

浅析内花键感应淬火变形

闫科, 李精华, 贾武, 刘光宗

西安双特智能传动有限公司 陕西西安 710119

摘要: 感应淬火后, 由于内花键无法进行有效地磨削加工来保证尺寸要求, 因此在热处理前的内花键加工时, 一定要预留合理的余量, 确保尺寸变形符合最终图样要求。从零件感应淬火硬化层深、尺寸结构、加工方法、材料等几个方面因素, 来说明对内花键感应淬火变形的影响, 并推荐合理的预留量。

关键词: 磨削; 硬化层深; 预留量

1 序言

由于内花键的结构特性, 无法在热处理后进行精加工来保证尺寸, 因此在内花键热处理前编制机加工工艺时, 要考虑到热处理变形的影响, 需预留一定的变化量, 而预留量的多少则要经过大量工艺试验验证。不同的感应淬火频率、淬硬层深、感应加热工艺都会有不同的变形量; 不同的零件结构及内花键壁厚, 感应淬火后也会有不同的变形量; 另外, 不同的材料、金相组织, 热处理后变形量也不尽相同。

经过试验验证, 摸索出各因素对感应淬火变形的影响数据, 可较大程度地缩短类似内花键零件的开发周期, 提高感应淬火质量, 对内花键感应淬火具有积极的指导、参考意义。

2 零件说明

图1是两种不同结构的行星架, 材料为QT700-2, 其内花键顶圆直径均为54mm, 有效长度均为53mm, 花键模数均为1.5875, 壁厚分别是12mm和23mm。感应淬火要求内花键根部淬硬层深 $\geq 0.4\text{mm}$, 硬度 $\geq 45\text{HRC}$, 允许内花键全长淬火。

零件开发过程中, 尝试采用不同频率的感应加热电源, 所得到的感应淬火层深和变形数据也都不相同。采用不同的淬火机床, 零件装夹跳动不同, 热后内花键锥度、圆度也不同。

3 淬硬层深对内花键变形的影响

在满足最小淬硬层深及硬度要求的前提下, 选择加热电源的频率越低, 淬硬层深就越大; 其感应加热影响区深度越大, 冷却时内花键缩量也越大。

钢电镀紧固件。国外相近材料牌号17-4PH沉淀硬化不锈钢, 已在欧美等发达国家宇航紧固件领域得到广泛应用^[6], 为0Cr17Ni4Cu4Nb材料在我国相关领域的应用提供了重要的借鉴。

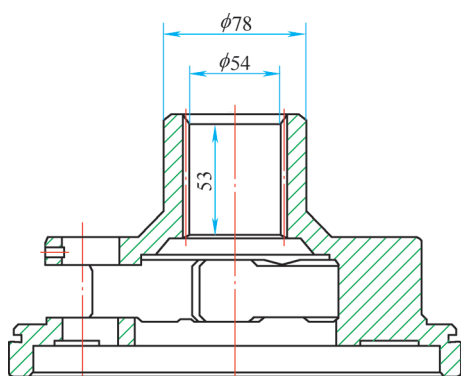
参考文献:

- [1] 胡隆伟, 叶文君, 等. 紧固件材料手册[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2014: 26-27.
- [2] 刘汉宝. ASME规范中碳钢和低合金钢材料冲击试验规定的探讨[J]. 石油化工设备技术, 2019, 233(1): 9-12.
- [3] 王剑星, 杨钢, 张忠模, 等. 热处理工艺对0Cr17Ni4Cu4Nb不锈钢组织和力学性能的影响[J]. 金

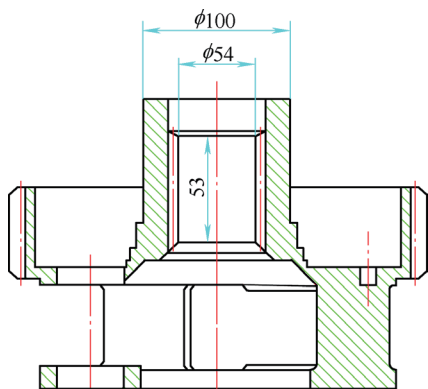
属热处理, 2012, 37(11): 90-94.

- [4] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册[M]. 2版. 北京: 中国标准出版社, 2001: 508-514.
- [5] 单磊, 王永欣, 李金龙, 等. TiN、TiCN和CrN涂层在海水环境下的摩擦学性能[J]. 中国表面工程, 2013: 86-92.
- [6] LARA-BANDA M, GAONA-TIBURCIO C, ZAMBRANO-ROBLEDO P, et al. Alternative to nitric acid passivation of 15-5 and 17-4PH stainless steel using electrochemical techniques[J]. Materials, 2020, 13(23): 5322.

MW 20210402



a) 结构1



b) 结构2

图1 内花键行星架结构

反之，选择加热电源的频率越高，淬硬层深就越小；其感应加热影响区深度越小，冷却时内花键缩量也就越小^[1]。

不同频率的感应加热电源，所得到的淬硬层深不同，变形数据也就不同。因此，在内花键热处理前预留量的选择上，一定要根据感应热处理设备电源频率，做好试验数据收集。

在实际生产中，因各种条件限制，感应加热所

用设备的频率会远远偏离所需的最佳频率。经实践证明，对于齿轮、花键类零件的感应加热，频率的选择与模数有关。当感应加热比功率 $P_b < 1.5 \text{ kW/cm}^2$ 时，其选择的最佳频率为 $f = 2.5 \times 10^5 / M^2$ （ M 为齿轮模数）^[2]。

此类零件内花键模数为1.5875，故最佳频率选择： $f = 2.5 \times 10^5 / 1.5875^2 = 99200 \text{ Hz} = 99.2 \text{ kHz}$ 。在内花键零件感应淬火工艺开发过程中，曾使用两种不同频率的电源进行感应加热淬火。

(1) 使用30~40kHz的超音频感应加热淬火设备 因为频率偏低，实际加热过程中热能量从内花键根部传导至内花键顶部^[3]。在根部淬硬层深达到1.5mm以上时（见图2、图3），顶部才完全达到奥氏体化温度。经热处理前后对比，内花键变形平均缩量在0.19mm。



图2 根部硬化层深1.05mm



图3 根部硬化层深1.5mm

(2) 使用200~400kHz的高频感应加热淬火设备 因为频率过高，热能量从内花键顶部传导至内花键根部。在相同的淬硬层深度时，不同的频率选择，变形数据也有差异。

当频率选择200kHz时，内花键根部淬硬层深为0.6~0.8mm，符合图样技术要求。热处理前后对比，内花键变形平均缩量在0.14mm。

当频率选择235kHz时，内花键根部硬化层深为0.6~0.8mm，符合图样技术要求。热处理前后对比，内花键变形平均缩量在0.10mm（见表1）。

表1 不同状态下内花键变形数据对比

内花键壁厚/mm	频率/kHz	根部淬硬层深/mm	平均缩量/mm	内花键锥度/mm	内花键圆度/mm
12	30~40	1.5~1.7	0.19	0.06	0.04
	200	0.6~0.8	0.14	0.05	0.03
	235	0.6~0.8	0.10	0.05	0.03
23	30~40	—	—	—	—
	200	0.6~0.8	0.14	0.02	0.01
	235	0.6~0.8	0.10	0.02	0.01

4 零件结构对内花键变形的影响

零件结构对热处理变形有较大的影响。对于内花键感应淬火零件，其壁厚是最重要的影响因素之一，壁厚越薄，内花键锥度越大，圆度也越大。对

于本文两种结构的内花键，长度较长，在感应淬火时，孔口位置相对中心位置冷却速度较快，缩量也较大，因此在整个内花键长度上存在一定的锥度。

在相同淬硬层深的背景下，对比12mm和23mm
(下转第103页)

式中 d ——管径 (m) ;

W ——循环水流量 (m^3/s) ;

V ——循环水流速 (m/s) 。

对压力0.2~0.3MPa的循环水系统,主管路流速为1.5~3.0m/s,支管路流速为1.0~1.5m/s。

4) 循环水管路的最高点位置应设有排气阀。

5) 循环水管路必须设有电接点压力表、电接点双金属温度计等保护元件。

6) 北方地区必须考虑冬季设备停产、水管路低位放水问题。一旦设备停机不生产,水管路里的水不及时排放掉,会冻坏设备。

7) 冷却系统凡是能接触到纯水的地方,材料应采用不锈钢、铜或无碳绝缘胶管制造,不得使用铸铁及碳素钢,以防纯水介质被污染,造成用水单元损坏。

8) 水箱最小容积按照水在冷却系统中循环一圈所需的水量来设计。水箱应设有液位计,水位到达低限位时,报警提醒加入纯水;水位到达高限位时,报警提醒停止加水。

(上接第99页)

壁厚感应淬火加工后检测发现,23mm壁厚的内花键锥度较小,只有0.02mm。在工艺编制时,将12mm壁厚的外圆直径由78mm增加到100mm,在内花键感应淬火热后再将外圆直径加工到要求尺寸。

经过验证,通过热处理前增加外圆车削余量、热处理后机加工至外圆尺寸的方法,将12mm壁厚的内花键锥度也稳定地控制在0.02mm范围内。

5 加工方法对内花键变形的影响

感应淬火时,零件的装夹精度、外圆跳动也对变形有一定的影响。装夹跳动越大,内花键感应淬火后的圆度、锥度也越大。对感应淬火加工方法及过程控制上要严格要求,零件外圆跳动应控制在0.2mm之内。

6 材料对内花键变形的影响

钢质件、铸铁件等不同材料的内花键,感应淬火后的变形也不同。西安双特智能传动有限公司所加工的QT700-2材质的行星架内花键,基体组织中球化率和石墨形态较差的件,变形相对较大。

因此,对于感应淬火,必须稳定材料组织、状

6 结束语

铝棒感应加热炉是铝型材挤压生产线重要的机前设备,而循环水冷却系统又是铝棒感应加热炉的关键部分,因此研究铝棒感应加热炉循环水冷却系统的设计具有重要意义。生产实践验证,冷却水量、水泵和板式换热器主要参数按文中所述方法计算正确合理。循环水冷却系统有关设计要点可以为铝棒感应加热炉同行业设计人员提供借鉴。

参考文献:

- [1] 付正博.感应加热与节能——感应加热器(炉)的设计与应用[M].机械工业出版社,2008.
- [2] 李韵豪.锻压工业中的感应加热 第十讲 锻造工业感应加热设备的水冷却系统[J].机械工人(热加工),2007(11):79-82.
- [3] 李韵豪.铸造工业的感应加热 第十一讲 感应熔炼电炉的循环水冷系统[J].金属加工(热加工),2020(11):83-97.
- [4] 崔庆华.排水系统中水泵扬程的分析计算[J].选煤技术,2016(4):55-57.

MW 20210316

态,这样才能保证加工出的内花键尺寸缩量一致。

7 结束语

从试验数据总结来看,内花键感应淬火热后变形趋势是缩小的,不同的淬硬层深、加热电源频率、内花键壁厚,以及加工工艺控制,所得到的变形数据是不同的。为了降低缩量过大所导致的其他畸变,如锥度、圆度等,建议内花键感应淬火选择比最佳频率更高一些的加热电源进行感应淬火。

在内花键感应淬火热零件的开发时,要针对所选择的感应淬火热设备进行工艺试验,取得稳定的变形数据。在此基础上,固定工艺参数及设备,在热处理前内花键加工中预留固定的预缩量,可保证感应淬火热之后获得稳定合格的内花键尺寸。

参考文献:

- [1] 姜江,彭其凤.表面淬火热技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 侯增寿,樊东黎.热处理手册:工艺基础[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [3] 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.

MW 20210422