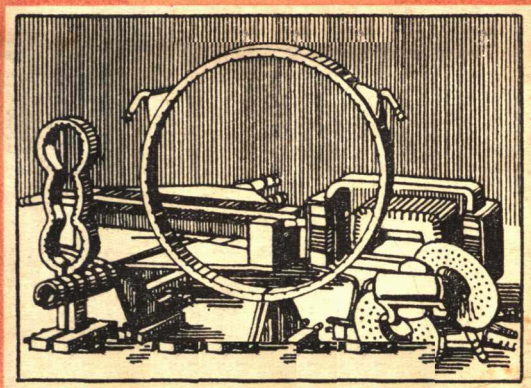


高频热处理丛书

第 6 册

淬火感应器

〔苏联〕A. E. 斯鲁霍茨基 著



科学技术出版社

第 6 册

淬 火 感 应 器

[苏联] A. E. 斯魯霍茨基著

孙 恩 德 译

逢 永 禄 校

內 容 提 要

这本小册子叙述了鋼件高频加热表面淬火用的主要型式感应器的設計原理;并介紹了感应器的近似計算方法,这些方法主要是用图表来求出的。

这本小册子可供工业部門中从事高频感应加热工作的有关人員参考。

淬 火 感 应 器

ЗАКАЛОЧНЫЕ ИНДУКТОРЫ

原 著 者 [苏联] А. Е. Слухоцкий

原出版者 Машигиз · 1954年版

譯 者 孙 恩 德

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版业營業許可証出 079 号

信誠印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号: 15119·586

开本 787×1092 耗 1/32 · 印張 1 9/16 · 字數 32,000

1957年11月第 1 版

1957年11月第 1 次印刷 印數 1—1,500

定价: (10) 0.26 元

原 序

在工业企业部門中，因为广泛应用感应加热来进行各种热加工，所以需要有一个簡單方法来設計專用的高頻器械。

属于这种器械的首先是感应器，它能使交变电磁場集中在被加热零件內。

为了設計和選擇其他的高頻器械，例如，变压器和电容器，就必须知道感应器的主要参数：电流、电压和功率因数。当加热鋼件时要精确計算这些数值是很困难的，因为鋼的單位电阻，特别是它的导磁率都与溫度有关。可是在表面淬火裝置中，通常只計算感应器的平均参数(在加热時間內)也就行了。

在这种情况下，感应器的計算数据很易归納成图表形式。上述的感应器概算方法在實踐中已由“B. П. 沃洛格金教授”高頻电流科学研究所驗證。

由于小冊子的篇幅有限，所以在这里仅研討淬火感应器的主要設計原理，和举了一些設計感应器的例子。

目 录

原序	1
緒論	1
1. 圆柱形外表面淬火用感应器	2
1-1. 概述	2
1-2. 声頻淬火感应器	8
1-3. 射頻淬火感应器	16
1-4. 圆柱形感应器的近似計算	17
2. 圆柱形內表面和平面淬火用感应器	26
2-1. 內表面淬火用感应器	26
2-2. 平面淬火用感应器	32
3. 复杂形状表面淬火用感应器的主要型式	40
3-1. 旋轉体淬火用感应器	40
3-2. 端面淬火用感应器	42
3-3. 大模数齿輪淬火用感应器	42
3-4. 电磁屏蔽	44

緒 論

金屬制件是用一種專門裝置——感應器來進行感應加熱的。用銅條或銅管彎成的圓形圈是感應器最簡單的一種形式。當交流電通過感應器時，在它的導線周圍便產生磁場，磁場強度是隨着電流的大小和方向的改變而周期地變化的。

磁場強度，也就是磁通密度——磁感應強度在感應器內部靠近導線處最大。

如果將金屬圓柱體放於感應器內部，則通過該圓柱體的交變磁通將在圓柱體內引起感應電流。由於鄰近效应的緣故，感應電流將聚集在感應器導線的下面，其電路是環形的。電流的頻率愈高，則電流通過圓柱體的表面層也愈薄，也就是說，趨膚效应表現得愈顯著^①。

圓柱體表面層的感應電流使圓柱體發熱，而表面溫度和加熱深度同輸至感應器的功率、頻率和加熱時間有關。

另外，加熱區的大小、形狀及加熱表面的均勻度都與感應器的形狀有關。

因此，用感應器可使電磁能量（析出的熱能）集中在指定的區域內。感應電流聚集在一個區域內，其寬度接近於感應器的寬度。因此，加熱區的寬度與感應器的寬度相差很少。

以高頻感應電流加熱金屬表面的方法亦可用於鋼件的表面

① 參看 H. П. 格魯哈諾夫著“高頻加熱的物理基礎”，本叢書第2冊。

淬火。

实际工作中所遇到的零件有各种不同的形状，多半是很复杂的。所以，感应器有时也变得复杂化了。可是应当指出在设计感应器时所必须遵守的基本原则。

由于淬火感应器的样式繁多，这本小册子中只讨论几种主要型式的感应器：

- (1) 圆柱形外表面加热用感应器；
- (2) 圆柱形内表面加热用感应器；
- (3) 平面加热用感应器；
- (4) 复杂形状表面加热用感应器的主要型式。

当然，在表面淬火的实际工作中还可能遇到在这本小册子里没有作具体研究的某些问题。但是，即使是最复杂的感应器也不外乎是由上述型式感应器组合而成的。

1. 圆柱形外表面淬火用感应器

1-1. 概 述

任何一种感应器都是由下列几个主要部分组成：

- (1) 感应导线——它产生磁场，使被加热零件中感应出电流来；
- (2) 输电汇流板；
- (3) 连接感应器与降压变压器^①的接线座；
- (4) 冷却感应器和被加热零件的淬火用水装置（从图1可

① 参看 B. B. 沃洛格金著“高频加热用变压器”，本丛书第7册。

看出，在感应导线的内部有一些孔，淬火用水即通过这些孔喷射到被淬火零件上)。

感应导线是感应器的主要部分，淬火的成效在很大程度上决定于其结构设计的好坏。其他部分是辅助部分，设计它们一般并不困难。

关于感应导线的结构将更详细地介绍。

上面所列举的感应器可分为两类：(1) 声频淬火感应器；(2) 射频淬火感应器。

这两类感应器在原理上并没有什么区别；可是在构造上常不一样。这是由于在射频时感应器是在单位功率较小特别是电流较小下进行工作，因为功率相同时，感应器上的电压比在声频下工作时的电压要高得多。

因此，第二类感应器一般应作得小些。它们比第一类感应器作得较小，还由于在射频下电流对所有导电部分的机械作用减小甚多，特别是在采用可卸式感应器时更会有这种情况，因为在通过感应器中的电流影响下所产生的一种力会使感应器折断。

第一、二两类感应器的区别在于汇流板和接线座的构造，即是因为工业上采用的降压变压器输出端结构的不同而有差异。应当指出，这种区别在颇大程度上具有偶然性质。

用声频时，降压变压器次级绕组的接线座的构造要采用粗大的铜棒，在棒的接触面内插入 $\phi 10 \sim 12$ 公厘的黄铜销。感应器的接线座要做得粗大些，其厚度为 $8 \sim 12$ 公厘，还钻有销孔以

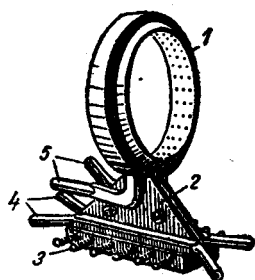


图 1. 圆柱形零件同时淬火感应器。

- 1—造成交变磁场的感应导线；
- 2—输电汇流板； 3—连接感应器与降压变压器的接线座；
- 4—冷却接线座的输水管； 5—冷却感应器和零件加热表面的输水管。

便插入銷子来固定感应器。

用射頻时,多半是用特殊夾子將感应器接到变压器上,夾子的連接部分都是做成相当薄的平条式。

A3-43 型、A3-46 型 (图 2a)、ЛГ-60 型 (图 2б) 的振盪器和其他类似裝置都采用这种夾子,但結構上有某些区别。由于感应器中的电流值比在声頻时的要小得多,所以在这种情况下采用夾子是很得当的。

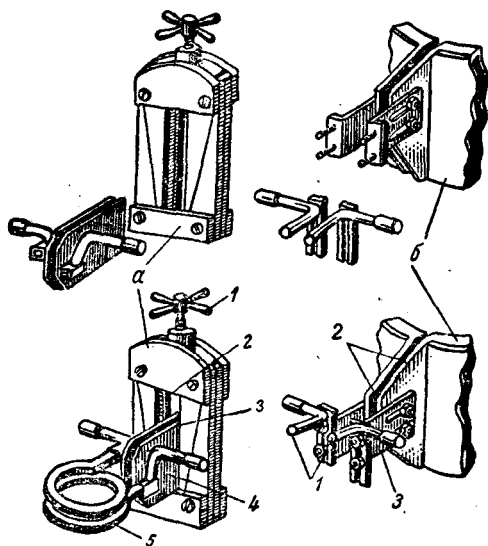


图 2. 輸电汇流板和連接感应器与电子管振盪器的变压器用夾子的結構。

(a) A3-43 和 A3-46 型振盪器用的: 1—夾紧夾子的手柄; 2—夾紧变压器的夾子; 3—絕緣垫片; 4—輸电汇流板; 5—感应导線;

(б) ЛГ-60 型振盪器用的: 1—感应器的輸电汇流板; 2—变压器的引出端; 3—变压器的中間接触板。

声頻淬火用的感应器, 如果作有适合于这种感应器的接綫

座,那么在必要时也可用来作射頻淬火。

除了上述的以外, 声頻和射頻感应器在制造上尚有一些其他的区别。为此, 应更詳細地分別研究每一类感应器的特点。

在設計感应器时最主要的是选择感应导线的宽度及其内工作面同被加热制件表面之间的间隙大小。

在采用同时加热法时, 感应导线的宽度是由所需淬火层的宽度来决定。可能有两种情况: (1) 在長的零件表面上进行某段淬火。(2) 零件整个工作侧面进行淬火。

在第一种情况下, 淬火区的宽度决定于感应电流在零件表面上的分布和轴向散热的程度。一般來說, 同时加热的感应器具有較大的宽度, 这个宽度要超过零件表面与感应导线之间的间隙值若干倍。

在这种条件下, 感应电流主要集中在其宽度近似于感应器宽度的淬火区内。淬火区的宽度一般应小于感应器宽度的 10~20%, 这一点在选择感应导线的宽度时必须遵守。

假如感应导线的宽度小于间隙的 $\frac{1}{10}$, 則縱截面上的淬火层將成月牙形 (图 3)。为了避免这种现象, 应当使间隙不均等, 即中部大些而两边小些, 这样就要使感应器的中部形成深为 2~3 公厘的环形槽。

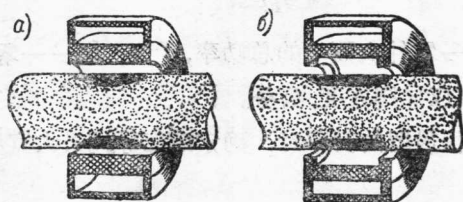


图 3. 用狹小的感应器加热零件时的情形。

a—标准結構的感应器; b—帶槽的感应器, 該槽为調匀加热层厚度用。

为了达到上述的目的,在使用多匝感应器时,可以把靠近两端的匝距缩小。这样,感应器两端的磁场强度便能增强,并且感应电流的密度也就增加。这时,淬火层就比较均匀了。假如感应导线的宽度大于间隙的 10 倍,则不改变间隙也能得到均匀的淬火层。

零件的全长淬火时,感应导线的宽度应比零件长度约小一个间隙值。这样,整个侧面都能均匀的加热,而无显著的过热,而且淬火层的深度也几乎不变。

用循序連續加热法来加热較長的零件时,感应导线的宽度应由振盪器的功率或者应以规定的生产率来确定^①。

感应导线愈寬和零件对感应器的移动速度愈小,則零件表面在感应导线内所通过的每一部分的加热时间亦愈長。因此,可求得部分表面加热的時間,这与同时加热法的加热時間相似:

$$t'_k = \frac{a}{v} \text{秒}, \quad (1)$$

式中: t'_k ——部分表面的加热時間,秒; a ——感应导线的宽度,公分; v ——移动速度,公分/秒。

感应导线所包围的零件表面上的单位功率

$$p_0 = \frac{P_r}{\pi D_2 a} \text{千瓦/公分}^2, \quad (2)$$

式中: P_r ——零件表面上的总功率,千瓦; D_2 ——零件直径,公分; a ——感应导线宽度,公分。

在给定振盪器的功率时,确定感应导线最大宽度的公式如下:

① 参看 A. Д. 杰米切夫和 C. B. 沙施金著“高频淬火”,本叢書第 3 册。

$$a = \frac{P_r}{\pi D_2 p_0} \text{ 公分,}$$

或者用振盪器的功率代替零件上的功率:

$$a = \eta_{\pi} \eta_{\text{TP}} \frac{P_r}{\pi D_2 p_0} \text{ 公分,} \quad (3)$$

式中: P_r ——振盪器功率, 千瓦; η_{π} ——感應器效率; η_{TP} ——淬火降壓變壓器效率。

平均取 $\eta_{\pi} \approx \eta_{\text{TP}} \approx 0.8$ 。此時感應導線的寬度

$$a = 0.64 \frac{P_r}{\pi D_2 p_0} \text{ 公分}$$

$$\text{或} \quad a \approx 0.2 \frac{P_r}{D_2 p_0} \text{ 公分。} \quad (4)$$

與淬火層深度、直徑和頻率有關的加熱時間和單位功率的近似值可按相應的曲線(圖 15、16、17)求得之, 這些曲線是按照理論計算數據作出的, 並已驗證過。

應當注意, 零件對感應器移動的速度不應小於規定的速度, 不然, 淬火層的質量會降低, 因為自加熱結束至冷卻開始之間的間隔時間過長, 局部奧氏體就要分解, 炭素鋼^①的這種現象更為顯著。

若生產率是已知的, 則移動速度便可確定。因為在淬火層深度已給定下加熱時間是已知的, 所以感應導線寬度可按下式求出:

$$a = vt'_{\pi} \quad (5)$$

此時根據公式(4)可知所需的振盪器功率

$$P_r \approx 5a D_2 p_0 \text{ 千瓦。} \quad (6)$$

① 參看 Г. Ф. 高洛夫著“鋼件高頻淬火後的組織和性能”, 本叢書第 4 冊。

1-2. 声頻淬火感应器

同时加热的淬火感应器 用同时加热法时, 加热时间一般是以秒做时间单位。因此, 可制造一种在加热过程中感应导线不冷却的感应器。在这种情况下, 为了不使感应导线过热和烧坏, 可把它制得粗大些。但是增加感应导线的厚度并不能减小电阻和降低损耗, 因为当频率超过2, 500 周时, 电流透入深度小于1.5 公厘。未载流的金属体仅将自“有效层”中辐射出的热传递出去, 有效层的厚度约等于电流的透入深度。

由于在圆柱形零件外表面加热的情况下有作用一致的环效应和邻近效应, 所以有效层是在感应器内表面的一面。

計算和实验証明, 要得到应有的热容量, 感应导线内壁的厚度应比所需的淬火层深度大数倍:

$$\tau_1 \approx (2.5 \sim 4) x_k, \quad (7)$$

式中: τ_1 ——感应导线内壁的厚度; x_k ——淬火层深度^①。

淬火深度大于5 公厘时, 采用公式(7) 中的下限, 而淬火深度小时则采用上限。

淬火用的水多半是经过感应器有效部分的孔而供给的, 所以在对着加热表面部分的感应导线上, 应钻一些成交叉状的孔, 其直径为1.5~2 公厘, 孔与孔中心間相距约为7~12 公厘, 经过焊在感应导线外部的水槽来供水。

此水在断开电流后通常是用来冷却感应导线的。

感应器的所有主要部分, 特别是导电部分, 是用难熔焊料钎焊起来的, 最常用的是黄铜和银。采用锡焊是不适宜的, 因为锡

① 所谓淬火层深度是指含有50% 以上的马氏体区域。

焊机械强度既低，而接触电阻又大，所以在钎焊导电部分时应特别注意这一点。

淬火不轉动的零件时，則在冷水噴到的地方就呈现出微小的裂紋^①，这种裂紋經精磨后即被消除。可是在某些情况下不能精磨，因此就不容許有裂紋。为了避免产生裂紋，可使水流均匀地来冷却所有表面。为此，沿着感应器內表面上的每排孔焊上擋板（图 4），用来分散地噴洒水流。

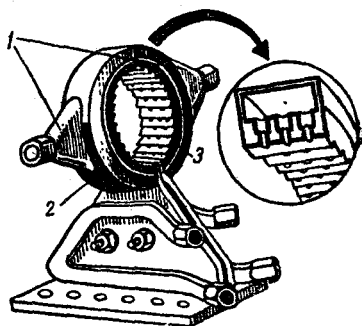


图 4. 圆柱形零件同时淬火感应器，具有噴射淬火用水的裝置。

感应器有了这样的結構，淬火表面上就不会产生裂紋了。如果零件的尺寸不大，而且間隙为 2~3 公厘，那么仍要使用上述擋板是很困难的。在这种情况下，只好用銑的方法来制成擋板，因而它所占的地位相当小。

必須指出，在粗的感应导綫上鉗小直徑的孔最困难，所以需要特别注意，因为这很容易使小鉗头折断。因此，常把孔壁作成阶梯形，靠近水槽那面的孔大部分都由直徑为 3~3.5 公厘的鉗头鉗成，而对着零件加热表面的、厚度为 3~4 公厘的其余部分則用直徑为 1.5~2 公厘的鉗头来鉗。

應該在大的压力下均匀地供給冷却被加热零件表面的水。

① 參看 E. II. 叶凡古洛娃著“表面淬火質量檢驗”，本叢書第 5 册。

因此,在实用上选择水槽的高度时,要使它的内截面不小于所有孔的总面积。水是由二、三处大口徑的管子輸到水槽中去的,水管的总截面应比所有出水孔的总面积大1~2倍。

感应器由厚为2~3公厘的銅汇流板鑄成。汇流板是梯形的。在靠近連接淬火变压器的接綫座处的汇流板的寬度为100~200公厘,一般是185公厘。来回两汇流板之間的距离为2~3公厘。这个距离不应增大,因为这样会增加电抗。选择汇流板(有时称为頰板)的長度时应考虑到其制造結構,应尽可能选用最短的。汇流板焊在連接变压器的接綫座上。汇流板是一直用水冷却的,故在其上焊有水管,水就沿着此管流动。

水管的位置应使整个汇流板能够均匀地冷却,例如,不应把水管焊在汇流板的边缘上,因为这样会使中部冷却不好。为使汇流板具有一定的强度,用黃銅螺栓把汇流板固定住,黃銅螺栓和汇流板均用由云母片或夾布膠木做成的襯套和墊圈来絕緣。

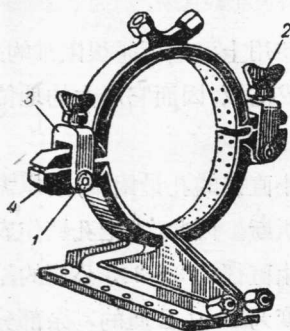


图 5. 可卸式同时淬火感应器
(用手夾緊螺釘夾子)。

1—与感应器絕緣的夾子軸; 2—夾緊接觸点的頂緊螺釘; 3—馬蹄形夾子; 4—接触面。

在两汇流板之間放上云母片来絕緣。

在許多情況下,形狀很复杂的零件,只有个别部分需淬火时,例如,汽車发动机的曲軸,这时感应器就不得不做成可卸式的,以便把感应器套在軸頸上。

最簡單的可卸式感应器象不可卸式的一样,是用很厚的汇流板做成的,其上焊有水槽。并且在某些感应器中,特别是在自动淬火机上的,一半作成分离式的半环狀,另一

半由两部分組成，分別連接到變壓器上。感應器的兩個半部是用大的接觸片來連接的，在非自動化手工淬火時，或用有頂緊螺釘的黃銅夾子夾緊（圖 5），或者更方便些用扳杆來壓緊（圖 6）。

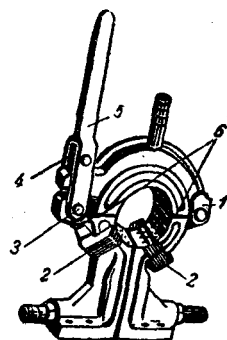


圖 6. 可卸式同時淬火感應器（具有扳杆夾子和能使零件在導電處加熱均勻的磁路）。

1—感應器上半部與下半部絕緣的軸； 2—導磁體； 3—用夾布膠木管與感應器絕緣的扳杆軸； 4—壓緊滑輪； 5—壓緊扳杆； 6—接觸面。

為使感應器的二個半部易于裝到需要的位置上，在感應器的接觸面上裝有一種導向螺栓，該螺栓插入相應的孔內。接觸面不與整個分離面相接觸。要使整個表面接觸是相當困難的，同時也不会有很多好處，因為趨膚效應使電流僅在感應器內表面通過。當接觸面大時，則壓緊時所需的總壓力也要大，所以實際在窄面上（但必須在感應器的整個寬度上）保證可靠的接觸較為恰當（圖 7）。假如感應器兩端接觸不佳是很不好的，此

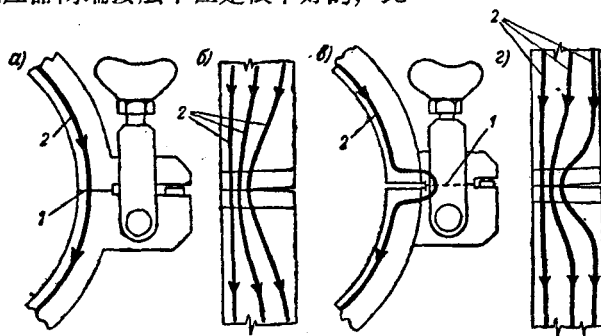


圖 7. 感應器接觸點的結構。

a—感應器內表面接觸點與接觸部分的橫截面； b—接觸不良的電路由； c 及 z—接觸時里面離開的電路由。 1—接觸點處； 2—電路由。

时电流仅沿着感应器宽度部分流过。由于邻近效应的緣故，加热区也变得狭窄了，其形状大致和电流通过感应导线部分的形状一样。

最好把感应器的閉合可卸半部的接触面作成凸形，凸出部分的宽度应是6~8公厘，其高度为0.5~1公厘，同时凸出部分

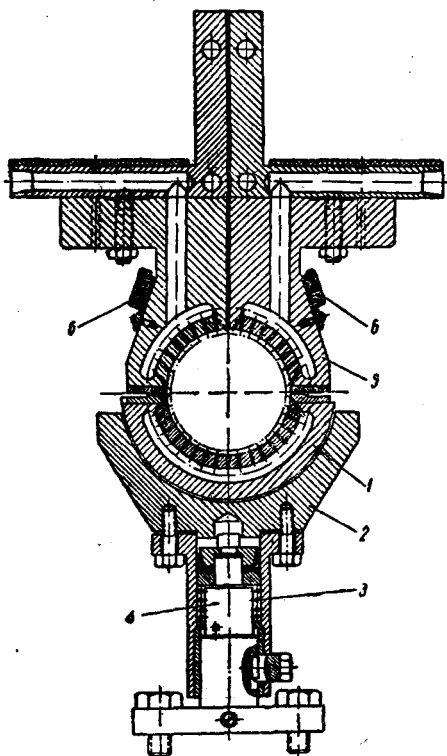


图 8. 具有液压传动部分的可卸式感应器(自动淬火机淬火形状复杂零件所用)。

1—閉合的下半部；2—支座；3—开启彈簧；4—油缸；5—由二部分組成的感应器的上半部；6—导磁体。

应与感应器內表面相距8~12公厘。在这种情况下，当电流通过接触点之前的縫壁时，电流在感应导线的宽度上分布的不均匀就会有某些改善。在感应器的圓柱形內表面上的电流將几乎沿感应导线的整个宽度均匀地分布。

由于在工作过程中銅接触点会氧化，故在实际工作中將接触点鍍銀或者裝上焊有銀的金属片。

自动淬火机上用的可卸式感应器还要复杂(图8)，做得很粗大，可卸部分的移动是用液压或气压来