

内燃机气门感应热处理技术与质量控制

□ 济南沃德汽车零部件有限公司



王忠诚 高级工程师

摘要：介绍气门感应热处理技术以及在气门上的应用，感应器的形式应满足其硬度及淬火深度的要求，感应淬火质量检查方法以及缺陷形式及原因，同时指出在其他方面的应用与发展前景。

关键词：感应热处理；感应器；缺陷；质量控制

内燃机气门是汽车发动机内提供动力的重要部件，尤其是排气门在高温、腐蚀性介质、长期重复的冲击，以及废气的冲刷作用下工作，因此既要具有良好的组织与强度，又要具有高的耐热性和热稳定性，良好的耐蚀性、抗咬合性、耐磨性和导热性等^[1-6]，其工作条件十分苛刻。由于气门的盘锥面与气门座圈反复接触，要求其有良好的耐磨性，而气门杆端面与凸

轮接触，要求表面有高的硬度。因此，为满足其锥面与杆端的耐磨性，需要对气门进行锥面与杆端的淬回火处理，以获得要求的高硬度。通常是在马氏体耐热钢调质处理后再进行感应淬火。

本文仅对气门盘部锥面与杆部的感应淬火技术进行分析，并指出生产过程中出现的质量问题，且提出改进措施，目的是提高气门的感应淬火质量。

一、感应热处理在气门上的应用

1. 感应热处理的特点

感应热处理是生产率高、不污染环境、易于自动化和节省能源的一种先进热处理技术，最大用户是汽车零部件领域^[3]。

感应热处理技术由于具有优质、高效、节能、环保等诸多优点，符合现代汽车生产需要，

技术水平迅速提升^[4]。高频感应加热设备在汽车零部件领域的应用十分广泛,如气门、挺杆、连杆、曲轴、凸轮轴、齿轮、万向节钟形壳及半轴等,其中气门杆端进行连续淬火或冲击淬火,锥面进行自动连续作业成为国内外气门感应热处理最成功的技术,获得了气门制造厂的青睐,国内100余家气门制造厂均拥有5台以上的高频感应加热设备。其中我公司有30余台感应淬火设备,年产感应淬火气门2000万支以上,成为我国气门制造厂中产量最大与出口数量最多的企业之一。

2. 内燃机气门感应淬火的基本要求

气门热处理(调质处理)后进行感应淬火,目的是满足其杆端面(或锥面)耐磨的要求,《内燃机进、排气门技术条件》(GB/T23337—2009)与《汽车发动机气门技术条件》(QC/T469—2002)中,均指出杆端面经过表面淬火后硬度应 $\geq 48\text{HRC}$,当杆端部长度 $> 4\text{mm}$ 时,硬化层深度应 $\geq 2\text{mm}$ 或淬硬层深度应 $\geq 0.6\text{mm}$ 。盘锥面经过表面淬火后的硬化层应 $\geq 1.5\text{mm}$,其硬度值应符合图样规定,杆端与锥面感应淬火晶粒度细于8级。可见对气门的锥面与杆部进行感应淬火是标准所要求的,是提高气门表面硬度的不可缺少的热处理手段。

二、气门感应热处理技术要求及感应器形式与选用

1. 技术要求

气门进行感应淬火的技术要

求包括表面(或端面)硬度、硬化层(淬火)深度或长度、金相组织、畸变量及外观等。

(1) 锥面淬火要求 气门锥面(阀口)与气门底座反复贴合,要求其表面具有高的硬度和良好的耐磨性,感应淬火可满足其要求。锥面淬火的锥面硬度在 $45\sim 58\text{HRC}$,硬化层深度一般 $\geq 1.5\text{mm}$ ^[6,7],晶粒度细于8级,某气门锥面淬火技术要求如图1所示(图中A点位置:距盘端面 1.7mm ,距盘外圆 3.3mm 。要求在淬火深度测量时应透过A点,淬火区及过渡区不得超过图中粗实线)。

(2) 杆端淬火要求 对于气门杆部的技术要求为淬火硬度 $50\sim 60\text{HRC}$,硬化层深度 $\geq 2\text{mm}$,晶粒度细于8级等^[7,8],其中工艺要求有杆部淬透、仿形淬火、杆端冲击淬火等,图2、图3、图4为某些气门杆部淬透、杆部仿形和杆端冲击淬火的技术要求。

2. 感应器的形式与选用

(1) 锥面淬火感应器 锥面淬火采用专用的感应器,通常气门使用的锥面淬火感应器有两种:连续式感应器与单圈感应器,其形状是根据气门盘锥面确定的,图5、图6为常见的感应器形式。

锥面淬火感应器的选用原则:感应器内沿与气门锥面之间留有间隙为 $1.5\sim 3\text{mm}$,气门的盘部在加热过程中是旋转的,具体参数如电流、电压、频率、加热温度与加热时间是通过工艺试验来确定的,即满足硬度与淬火深

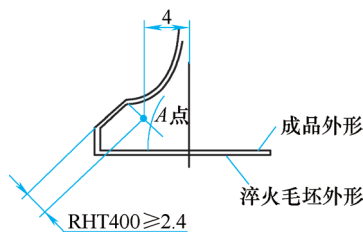


图1 某气门锥面工艺要求的淬火深度与硬度

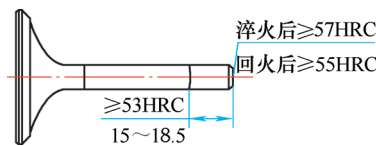


图2 气门杆部淬透要求

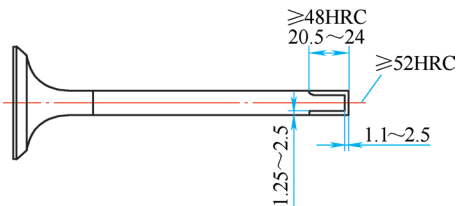


图3 气门杆部仿形淬火要求



图4 气门杆端冲击淬火要求

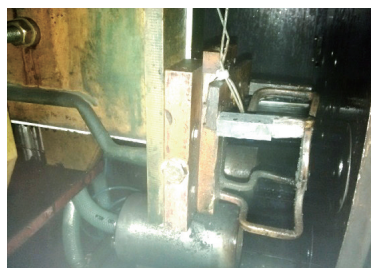


图5 多工位气门锥面淬火感应器



图6 单圈气门锥面淬火感应器

度合格，晶粒度要细于8级的要求，锥面淬火后的气门通常进行160~200℃低温回火或高温回火处理，以稳定组织，减小内应力与脆性^[3,6,7]。

(2) 杆端淬火感应器 气门的杆端淬火采用特制的感应器。这是考虑到其技术要求的差异而设计的，同时其工艺参数也有较大的不同，目的是满足杆部的不同硬度与淬火长度的要求。图7、图8为冲击与仿形淬火感应器，图9为杆端连续淬火与连续淬回火感应器，该类感应器应用十分普遍，生产效率高。

三、气门感应热处理的质量控制

1. 过程质量控制

为使气门感应淬火后的质量符合技术要求，气门应进行锥面和杆端感应淬火的加热与冷却，选用感应器、喷水器的结构、形状及尺寸应满足使用要求。根据工艺试验结果确定最佳的工艺参数等，并按如下要求进行：

- (1) 要确定电压、电流、加热温度、加热时间或进给速度等。
- (2) 冷却介质温度、压力、流量、浓度的范围及冷却时间。
- (3) 感应器外观与冷却喷淋结构符合要求。

2. 质量检查方法

目前气门杆部与锥面的硬度、长度或深度、晶粒度等检查方法采用以下要求进行：

- (1) 对于要求采用洛氏/维氏硬度检查和淬火长度则采用在锥面或杆部外圆上检查，图10为

检查图片。

- (2) 对于要求采用维氏硬度（平面）检查的，则是在剖开锥面或杆部平面上，抛光后硬度与长度等按要求检查，如图11所示。

- (3) 晶粒度的检查按要求抛光腐蚀后进行。

3. 缺陷形式与原因分析

气门锥面与杆端淬火缺陷形式与原因分析具体见附表。

四、气门感应热处理的最新动态与发展动向

1. 最新动态

- (1) 进行头杆与杆杆焊气门的摩擦焊接后的快速退火处理，可进行连线加工，气门在连续式感应器中加热，取消了焊后气门集中退火的烦琐工序，实现节能降耗。国外气门制造厂开始在部分气门生产线上应用该技术。

- (2) 用于头杆焊气门脖颈

处校直前的加热，尤其对于不允许进行冷矫直或锤击盘部的气门采用此类措施，可根除柴油机气门早期失效的发生。

- (3) 目前奥氏体耐热钢条材是制造气门的原材料，是热轧材经高温固溶处理制成，为保证气门的使用性能，固溶处理大多采用电炉、燃气炉、盐浴炉等。感应加热固溶处理可以达到传



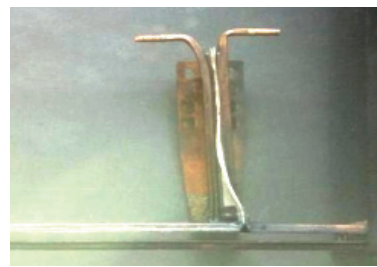
图7 气门杆端冲击/仿形淬火感应器



图8 气门杆部淬透连续淬火感应器



(a) 回火感应器



(b) 淬火感应器

图9 气门杆部连续式淬火与回火感应器



(a) 锥面硬度检查



(b) 杆端硬度检查



(c) 杆部淬火长度检查

图10 气门硬度与淬火长度的硬度检查法

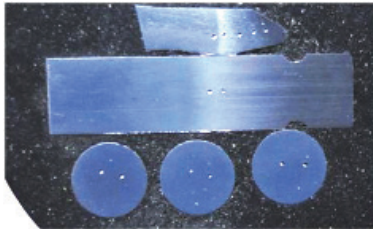


图11 气门锥面与杆端与淬火长度检查
(硬度法)

统固溶处理的目的是，采用超高频电源实现在居里点以下温度具有良好的电效率，固溶处理温度在1100~1150℃时的吨钢电能消耗为350~400kW·h，加热系统的电效率可以达到65%左右^[8]。

2. 发展动向

(1) 向自动化方向发展，减轻劳动强度，提高生产效率。

气门采用自动上下料自动进行锥面和杆端的淬火处理，出现异常或故障，设备自动报警，从根本上解决了依靠操作者进行烦琐的重复劳动的弊端，产品质量稳定与生产效率明显提高。

(2) 向智能化方向发展，进行预防控制，实现报警、高低温产品的分离等功能。

1) 按工艺要求输入程序后采用计算机控制，操作屏幕界面清晰，各种动作指令触屏即可完成，人员进行巡视即可，从而减少人为因素的影响，确保产品质量的稳定与一致性。

2) 对电源的运行状态及参数实时监控（如电压、电流、功率、频率、温度等），真正实现实时在线监控^[9]。

3) 计算机模拟感应热处理已在部分企业、研究所开展。这种虚拟试制新技术将替代烦琐费时的现场工艺调整^[10]。

气门感应热处理缺陷形式与原因分析

缺陷部位	缺陷名称	原因分析
气门锥面	锥面裂纹	淬火深度进入了盘部底窝内，造成此处应力集中而开裂
	圆弧裂纹	淬火温度高或冷却速度太快或产品存在内部缺陷
	锥面烧伤	1.气门锥面与感应器接触而打火烧伤 2.锥面与感应器距离太近，造成温度高
	锥面烧化	锥面与感应器距离太近，造成温度高
	锥面硬度不合格	1.淬火加热温度高 2.淬火加热温度低组织尚未转变 3.淬火冷却介质成分、压力、温度选择不当
	锥面晶粒度粗	淬火温度高或加热时间长
	锥面淬火深度不合格	1.加热功率过高（或低）且加热时间长（或短） 2.淬火冷却介质的温度、压力或流量不当
气门杆端	杆端烧化	感应器与气门杆端距离太近，温度高所致
	杆部电击伤	感应器与气门杆部碰撞、或有毛刺或两气门接触打火、烧化
	杆部（端）淬火裂纹	淬火温度高或淬火冷却介质浓度低，造成冷却速度快
	硬度不合格	1.淬火加热温度高 2.淬火加热温度低组织尚未转变 3.淬火冷却介质成分、压力、温度选择不当
	淬火长度度不合格	1.加热功率过高（或低）且加热时间长（或短） 2.淬火液的温度、压力或流量不当
	杆部变形大	1.气门杆部伸出长度长或加热时摆动 2.淬火温度高 3.杆部没有转动或与物体碰撞

参考文献

[1] 王忠诚, 王东. 汽车零部件热处理实用技术[M].北京: 机械工业出版社, 2013:56-57.

[2] 热处理手册编委会.热处理手册: 第二卷[M].3版. 北京: 机械工业出版社, 2003: 439-440.

[3] 王忠诚, 齐宝森, 李杨. 典型零件热处理技术[M].北京: 化学工业出版社, 2007: 434-443.

[4] 马鸣图, 等.先进汽车用钢[M].北京: 化学工业出版社, 2008: 510-511.

[5] 浙江大学, 上海机械学院, 合肥工业大学. 钢铁材料及其热处理工艺[M].上海: 上海科学技术出版社, 1978: 202-204.

[6] 王忠诚. 零件整体热处理与典型实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 215-217.

[7] 国家质量技术监督局. QC/T469-2002 汽车发动机气门技术条件[S].北京: 中国标准出版社, 2002.

[8] 王振东, 牟俊茂.钢材感应加热快速热处理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 324-330.

[9] 沈庆通, 梁文林.现代感应热处理技术[M].2版. 北京: 机械工业出版社, 2015: 3-59.

[10]林信智, 杨连第. 汽车零部件感应热处理工艺与设备[M].北京: 北京理工大学出版社, 1998: 185-187.

MW 20161208