较轻外，机床主机的其他特征相同性很高。在冷加工机床领域应用的高新技术目前已经越来越多地应用到感应淬火机床上。比如，数控技术、网络管理、柔性加工中心等。在机床结构上更多采用线性运动单元，标准分度回转单元，集中润滑等。另外，感应淬火加工区域还受淬火冷却介质溅射侵蚀，因此淬火冷却介质能够溅射到的区域一般采用不锈钢材料制造。

至于机床辅机，区别较大但不影响操作运转模式。切削机床辅机对主机的有效运行起保障作用，需要按规程进行维护，一般不参与产品的质量管理。感应热处理机床辅机，包括感应加热电

源和淬火冷却介质循环冷却系统则直接涉及到产品质量管理，需要监测和控制，其控制精度影响感应热处理的加工质量，因此在进行投资预算以及生产运行成本预算时应单独予以保证。

5. 机床工序能力（Cpk）

在生产过程中，产品加工指标的波动是不可避免的。目前冷加工和感应热处理机床更多采用数控机床，其评价冷加工数控机床工序能力的指标也被引入对感应淬火机床的评价中。

工序能力是工序加工过程性能的允许最大变化范围与过程的正常偏差的比值。工序能力研究在于确认这些特性符合规格的程度，以保证加工成品不符合规格的不良率在要求的水准之上，作为加工持续改善的依据。



图3 标准刀柄 示例之一

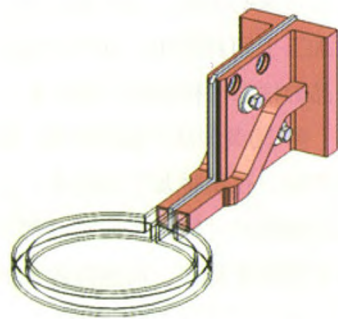


图4 标准感应器靴示例之一

现代质量管理体系，特别是企业进行ISO9000、QS9000等质量管理认证要求，采用Cpk来进行某生产的工序能力评价。Cpk是Complex Process Capability index 的缩写，表明了该工序保证目标精度的能力^[6]。附表为某企业对感应淬火机床投产前工序能力的Cpk值要求示例。Cpk是准确度和精确度的中和，其越大越好。

目前在连续生产线上的感应热处理机床，已经采用Cpk来衡量机床的加工能力了。特别是用于汽车行业零件热处理的感应淬火加工设备。由于加工件热处理指标（无论硬度、淬硬层深度）的检测比几何尺寸的检测复杂的多，大多时候需要切样和金相制备后才能检测，因此一个名义尺寸的Cpk值计算在同样样本数量下所需的工作量和检测成本要比冷加工大得多，这个需要特别注意。

6. 借鉴冷加工模式，提高感应热处理应用水平

长期以来，我国的机械制造企业追求大而全，产品种类多。企业内冷热加工界限分明，热处理加工往往单独离线运行，这主要是因为多数热处理加工工艺必须离线进行，比如电阻炉、气氛炉、真空炉中进行的热处理加工。因此，我们已经习惯于热处理粗放式加工，而且对于冷加工的生产管理技术了解机会不多。

国外企业专业化程度高，产品细化程度高。有些企业专门围绕一类零部件组织生产，因而生

标准选择			
	获取特征值		
	无调整	带调整	
分布		手动	自动
正态分布规律	Cpk≥1.0	Cpk≥1.0	Cpk≥1.0

产线自动化程度高，感应热处理应用水平高。感应热处理已经能够做到精细加工。如TRW廊坊公司专业气门生产；贺尔碧格常州公司专门生产同步器齿环；尼波齿轮天津公司专门生产回转支承齿圈等。在这些企业感应热处理加工已经和其他冷加工一样并线组织管理，按照生产纲领，工艺节拍，定额工时高效高质量地生产。

感应热处理具有和冷加工相似的生产组织特点，让我们能够脱开常规热处理的粗放管理模式，更多地借鉴和使用冷加工相似的生产组织理念，从而达到精细感应热处理的目标。

为此，我们建议感应热处理生产组织者：①自主学习冷加工的质量管理体系。②尽量采用数控感应淬火机床。③感应器专业化定制，尽量采用标准连接和快换，保证互换性和安装精度。④自觉执行ISO9000中关于工序能力的评价方法，持续提升感应热处理的加工能力。

参考文献

[1] 赵秀华. 现代感应热处理加工的特征[J]. 金属加工（热加工），2015增刊（2）：11-13.
[2] 刘志儒. 金属感应热处理[M].

北京：机械工业出版社，1987.
[3] 中国机械工程学会热处理分会. 第十一次全国热处理大会论文集[C]. 金属热处理，2015：206-212.
[4] 袁哲俊，刘华明. 金属切削刀具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2008.
[5] 赵秀华，闫满刚. 一个观念大幅提高感应淬火的可靠性[J]. 金属加工（热加工），2015（5）：58-61.
[6] 贾新章 李京苑. 统计过程控制与评价：Cpk、SPC、PPM技术[M]. 北京：电子工业出版社，2004.

作者简介：赵秀华，工程师，从事感应热处理应用开发和设计13年，发表论文6篇。Email: zXH@kinginductionally.com.

MW 20170426

