

# 日本的高频淬火技术

郭廷杰

(国家发展与改革委员会, 北京, 100077)

摘要: 以汽车发动机主要部件曲轴和齿条轴的高频淬火方式为例, 介绍了日本现行的高频淬火技术, 以及 MHz 级高频淬火的开发和应用。

关键词: 高频; 淬火; 随动方式

中国分类号: TG156.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-1639 (2003) 04-0012-02

## The High Frequency Hardening Technology of Japan

GUO Ting-jie

(The Committee for Developing and Reforming of China, Beijing 100077, China)

**Abstract:** Setting example for the high frequency hardening method of the bent axle and cranked axle for the use of the automobile engine, at present Japanese high frequency hardening technology and developing application of MHz grade high frequency hardening were introduced.

**Key words:** high frequency; hardening; random movement method

### 1 前 言

日本的高频热处理技术为适应其国内快速发展的汽车用部件的高品质化要求而不断提高。今日高频热处理技术的快速发展依赖于汽车的进步。本文就汽车重要部件即发动机用曲轴和操纵机构用齿条轴的高频淬火新技术介绍如下。并介绍了有关利用 MHz 级高频以缩短淬火时间的方法。

### 2 曲轴的高频淬火

曲轴的淬火方法有多种, 现以加热线圈随动方式的淬火设备为主。众所周知, 曲轴是由两端中心孔和轴芯相同的轴颈及轴芯不同心的轴枢而构成的, 轴枢的淬火较为困难。但由于随动式淬火设备开发成功后顺利解决了曲轴的淬火问题。

随动方式是从曲轴的轴枢和连杆的动作联想而产生的, 即仿照连杆设置加热线圈以解决。

#### 2.1 加热线圈的共用化

发动机即使尺寸相同有时排气量亦不同, 此时因曲轴和汽缸体共用, 故轴枢和轴颈在推力范围轴方向的尺寸是一样的, 但轴径则多不同。为对应轴径不同应设置配套的加热线圈, 以致在机种变换时加热线圈亦需配套更换, 若能用同一加热线圈处理不同直径的轴, 则既可节约设备费用, 又利于提高生产效率。

以被加热物轴枢为例说明如下。通常的加热线圈被 3 片隔片调整垫分开, 该垫亦和轴枢接触以保持和加热

线圈有一定的合理间隙, 从而保证了淬火的正常进行。但当用以处理小径轴枢时, 因至少需和 2 片隔片调整垫接触, 有时竟产生轴枢和加热线圈接触的情况, 使淬火难以进行。

共用化加热线圈的内径按处理大径轴枢的作业要求设计, 若用于处理小径轴枢时, 为保证和 2 片隔片调整垫接触又不致使和加热线圈接触, 通过附设的随动机构届时以风动调节便将接触后的加热导体后移以保持一定距离, 从而可保证淬火的顺利进行。

根据上述原理对设备完善后分别进行了平烧淬火和圆角 R 烧淬火, 其淬火后的质量分别见表 1 和表 2, 由此可知大径、小径轴枢均符合标准规定的各项指标。

表 1 随动式高频淬火条件及品质 (平烧)

项 目	大径轴枢	小径轴枢
	$\phi 53 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$	$\phi 53 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$
淬 火 条 件	电压/V	230
	功率/kW	44.5      42.7
	频率/kHz	17
	加热时间/s	8
	冷却时间 (空冷/水冷)/s	0/20
	淬火水流量/L·min <sup>-1</sup>	50
淬火水浓度(%)	8	
质 量 指 标	表面硬度 (HV) (0.2 mm 处) 标准 >600	675~710      673~704
	有效深度/mm (HV450 处) 标准 1.4~4.4	1.8~2.0      1.7~1.8
	未淬火范围/mm 标准 2.6~5.0	2.8~3.1      2.7~3.4

收稿日期 2003-04-29

作者简介 郭廷杰 (1925- ) 男, 教授级高级工程师, 从事燃烧技术的研究工作。

表2 高频淬火条件的品质 (R 烧)

项 目	大径轴枢 φ 48 mm×20 mm		小径轴枢 φ 45 mm×20 mm		
	电压/V	427		438	
变换比 (%)	100~90		100~86		
功率(顶/底)/kW	89/116		86/122		
频率/kHz	8.5		8.5		
加热时间/s	12				
冷却时间 (空冷/水冷)/s	0.5/20				
淬火水流量/l·min <sup>-1</sup>	70/8				
淬火水浓度 (%)					
质 量	表面硬度(HV) 标准>620	677~689 (顶部)	655~677 (底部)	655~677 (顶部)	666~689 (底部)
	有效深度/mm	2.4~3.3 (顶部)	2.2~3.5 (底部)	3.0~3.2 (顶部)	2.4~3.8 (底部)
	HV400 处标准 1~6	(顶部)	(底部)	(顶部)	(底部)
	淬火范围/mm 标准 顶部<5,底部>5	3.5~3.7 (顶部)	7.0~7.2 (底部)	3.5~3.6 (顶部)	7.0~7.2 (底部)

2.2 疲劳强度的提高

发动机通过曲轴和连杆把往复直线运动转换为回转运动。为此和连杆嵌合的轴枢承受很强的扭转应力，加上伴随对发动机高转数、高出力的要求，轴枢的高强度化更为必要。轴枢和轴颈为防止由回转摩擦热造成的烧伤，上边还开有供润滑油的油孔，此油孔对扭转疲劳强度的影响很大。即油孔开口处易形成应力集中，特别是高频淬火在表面形成的硬化层处，油孔内部的硬化层底部应力最为集中，严重时从此处产生裂缝。为此，在高频淬火时对轴孔部及其附近应有意识地加深淬火层以提高抗扭转疲劳强度。一般采取先将轴枢轴孔处一侧对准加热线圈静止加热 1.8~2.8 s，再回转 180°，将另一侧对准加热线圈静止加热 1.8~2.8 s，如此反复 3 次后再将全体均匀回转加热，待总加热时间达 24 s 便可加深轴孔及附近的淬火层。按此方式在 9.8 kHz、80 kW、350 V、30 r/min 回转条件下加热并经待冷 24 s 和冷却 20 s 的条件下实施圆角 R 烧淬火的结果，其抗弯强度和抗扭强度比按一般淬火下的结果分别提高了 8%和 38%。

3 齿条轴的高频淬火

表3 齿条轴一次淬火后硬度分布

HV

部 位	不同淬火层硬度分布											
	母材/mm	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2
齿谷	273	622	575	558	423	406	304	283	264	274	285	
背面	312	715	723	728	715	674	626	510	450	384	289	279

汽车的驾驶操纵机构多以齿条齿轮传动方式为主。齿条轴的齿面部多采取淬火处理。过去多用渗碳淬火处理，近年改为高频淬火。

原高频淬火仅对齿面均匀加热，现改为直接通电的淬火方法即对被加热物直接通入高频电流而产生的电阻加热。由于邻近效应和趋肤效应，表面通入电流密度大，故齿面得到充分加热和淬火。

淬火部位由当初的仅对齿面、经齿面和背面发展到齿面、背面和轴部等。其中背面和齿面一样采取直接通电方式淬火，轴部则仍采取移动淬火方法。但是对齿面和背面分两次处理时，受第 2 次淬火时的热影响，原已淬火部位的一部分（通常是背面）硬度下降，如采取对轴部亦 3 次淬火时，还需制作适合各种处理用的加热线圈，使设备制作费大幅提高。

除直接通电方式外，还有采用环形加热线圈使被加热物移动的同时对齿面、背面同时加热（有时并延伸到轴部）的淬火方式。此法由于不需压紧装置，设备费较低，同时加热线圈亦不受环形齿等部位的影响，可共用。但由于对齿面底部的全面淬火较难，故尚未推广。

为了解决上述问题，开发了在线加热线圈一次对齿面与背面淬火的方法。

(1)在静止状态下由柱状导体按设定时间通电对齿面和背面进行感应加热。因其和齿面、背面的形状相类似，各部位可均匀受热；

(2)由于被加热物的回转，在通过柱状导体下部时产生感应电流使侧部受热，从而整体得到加热；

(3)定时对回转的被加热物喷冷却水使之冷却整体淬火（如果非回转加热后冷却，则仅对齿面和背面淬火）。

齿条轴按此法处理的有关参数如下：

①被加热物尺寸：全长 620 mm，淬火部长 175 mm，外径 φ 32 mm，齿高 5 mm，齿宽 18 mm；

②淬火条件：频率 60kHz，功率 250 kW，加热功率 180 kW，静止加热时间 3 s，回转加热时间 1.5 s，冷却时间 12 s，淬火水流量 140 l/min，淬火水浓度（含氯氟甲烷系致冷剂）9%，回转数 240 r/min；

③质量：硬度分布见表 3。

# 半导体封装快速养护炉炉温分布的计算机仿真

付俊庆

(长沙交通学院 汽车与机电工程系, 湖南 长沙 410076)

**摘要:** 半导体封装快速养护炉是半导体封装过程中的一个关键设备。半导体封装粘结工艺养护过程要求炉内温度均匀分布, 现有养护炉不能满足这一要求。通过对某养护炉炉内温度场的计算机仿真分析发现, 现有养护炉在设计上存在缺陷, 通过加长养护炉的方法, 可以改善养护炉内温度场的分布, 满足半导体封装粘结工艺养护的要求。

**关键词:** 计算机仿真; 半导体封装; 养护炉; 温度场

中图分类号: TP15

文献标识码: A

文章编号: 1002-1639(2003)04-0014-04

## Computer Simulation of Temperature Field of A Snap Curing Oven for the Semiconductor Packaging

FU Jun-qing

(Dept. of Automobile, mechanical & Electrical Eng. Changsha Communications University,

Changsha 410076, China)

**Abstract:** The snap curing oven is key equipment in the semiconductor packaging. The die bonding requires the temperature field of the oven to be even, but an existing curing oven can not suit the requirement. Through simulating the temperature field of the curing oven, the paper found that the design of the oven has some defects, and that the lengthening oven can bring out the temperature field of curing oven to be even, such the requirements of die bonding can be satisfied.

**Key words:** computer simulation; simulation; semiconductor packaging; curing oven; temperature field

## 1 前言

半导体封装快速养护是半导体封装过程中粘与丝结工艺之间的一个关键环节。在裸芯片粘到基层之后, 由环氧树脂所形成的粘结层需要通过一个快速

养护炉, 进行升温养护。图 1 是一个快速养护炉的简化示意图, 该养护炉安装了 4 个电加热元件, 可提供的加热功率为 2 600 W (4×650 W)。为了消除环氧树脂粘剂中的挥发性物质, 炉室内充满氮气。为了保障粘剂的养护质量, 要求炉内温度均匀分布, 但实际情况是, 通过 PID 控制方法很难实现炉内温度均匀分布的目的。因此, 为了保障炉内温度分布均匀, 提高粘剂的养护质量, 通过仿真分析, 从理论上分析炉内温度分布不均匀的原因, 对于改进控制方法或重新设计快速养护炉具有重要的意义。本文以香港 ASM 公司的现有快速养护

收稿日期 2003-03-12; 修回日期 2003-05-19

基金项目: 香港城市大学基金资助项目(7000874)

作者简介: 付俊庆(1954-), 男, 湖南石门人, 副教授, 主要研究方向为物理过程建模与仿真, 数据采集与测试, 机械振动, 信号处理与分析。

按 HV450 处为有效硬化层, 则齿谷为 0.26 mm, 背部为 1.6 mm。

## 4 MHz 级的高频淬火

迄今高频热处理面使用的频率为 kHz, 最高的仅 400 kHz 左右。下面对 MHz 级高频淬火进行介绍。

处理的对象为: 在 5 mm 厚的钢板上有  $\phi 12$  mm 的冲压孔, 要求孔内径表面硬度 HV 300 以上、硬化层为 0.4 mm (目标值)。对于硬化层为 0.4 mm 的深度用 400 kHz 亦可能达到, 但需要短时间内大功率处理; 另对于内径 12 mm 的孔所用的加热线圈亦有些太小, 即使是短时间加热, 其耐久性亦有问题。

于是按  $\tau$  铁状态下淬火层达 0.4 mm 而计算出所

需频率数约为 1.6 MHz, 据此我们用作为其它电源而开发的 2.5 MHz 的振荡机 (计算淬透深度为 0.32 mm) 进行了高频淬火试验, 达到如下的良好结果。

(1) 加热条件: 板极电压 10 kV, 板极电流 1.7 A, 孔极电流 0.2 A, 功率 15 kW, 加热时间 0.25 s;

(2) 孔内淬火质量: 表面硬度 HV395~450, 淬深 0.39~0.47 mm。

## 5 结语

如上所述的随动式曲轴淬火方法已推广到所有发动机上, 驾驶操纵机构齿条齿轮转动部分的直接通电淬火已有 30 年, 亟待创新, MHz 级淬火以短时间小功率可达到较佳效果, 应予推广。