发动机曲轴感应淬火工艺

张立平，张学强，李永真

【摘要】分析了感应淬火工艺在提高曲轴强度、节能等方面的优点。阐述曲轴材料、技术条件、感应淬火工艺，以及在曲轴生产中的应用等。

在国内主要的发动机主机厂、曲轴配件厂，感应淬火都已成为主要的曲轴强化手段，并在不断扩大应用。曲轴采用感应淬火进行表面强化处理，技术和经济指标非常理想。

1. 曲轴感应淬火优势

（1）钢曲轴经感应淬火+低温回火（或自热回火）后，与调质态相比可提高曲轴疲劳强度100%以上，同时大大提高轴颈表面的耐磨性（淬火+回火硬度可精确控制在50～55HRC），而其他强化手段则难以同时达到以上两项指标。

（2）感应淬火生产效率高，且感应淬火清洁及可按节拍生产，可直接安排在曲轴生产流水线上，节省物流费用和时间。

（3）仅曲轴对轴颈等需要淬火硬化的表面部位加热，而且电效率高、时间短，较其他热处理能耗降低80%以上。

（4）由于加热范围小、时间短，使处理的曲轴变形小、氧化脱碳少，可以减少精加工余量，降低机加工的工作量等。

2. 感应淬火曲轴的材质

（1）曲轴材料　汽车曲轴常用材料有调质钢42CrMo、35CrMo、40Cr、40MnB等，非调质钢48MnV等，以及球墨铸铁等。材料中Cr、Mo等合金成分可显著提高材料的淬透性，从而提高曲轴的强度，但其价格较高，而淬火开裂倾向大，需使用合适的淬火冷却介质以避免淬火裂纹，故选材时应考虑满足性能要求的前提下优先选球墨铸铁和非调质钢，以降低生产成本。只要工装合适、工艺合理、操作精确，无论是非调质钢还是球墨铸铁曲轴，感应淬火都可实现技术要求。

（2）毛坯的预备热处理　调质钢调质处理可以得到细致均匀的组织，零件内应力较小，对感应淬火极有好处：淬火组织均匀、淬火变形和开裂倾向小。非调质钢利用V、Ti等元素的加入细化晶粒，在大幅度降低生产成本的同时提高各项力学性能，但其在组织准备上不同于调质钢，故在制订感应热处理工艺时要根据其组织特点加以分析。

球墨铸铁曲轴的预处理组织主要有正火态和铸态两种。正火处理可提高珠光体的含量，消除铸造应力，组织也较均匀，再经感应淬火易得到组织、硬度均匀的淬硬层。铸态球墨铸铁毛坯，铸态组织中珠光体含量一般在75%～85%，铁素体较多，要得到理想的淬火组织，对感应淬火工艺要求较高。因此，制订工艺时要考虑不同的预备热处理对感应淬火的影响。

3. 感应淬火的热处理规范

（1）感应淬火工艺的制订　要取得理想的效果，与加热功率、工件的材料、控制间隙、加热时间、冷却时间、工件余热、淬火冷却介质的浓度及压力等都有关系。对不同的材料应采用不同的参数，如合金钢的韧性好，适合大功率加热和快速冷却，而球墨铸铁是脆性材料，不适合大功率、长时间加热以及骤冷，加热时间和冷却时间应根据现场设备的实际状况、工件淬硬层的要求而定。合金钢和球墨铸铁曲轴中频感应淬火的工艺参数

手机扫描二维码，
收藏本文电子版

见表1，仅供参考。

（2）感应淬火的技术要求指标主要有：表面硬度、硬化区范围、硬化层深度、金相组织、淬火变形量以及淬火裂纹等。

淬火硬化层金相组织：钢曲轴为针状或细针状回火马氏体，不应出现游离铁素体；球墨铸铁曲轴允许在球状石墨的附近有少量未溶铁素体，但不能成环状。

硬化层深度及表面硬度是获得高疲劳强度的重要指标，都有一个最佳范围，过高和过低都使疲劳强度降低。硬化层深度浅和表面硬度过低造成零件强度不足、耐磨性降低；反之当硬化层深度过深时，压应力峰值从表面向内推移，表面压应力降低，从而使强度降低。硬度过高带来的危害是明显的，它使零件的脆性增加，在曲轴受到弯扭疲劳载荷及冲击力的情况下强度严重降低。常用钢曲轴的淬火硬化层深度及表面硬度与疲劳强度的关系如图1所示。

图中所示硬化层深最佳范围适用于ϕ55～ϕ90mm轴颈，其他轴颈应在此基础上做出调整。在以提高耐磨性为主时，表面硬度可以取高至55HRC左右；而球墨铸铁具有良好的自润性及储油能力，曲轴表面硬度≥45HRC即具有足够的耐磨性；疲劳强度要求高时，应以得到高而均匀的表面压应力为主，对表面硬度则不过分追求。

（3）淬火后的回火　感应淬火后，表面的组织由珠光体转变成马氏体，致使工件存在残余热应力、组织应力，必须及时对工件进行回火处理，一般规定在4～8h内，否则会引起曲轴表面开裂。

4. 感应淬火操作要领

（1）待处理件表面应无裂纹、缺陷、毛刺、油污及脱碳层等，否则淬火后易产生淬火裂纹、烧伤工件、硬度不够等缺陷。

（2）设计制造或选用感应器时，其结构形状和尺寸应能满足工艺要求。

（3）感应器与工件在处理过程中，应保持合适的相对位置，控制间隙在1.5～2.5mm。

（4）正确选择电参数，使设备处于最佳工作状态。钢曲轴选择功率在（100±5）kW，球墨铸铁曲轴选择（75±5）kW。钢曲轴可以用较高的功率处理，因其有好的延展性，适合淬火；球墨铸铁是脆性材料，适合较低功率淬火，否则特别易产生淬火裂纹。

（5）工件表面温度的测量很重要，应采用光电高温计或红外辐射温度计，连续跟踪测量控制工件下料温度，保持在150～220℃的余热，及时调整设备工作参数，利用余热实现工件的自回火，这也是防止淬火裂纹的关键措施。

（6）根据材料、工件形状、尺寸以及加热方法和所要求的硬化层深度，合理确定冷却参数，包括冷却方法、淬火冷却介质及冷却时间等。

（7）球墨铸铁曲轴的圆角不适宜淬火强化，硬化层应离开圆角3～6mm，使硬化区与非硬化区交界处的残余拉应力远离圆角，以提高疲劳强度，防止圆角处应力过度集中而引起早期非疲劳断裂。

5. 应用

球墨铸铁曲轴的感应淬火加圆角滚压，被越来越多的曲轴生产厂家所采用，该复合强化工艺的合理使用会提高曲轴的疲劳强度，且极大地改善表面粗糙度和耐磨性，可操作性强。

下面是某型号的QT800-2四缸曲轴进行中频感应淬火处理实

表1　淬火工艺参数

材质	功率/kW	加热时间/s	冷却时间/s	余热/℃	PAG淬火冷却介质（%）	冷却压力/MPa
42CrMo	100±10	7～12	4～8	180～220	浓度5～10	0.45±0.05
QT800-2	80±10	7～9	3～5	180～220	浓度6～10	0.35±0.05

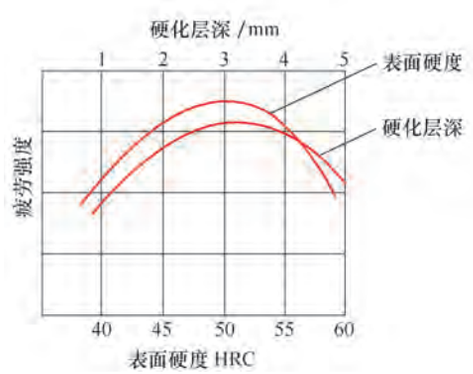

图1　硬化层深度及表面硬度与疲劳强度的关系

载货汽车轮毂轴承外圈感应淬火

沈伟毅，黄志

【摘要】进行了样圈的感应淬火试验，根据试验结果得出符合要求的工艺参数，可以应用到轴承生产中。

载货汽车轮毂轴承应用于新型16t载重汽车前轮上，是国内首次把第二代汽车轮毂轴承产品系列应用于国产载货汽车，以往该载货汽车每个前轮上使用的是两套圆锥滚子轴承，而我公司设计为双列圆锥滚子轴承。外圈是一个双滚道的轴承套圈，要求表面感应淬火，其是轮毂轴承单元产品加工的一道关键工序，为此对其展开的试验具有重要的意义。

1. 感应淬火试验

使用双工位数控淬火机床，样品为废套圈（见图1），材料50Mn，设计一个单滚道感应器（见图2）。技术要求表面硬度58～64HRC，淬硬层深度≥1.5mm。

50Mn材料应用于双列圆锥滚子轮毂轴承单元的感应淬火，以往没有根据技术要求准确制订工艺参数或根据工艺参数准确预测淬火结果的理论方法。因此，需要进行样圈试验，才能制订出合适的感应淬火工艺。

试验方法为：初步确定工艺参数、设计感应器→对工件进行感应淬火→检测工件淬火结果→根据工件检测结果改进工艺参数

例，其效果优于其他的表面热处理。

（1）加工流程　金属型铸造→正火处理→高温去应力回火→粗加工→一次无损检测→感应淬火→中温回火→二次无损检测（检测淬火裂纹）→精加工。

（2）感应淬火的工艺规范　根据曲轴感应淬火的技术要求（见图2），制订感应淬火的工艺参数（见表2）。

（3）设备和工装　设备是曲轴专用的半自动淬火设备，晶匣管中频电源，马鞍形感应器，浓度5%～8%PAG淬火冷却介质。

（4）处理后的检验结果　曲轴淬火后各轴颈的淬硬层为3.0～4.0mm，淬火+回火后表面硬度45～52HRC，淬硬区与侧面的间距在5～6.5mm，淬硬区金相组织为马氏体6～7级，无淬火裂纹；淬火+回火后径向圆跳动量≤0.5mm（测量中间主轴颈），满足技术要求。

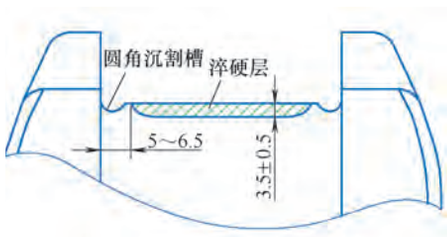

图2　球墨铸铁曲轴主轴颈淬火区

表2　淬火工艺参数

位置	电压/V	电流/A	功率/kW	加热时间/s	冷却喷液压力/MPa	喷液时间/s	转速/r·min^{-1}
主轴颈	340±10	240±10	80±5	10±1	0.35±0.05	4±1	60
连杆轴颈	300±10	230±10	75±5	8±1	0.35±0.05	4±1	60
大盘	340±10	240±10	80±5	7±1	0.35±0.05	4±1	60

作者简介：张立平、张学强、李永真，滨州海得曲轴有限公司。

MW 20140816