

# 改进灰铸铁燕尾导轨超音频淬火工艺

倪金峰 吕明德 (南京第二机床厂)

## 一、问题的引出

对燕尾导轨进行感应加热淬火,国内一般采用预热圈与淬火圈串联的仿形感应器(简称串联式感应器),以连续加热冷却的方法进行。由于燕尾导轨几何结构的原因,淬火效果往往不佳。淬硬层分布差,硬度不高,不仅影响导轨的耐磨性,而且给磨削加工带来困难。

近年来随着技术进步,机床产品对其运动副的耐磨性要求大大提高。因此国家颁布实施了《金属切削机床灰铸铁导轨感应加热淬火技术条件》(JB/GQ1093—87)。对机床灰铸铁导轨的淬火质量提出了严格而具体的要求。为此,我们结合本厂产品对机床灰铸铁燕尾导轨感应加热淬火工艺进行了试验摸索。提出了用预热圈与淬火圈各自的平面导轨施感段与斜面导轨施感段分别并联分流,在平面导轨施感段与斜面导轨施感段相交处将预热圈与淬火圈串联起来的感应器(简称分流并串联式感应器)进行燕尾导轨超

音频淬火,获得成功。

## 二、感应器结构与原理分析

迅速将工件表层加热到淬火温度,进而冷却淬硬工件。若要通过感应加热淬火获得具有高的表面硬度和一定深度的淬硬层,必须使淬火部位的每一处在通过感应器时达到均匀一致的淬火温度。因此设计感应器时首先要考虑如何使高频电流在感应器上合理分布。串联式感应器淬火效果差的原因就在于此。具体说来主要有三个方面原因:

1. 高频电流的邻近效应 串联式感应器(见图1(a))各段上的电流强度相等,但各施感段上的电流方向或相反或互为钝角。当两个方向相反或接近方向相反的高频电流距离较近时,由于磁场的相互作用,磁力线将重新分布,见图1(b)。这是由于相邻磁力线的方向相同,根据电磁定律,两导体相邻一侧的感抗因之较小,于是高频电流便沿着两导体相邻一侧流,频率越高,两导体越靠近,高频电流越向相邻一侧集中。这

的污染,所以国家对含铬污水的排放有专门的要求,要使污水达到国家规定的排放标准,得配备专门的含铬污水处理设备进行净化处理。

柠檬酸盐无铬退铜电解液对人体健康的不利影响远小于铬酐、硫酸铵退铜溶液的不利影响。无铬退铜比含铬退铜,在污染程度上大为减轻,生产中只需普通的抽风设备就可以操作,污水经稀释后可直接排放,无须

再添置其他辅助设施。

无铬退铜工艺的试验和应用的实践,使我们得出了如下的结论:

柠檬酸盐无铬退铜工艺是一种性能可靠、操作方便、设备简单、价格便宜的行之有效的新工艺。特别是完全消除了含铬废气、废水等有毒物质对环境的污染,对改善电镀工人的劳动条件,保障人民的身体健康起了积极有效的作用。

就是所谓高频电流通过相邻导体时的邻近效应<sup>[1]</sup>。

串联式感应器由于邻近效应使得高频电流与工件加热表面的有效间隙大为增加。这样由于磁力线的散射，加热效率急剧降低，愈靠近燕尾槽根愈为严重。若感应器是用截

面宽度6毫米的铜管制作的，那么施感高频电流到槽根加热表面的有效间隙至少为14毫米。此处的加热效率最低，以致于其他加热部甚至过热，此处两侧仍有10毫米以上的区域达不到淬火温度。

为减少施感面到工件表面有效间隙，我

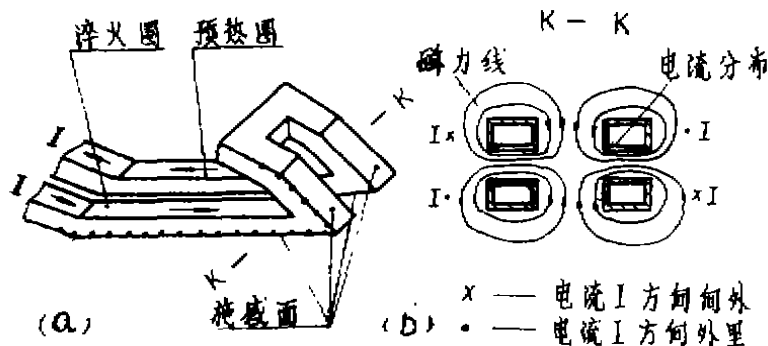


图1 串联式感应器

们曾将串联式感应器预热圈与淬火圈的串联形式改为在斜面导轨上直接用1.5毫米的铜板连接(图2)，结果燕尾槽根的加热情况大为改善。但这种串联方式只适用于斜面导轨宽度不超过15毫米的燕尾导轨。这是因为连接铜板上的施感电流不是均匀分布的，离槽根越远，电流密度越低。斜面导轨过宽势必导致在距槽根一定距离的某处开始加热温度低于淬火温度。如图3所示。

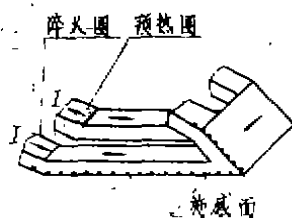


图2 斜面平面连接  
串联式感应器

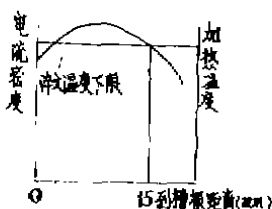


图3 斜面平面连接  
串联式感应器斜面  
加热情况示意图

2. 工件加热表面的涡流对施感高频电流的影响 用于感应加热淬火的材料大都是铁磁性物质。按电磁感应原理，工件表面被涡流加热的同时，涡流也反作用于施感高频电流。由于涡流的方向与施感电流方向相

反，因此它们的磁力线亦方向相反，相互推抵。这种施感电流越靠近工件加热表面，遇到的感抗越大，因而被逼向远离工件加热表面一侧分布。对淬燕尾导轨的串联式感应器来说，涡流对施感电流的影响趋势与邻近效应相似，这对燕尾槽部附近区域的淬火加热非常不利。

3. 燕尾导轨的结构因素对淬火加热的影响

通常燕尾导轨的斜导轨面越靠近燕尾槽根部，散热条件越好，温度上升越慢。因此要使该处与其他部位同时加热到淬火温度，就应设法提高该处的电流密度，使之适当高于其他部位的电流密度。这点对于串联式感应器来说是无法办到的。

以上三种在串联式感应器中的表现随施感电流频率的变化而改变。频率提高，邻近效应和涡流对施感电流的作用加强，不利于燕尾导轨的淬火加热，但由于涡流的集肤效应增强，在有效输出功率相同时可以提高加热速度，减少散热，对克服燕尾导轨结构上的不利因素有利。

实际淬火时，感应器上通常都要适当地

装上导磁体,利用导磁体对高频电流的驱流作用<sup>[1][2]</sup>来克服邻近效应和涡流对施感电流的反作用带来的不良影响。由于铁氧导磁体的导磁率和磁阻都较铸铁材料为优,而感应电动势的大小与施感电流的变化率成正比。因此随着施感电流频率的提高,导磁体的驱流能力亦大为提高。只要选用的导磁体材料适当,设计安装合理,提高施感电流频率有助于改善串联式感应器淬燕尾导轨的加热条件。但频率过高会使工作加热表面的集肤效应过强而减少有效淬硬层厚度。

综上所述,解决燕尾导轨感应加热淬火问题的关键在于提高燕尾槽部施感面的电流

密度。解决这个问题应从以下两方面着手。

1. 适当改变施感电流的流向以克服邻近效应和被加热表面涡流对施感电流的影响,减少施感电流与被加热表面的有效间隙。

2. 设法提高燕尾槽部施感面的电流密度,使之适当高于其他部位的电流密度。

基于上述分析,我们设计制造了分流并串联式感应器(见图4)用于燕尾导轨的超音频淬火。图中A、B、C、D和E各施感段的电流强度 $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$ 、 $i_D$ 和 $i_E$ 不尽相同,但存在如下关系

$$i_A + i_D = i_C = i_D + i_E$$

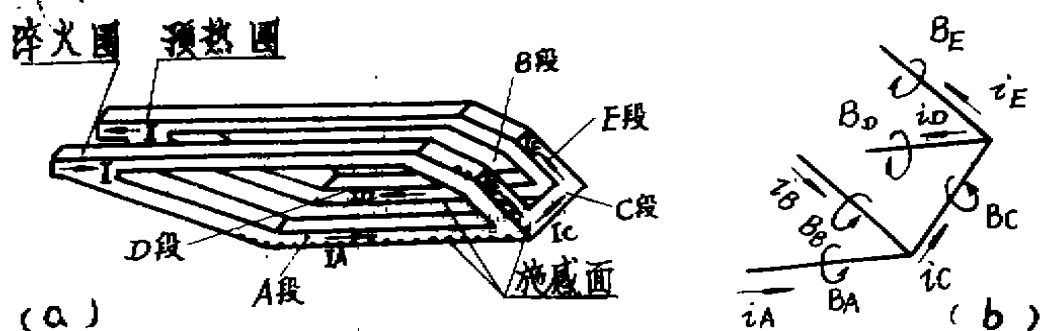


图4 分流并串联式感应器

由于电流 $i_A$ 与 $i_B$ 、 $i_D$ 与 $i_E$ 方向始终成锐角,它们的磁力线在非施感面一侧方向相反,互相抵消,因而有效地抑制了邻近效应。

对应于燕尾槽部的施感段C段,虽然该段的磁力线方向总是交替着与A段或B段、D段或E段中的各一段的磁力线在非施感面一侧方向相同(如图4(b)所示)而在瞬时交替地产生邻近效应,影响了施感面上的电流密度。但由于该段是预热圈与淬火圈的串联结,其电流强度是 $i_A$ 与 $i_B$ (亦是 $i_D$ 与 $i_E$ )之和,因此与串联式感应器相比仍然大大提高了燕尾槽部的电流密度。

需要指出的是,通常燕尾导轨的平面导轨的宽度要比斜面导轨宽度大出许多。这就造成感应淬火时感应器平面部分与斜面部分的负载不平衡, $i_A$ 和 $i_D$ 要分别小于 $i_B$ 和 $i_E$ ,

使得斜面导轨加热速度过快,易过热。为平衡平面导轨的施感电流和斜面导轨的施感电流,可在连接斜面施感段的空载部分适当加上些导磁体,通过提高这段上的感抗来使两导轨面的施感电流达到平衡。

### 三、实验结果与分析

#### 1. 试样

燕尾导轨的模拟试样见图5,材料为HT

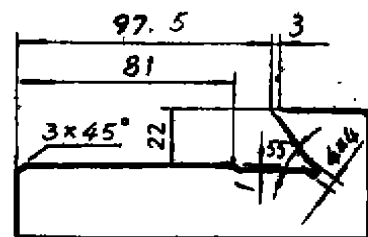


图5 燕尾导轨淬火试样

300, A型石墨为主, 珠光体量为86%, 硬度为HB170, 化学成分见表1

表1 试样化学成分(%)

合金元素	C	Si	Mn	P	S
含量	2.95	1.84	1.29	0.12	0.078

## 2. 设备

国产CYP100-2型超音频感应加热设备, 频率30~40KHZ。

自制N<sub>2</sub>ZP卧式淬火机床。

## 3. 感应器

分流并串联式燕尾导轨超音频感应加热淬火感应器。

串联式燕尾导轨超音频感应加热淬火感应器。

## 4. 工艺参数

两种感应器淬火的工艺参数见表2。淬火剂均为压力0.8kg/cm<sup>2</sup>的自来水。

表2 两种感应器淬火的工艺参数

感应器	阳压 (KV)	槽压 (KV)	阳流 (A)	槽流 (A)	车速 (mm/s)
分流并串联式 (带导磁体)	12.5	11.2	1.4	6.5	2.5
串联式 (带导磁体)	11	10	1.4	7	2.5

## 5. 试验结果及分析

试样用分流并串联式感应器淬火后的解剖情况见图6。两种感应器淬火质量对比见表3。图7为用分流并串联式感应器淬火试样在斜面导轨上离槽根8毫米处淬硬层距表面1.5毫米的金相组织。



图6 燕尾导轨试样用分流并串联式感应器淬火后解剖图 ×0.25

表3 两种感应器淬火情况比较

感应器	淬硬层深度 (mm)	表面硬度 (磨削后) HRC	淬硬层主要金相组织	斜面导轨离槽根8mm处			斜面导轨软带宽度 (mm)
				淬硬层深度 (mm)	表面硬度 (磨削后) (HRC)	淬硬层主要金相组织	
分流并串联式感应器 (带导磁体)	2~2.2	≥51	M <sub>12</sub> + M <sub>10</sub> 针 + 10% A <sub>12</sub>	2	49~52	M <sub>12</sub> + M <sub>10</sub> 针 + 10% A <sub>12</sub>	≤4.5
串联式感应器 (带导磁体)	2.1~2.5	≥51	M <sub>12</sub> + M <sub>10</sub> 针 + 10% A <sub>12</sub>	0.3	21~24	S + P	≤13



图7 分流并串联式感应器淬火试样在斜面导轨距槽8mm深1.5mm处淬硬层金相组织 ×500

从图6、图7和表3可以看出, 两种感应器的淬火情况在平面导轨部分表面硬度和淬硬层深度相当。在斜面导轨部分, 用分流并串联式感应器淬火能得到16毫米的淬硬宽度, 在离槽根8毫米处仍有约2毫米的淬硬层, 且金相组织合格, 表面硬度与平面导轨相差无几。淬火质量大为改善。

从图6中看出, 在近燕尾导轨根部仍有约4.5毫米宽的软带。这是由于所用的分流并串联式感应器的C段施感面的横截面宽度过宽(约10毫米, 从而降低了施感面上的电流密度的缘故。若能将C段的施感面的横截面

# 电阻炉高效节能的综合治理

吴岚芳 (江苏热处理技术开发公司)

周建初 (南京航空学院)

贯彻李鹏总理新近题词:“能源工作必须坚持开发与节约并重的方针,各行各业都应把节能放在突出地位”<sup>[1]</sup>,电阻炉首当其冲,因为它面广量大,1000℃以下的电阻炉,全国约有30万台<sup>[2]</sup>。在机械行业热处理用电量约占总用电量的30%,其中一半以上是电阻炉,(包括箱式、井式、台车炉及烘箱),其中大量是仿苏50年代的旧炉,升温慢、耗电多,是著名的电老虎,近期生产的电阻炉,节能技术改造亦大有可为。

江苏热处理技术开发公司曾组织所属泰州南陵电器节能设备厂,采用南京航空学院研制的高温红外涂料,结合轻质砖陶瓷纤维,电阻带的应用,对电阻炉进行综合技术改造,取得高效节能效果。1989年6月为南京晨光机器厂制造两台台车式电阻炉,与该厂老炉技术指标对比如表1,空炉升温节电57%,实炉处理工件(铸钢,845kg,860℃

保温30分,出炉空冷),热效率高达45%,比老炉的24.5%提高87.8%。该炉使用至今已逾一年,仍保持节能高效。

新近为南京航空学院无人机研究所改制了一台45kw箱式炉,经华东地区能量平衡测试站测试,空炉升到950℃,仅耗时1h21min,耗电67.5kwh仅为标准JB4311.1-87要求的60%,为旧炉RX-45-9的21.4%,也可以说升温比标准JB4311.1-87要求的节电40%,比旧炉节电78.6%。实炉45钢淬火加热400kg料,820℃保温40min,耗电仅125kwh,热效率高达51%<sup>[4]</sup>。测试时南京市三电办负责同志在场,准备推广。几种炉膛容积相近(0.29m<sup>3</sup>)、功率相近的箱式炉,空炉自室温升到950℃的耗时耗电对比为表2。可见单用轻质砖改炉,有节能效果,但非高效。下面谈谈我们综合治理,高效节能技术改造的体会。

宽度在保证有足够的冷却水通过的情况下减小到7毫米以下,软带宽度就会大大减小。但这会给感应器的制作带来一定难度。

## 四、结语

分流并串联式感应器由于采用平面导轨的施感与斜面导轨的施感段分流后在燕尾槽根将预热圈和淬火圈串联起来的结构,有效地克服了传统的串联式感应器不可避免地存在的严重的邻近效应,并且大大地提高了燕尾槽根部施感面上的电流密度,从而提高了燕尾槽部的淬火温度,提高了燕尾导轨的淬

火质量。目前已正式纳入生产。

若能进一步改进感应器的制作手段,将连接预热圈和淬火圈的施感面的横截面宽度尽可能减小,就能使燕尾导轨的超音频淬火获得更为满意的效果。

## 参考文献

- [1] 人民出版社《热处理电工学》,1977,3, P293~294, P297~298
- [2] 刘志儒、卢宝宝《金属感应热处理》(上), 1985, 9, P200~203