

高頻热处理丛书

第 6 册

淬 火 感 应 器

[苏联] A. E. 斯魯霍茨基 著

— 唐 譯

內 容 提 要

本丛书原版第一版于1954年出版，曾由本社翻譯出版。1957年原书有了第二版，內容有相当大的修改，若干册书名亦有更改，为此根据新版本重譯重排，陸續出版。

本书为高频热处理丛书的第6册，讲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。

第二版中，根据需要补充了某些感应器的結構，以及有关制造感应器的資料。

本书可供工业部門中从事高频感应加热工作的有关人员参考。

高频热处理丛书

第 6 册

淬 火 感 应 器

ЗАКАЛЮЧНЫЕ ИНДУКТОРЫ

原 著 者 [苏联] А. Е. Слухоцкий

原出版者 Машгиз · 1957年第二版

譯 者 一 唐

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可证出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷三厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 130/32 字數 41,000

1962年2月第1版 1962年2月第1次印刷

印數 1-15,000

統一書号： 15119·1648

定 价：(十二) 0.24 元

原 序

在工业企业部門中，由于广泛应用感应加热进行各种热处理，所以需要有一些简单的方法来設計专用的高頻器械。

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的物体內。

为了設計和选择其他的高頻器械，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，要精确地計算这些数值是有困难的，因为鋼的电阻系数，特别是鋼的导磁率都与溫度有关。但是在表面淬火装置中，通常只計算感应器的平均参数（在加热時間內）就行了。

在这种情况下，很容易将感应器的計算数据归納成图表的形式。

上述感应器的概算方法已由 B. П. 沃洛格金教授命名的高頻电流科学研究所的實踐所驗證。

本书由于篇幅有限，所以仅討論淬火感应器的主要設計原理，并举出一些制造感应器的实例。

在本书的第二版中，根据所提出的要求，补充了某些感应器的結構，以及有关制造感应器的資料。

作 者

目 录

原 序

緒 論..... 1

第一章 圓柱形外表面淬火用感应器..... 2

1. 概述..... 2

2. 声頻淬火感应器..... 8

3. 射頻淬火感应器..... 17

4. 带固装零件夹具的感应器..... 18

5. 圓柱形感应器的近似計算..... 20

第二章 圓柱形內表面和平面淬火用感应器..... 30

6. 內表面淬火用感应器..... 30

7. 平面淬火用感应器..... 37

第三章 复杂形状表面淬火用感应器的主要类型..... 47

8. 旋轉体淬火用感应器..... 47

9. 端面淬火用感应器..... 49

10. 大模数齿輪淬火用感应器..... 50

11. 电磁屏蔽..... 51

第四章 制造感应器的一些資料..... 52

12. 載流部分的制造..... 52

13. 导磁体的制造..... 56

緒 論

金属制件的感应加热是用一种专门装置——感应器进行的。用铜条或铜管弯成的环形圈是感应器的一种最简单形式。当交流电通过感应器时，在它的导体周围便产生磁场，磁场强度的大小和方向是周期地发生变化的。

磁场强度，也就是磁通密度（即磁感应强度），在感应器内部靠近导体处最大。

如果将金属制的圆柱体放于感应器内，则通过该圆柱体的交变磁通将在圆柱体内引起感应电流。由于邻近效应，感应电流将聚集在感应器导体的附近，其电路是环形的。电流的频率愈高，则有电流通过的圆柱体表面层也愈薄，也就是说，趋肤效应表现得也愈显著^①。

圆柱体表面层的感应电流使圆柱体发热，而表面的温度和加热深度同输入至感应器的功率、电流的频率和加热时间有关。

另一方面，加热区的宽度、形状及表面加热的均匀度则与感应器的形状有关。

因此，利用感应器可使电磁能（从而析出的热也一样）集中在指定的区域内。感应电流聚集在一个宽度接近于感应器宽度的区域内。因此，加热区的宽度与感应器的宽度相差也很小。

以高频感应电流加热金属表面的方法，可用于钢件的表

^① 参看 H. П. 格魯哈諾夫著“高频加热的物理基础”，本丛书第2册。

面淬火。

实际工作中所遇到的零件有各种各样的形状，而且多半是很复杂的。所以，感应器有时也变得复杂化。但是在设计感应器时必须遵循的基本原则是相同的。

淬火感应器的样式极其繁多，在本书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可能遇到在本书中没有具体讨论到的一些问题。但是，即使最复杂的感应器也不外乎是由上述型式的感应器组合而成的。

第一章 圆柱形外表面淬火用感应器

1. 概 述

任何一种感应器都由下列各主要部分组成：

- (1) 产生磁场的施感导体，它使被加热零件中发生感应电流；
- (2) 输电汇流板；
- (3) 连接感应器与降压变压器①的接线座；
- (4) 冷却感应器和淬火被加热零件的输水装置（从图1可以看出，在施感导体的内部有一些小孔，淬火用水即通过这

① 参看 B. B. 沃洛格金著“高频加热用变压器”，本丛书第7册。

些小孔噴射到被淬火的零件上)。

施感导体是感应器的主要部分，它的結構在頗大程度上决定淬火的效果。其余部分是輔助性质的，一般設計并不困难。

关于施感导体的結構将介紹得最为詳細。

上面所列举的各种感应器可分为两类：(1)声頻淬火感应器；(2)射頻淬火感应器。

这两类感应器在原理上并没有什么区别；可是在結構上常不一样。这是由于在射頻时感应器是在单位功率較小，特别是电流較小的情况下工作的，因为功率相同时，感应器上的电压比在声頻下工作时的电压要高得多。

因此，第二类感应器照例应做得小些。它們比第一类感应器小，还由于在射頻时电流对所有載流部分的机械作用大大减弱。特別在采用可卸式感应器时这一点特別重要，因为在通过感应器的电流影响下所产生的力会使感应器固定部分与可卸部分断开。

第一和第二类感应器的区别在于汇流板和接綫座的結構，即由于声頻时和射頻时采用的降压变压器引出端的結構不同而有差异。应当指出，这种区别在頗大程度上具有偶然性质。

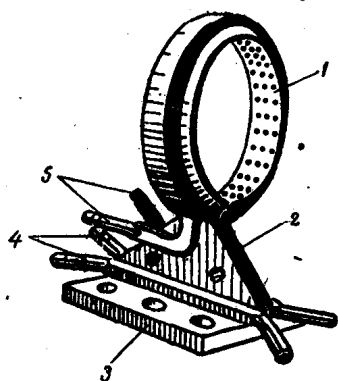


图 1 圆柱形零件用同时加热法淬火的感应器

1—产生交变磁場的施感导体； 2—輸电汇流板； 3—連接感应器与降压变压器的接綫座； 4—冷却接綫座的輸水管； 5—冷却感应器和零件加热表面的輸水管

用声頻时，降压变压器二次繞組接綫座的結構要采用粗实的銅条，在銅条的接触表面插入直径 10~12 毫米的黃銅銷。感应器的接綫座要做得厚实些（其厚度为 8~12 毫米），其上还钻有孔，以便插入銷子来固定感应器。

在射頻时，多半用特殊夹子将感应器接到变压器上，夹子的连接部分做成相当薄的平条式。

A3-43、A3-46 (图 2, a)、JIT-60 (图 2, б) 型电子管振荡器和其他类似的装置都采用这种夹子，但結構上有某些区别。

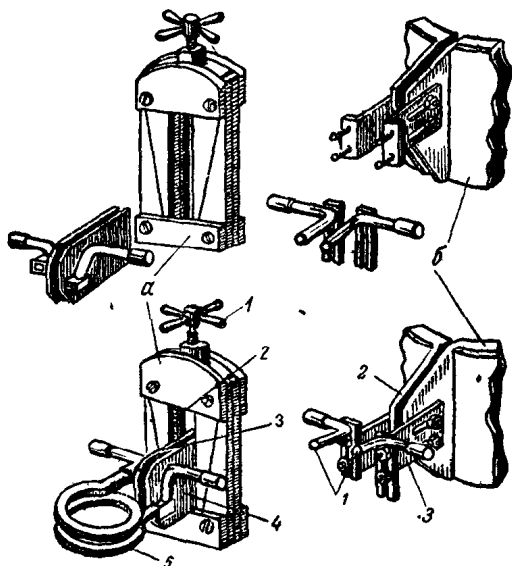


图 2 輸电汇流板和连接感应器与电子管振荡器的变压器所用夹子的結構

a-A3-43 和 A3-46 型振荡器：1—夹紧装置的柄；
2—夹紧变压器的夹子；3—絕緣衬垫；4—輸电汇流板；5—施感导体。

б-JIT-60 型振荡器：1—感应器的輸电汇流板；
2—变压器的引出端；3—变压器的中间接触板

在射頻時由於感應器中的電流值比在聲頻時的電流值要小得多，所以在這種情況下採用夾子是很方便的。

聲頻淬火用的感應器，如果作有適合於射頻感應器的接線座，那麼在必要時也可以很容易地用於射頻淬火。

除以上所述，聲頻和射頻感應器在製造上尚有一些其他的區別。為此，應分別地對每一類感應器的特點作更詳盡的研究。

在設計感應器時，最主要的是選擇施感導體的寬度及其內工作面同被加熱制件表面之間的間隙。

當採用同時加熱法時，施感導體的寬度是由所需淬火層的寬度決定的。這時可能有兩種情況：(1)對長零件表面上的某一段進行淬火；(2)對零件的整個側面進行淬火。

在第一种情況下，淬火區的寬度決定於感應電流在零件表面上的分布和熱量沿軸向的散失程度。一般來說，同時加熱的感應器具有較大的寬度，這個寬度要超過零件表面與施感導體之間的間隙值的若干倍。

在這種條件下，感應電流集中在寬度接近於感應器寬度的淬火區內。淬火區的寬度一般較感應器的寬度小10~20%，這一點在選擇施感導體的寬度時必須注意。

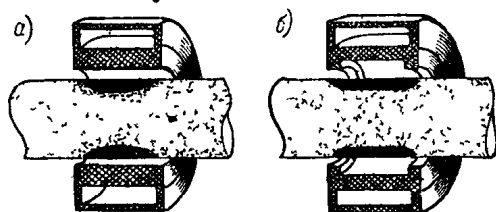


圖 3 用狹的感應器加熱零件時的情形
a—通常結構的感應器； b—帶槽的感應器，該槽用於使加熱層厚度均等

假如感应器的宽度小于間隙的 10 倍,則纵剖面上的淬火层将成月牙形(图 3)。为了避免这种現象,間隙应作成不均等,即中部大些而两端小些;使感应器的中部形成深 2~3 毫米的环形槽即能达到此目的。

为了达到上述目的,在使用多圈感应器时,可以把靠近两端处的圈距縮短。这样会在感应器两端引起磁場强度的增加,并且使感应电流的密度增大。这时,淬硬层就比较均匀。如果施感导体的宽度大于間隙的 10 倍,則不改变間隙也能得到均匀的淬硬层。

零件的全长淬火时,施感导体的宽度应等于零件的长度。这样,整个侧面都能均匀地加热,而无明显过热,并且淬硬层的深度也几乎不变。

用連續循序法加热較长的零件时,施感导体的宽度应由振盪器的功率或规定的生产率①来确定。

施感导体愈寬和零件相对感应器的移动速度愈小,則通过施感导体的零件上每一表面单元的加热時間亦愈长。

因此,可求得表面单元加热的时间,这与同时加热法时的加热時間相似:

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

式中 t'_k ——表面单元上的加热時間(秒);
 a ——施感导体的宽度(厘米);
 v ——移动速度(厘米/秒)。

处于感应器之下的零件表面上的单位功率:

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

① 参看 A. Д. 杰米切夫和 C. B. 沙施金著“高频淬火”,本丛书第 3 册。

式中 P_T ——零件表面上的总功率(千瓦);

D_2 ——零件的直径(厘米);

a ——施感导体的宽度(厘米)。

在给定振荡器的功率时, 确定施感导体最大宽度的公式如下:

$$a = \frac{P_T}{\pi D_2 \rho_0} \text{ (厘米)}$$

或者以振荡器的功率来表示零件上的功率,

$$a = \eta_u \eta_{mp} \frac{P_z}{\pi D_2 \rho_0} \text{ (厘米)}, \quad (3)$$

式中 P_z ——振荡器的功率(千瓦);

η_u ——感应器的效率;

η_{mp} ——淬火降压变压器的效率。

平均取 $\eta_u \approx \eta_{mp} \approx 0.8$ 。此时, 感应器的宽度为:

$$a = 0.64 \frac{P_z}{\pi D_2 \rho_0} \text{ (厘米)}$$

或
$$a \approx 0.2 \frac{P_z}{D_2 \rho_0} \text{ (厘米)}. \quad (4)$$

与淬硬层厚度、直径和频率有关的加热时间和单位功率的近似值可按相应的曲线(图 15、16、17)求得, 这些曲线是根据理论计算的数据作出的, 并用实验方法验证过。

应当指出, 零件相对感应器移动的速度不应小于规定的速度, 不然会降低淬硬层的质量, 因为, 从加热结束至冷却开始间的间隔时间过长, 使奥氏体发生局部的分解。碳素钢①的这种现象尤为显著; 为此, 移动速度不应低于 0.5 毫米/秒。

若规定了生产率, 则移动速度便可确定。因为, 在给定的

① 参看 Г. Ф. 高乐温著“高频加热淬火制件的組織与性能”, 本丛书第 4 册。

淬硬层深度下加热时间是已知值，所以感应器的宽度可按式求出：

$$a = v t'_K \quad (5)$$

此时根据公式(4)可知所需的振荡器功率为

$$P_s \approx 5a D_2 \rho_0 \text{ (千瓦)} \quad (6)$$

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，加热时间一般以秒做单位。因此，常常可以制造一种在加热过程中不冷却施感导体的感应器。在这种情况下，为了防止施感导体过热和烧坏，可把它制得厚实些。但是增加施感导体的厚度并不能减小电阻和降低损耗，因为当频率超过 2500 赫芝时，电流透入深度小于 1.5 毫米。未载流的金属基体仅将自“有效层”中析出的热传递出去，有效层的厚度约等于电流的透入深度。

由于在加热圆柱形零件外表面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。

计算和实验证明，为保证达到应有的散热程度，施感导体的厚度应比所需的淬硬层深度大数倍：

$$\tau_1 \approx (2.5 \sim 4) x_K \quad (7)$$

式中 τ_1 ——施感导体内壁的厚度；

x_K ——淬硬层深度①。

淬火深度大于 5 毫米时，采用公式(7)中的下限，而淬火深度较小时则采用上限。

淬火用水多半是经过感应器有效部分的孔供给的。为此，

① 所谓淬硬层深度是指含马氏体超过 50% 的区域。

在对着加热表面的施感导体的壁上, 钻有一些交叉排列的孔, 其直径为 1.5~2 毫米, 孔与孔的中心相距约 7~12 毫米。水是由通过焊在施感导体外面的水槽供给。

此水在断开电流后, 通过施感导体上的孔, 流在已加热零件的表面上; 同时又使感应器本身得到冷却, 为下一加热循环作好准备。

感应器的所有重要部分, 特别是载流部分, 是用难熔焊料钎焊起来的。最常用的焊料是黄铜和银。采用锡焊是不适宜的, 因为锡的熔点低, 焊缝的机械强度又小, 而接触电阻很大, 所以在钎焊载流部分时应特别注意这一点。

当不转动的零件淬火时, 则在表面上冷水喷到的地方就出现显微裂纹^①。这种裂纹经精磨后即被消除。可是在某些情况下不能精磨, 因此就不容许有裂纹。为了避免产生裂纹, 可将水流喷成雾状以均匀地冷却整个表面。为此, 沿着感应器内表面上的每排孔焊上挡板, 用来分散和喷洒水流。

感应器有了这样的结构, 淬火表面上就不会产生裂纹。如果零件的尺寸不大, 而且间隙为 2~3 毫米, 那么使用上述挡板是很困难的。在这种情况下, 只好用铣的方法来制成挡板, 所占的地

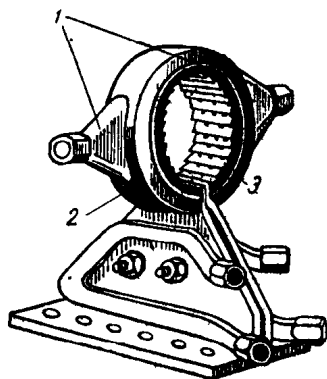


图 4 圆柱形零件同时淬火用感应器, 其上带有喷射淬火用水的装置

1—使淬火用水均匀散布的漏斗;
2—淬火用水的水槽; 3—施感导体, 其上有喷射淬火用水的小孔和雾化淬火用水的挡板

^① 参看 E. П. 叶凡古洛娃著“表面淬火的质量检验”, 本书第 5 册。

位相当小(图 4)。

如果把喷射淬火用水的小孔作成圆锥形,或简单地作成阶梯形,水流便成股地分散着、相互复盖着喷到冷却表面上,从而也就避免了裂纹的产生。在这种情况下,排水孔的直径为 3~3.5 毫米。

这一方法的缺点是缩小了施感导体的有效截面积,因而使电阻增大。

冷却水应该在大的压力下均匀地喷至被加热零件的表面。因此,选择水槽的高度时,要使它的内截面不小于全部小孔的总面积。水是由喇叭口管子从二、三处通入水槽中去的,水管的总截面应比所有喷水孔的总面积大 1~2 倍。

感应器由厚 2~3 毫米的铜汇流板供电。汇流板是梯形的。在靠近连接淬火变压器的接线座处,汇流板的宽度等于变压器二次绕组引出端的高度,即为 100~200 毫米,而一般多为 185 毫米。汇流板之间的距离为 2~3 毫米。这个距离不应增大,因为这样会增加汇流板的电感。选择汇流板(有时称为颊板)的长度时应考虑其制造结构,尽可能选用最短的。汇流板通常用水冷却,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得到均匀地冷却。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。

为使感应器具有一定的强度,用黄铜螺栓把汇流板固紧。黄铜螺栓用云母片或夹布胶木做成的衬套和垫圈与汇流板绝缘。在两汇流板之间放上云母垫片作绝缘。汇流板焊在连接变压器的接线座上。

在许多情况下,只有个别部分需淬火的零件具有很复杂的形状,例如汽车发动机的曲轴。这时感应器就需做成可卸

式的，以便把感应器套在軸頸上。

最簡單的可卸式感应器和不可卸式的一样，是用相当厚的汇流板做成的，其上焊有水槽。并且在某些感应器中（特别是自动淬火机上的），一半作半环状，可以分离，另一半由两部分組成，分別接到变压器上。感应器的两个半部用厚的接触片連接。在非自动化手工淬火时，或用有頂紧螺絲的黃銅夹子夹紧(图 5)，或用扳杆压紧(图 6)。后一种方法更方便些。

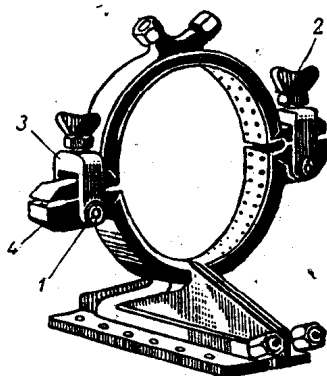


图 5 同时淬火用的可卸式感应器(用手旋紧螺絲夹子)

1—与感应器絕緣的弓形夹上的軸；
2—夹紧接触点的頂紧螺絲； 3—弓形夹； 4—接触面

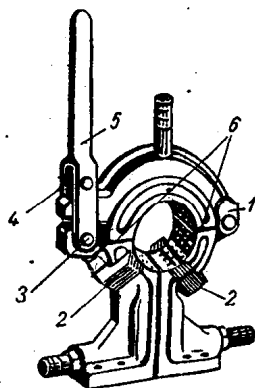


图 6 同时淬火用的可卸式感应器（帶有扳杆夹子和能使零件在导电处加热均匀的磁路）

1—与下半部絕緣的感应器上半部的铰接軸； 2—导磁体；
3—用夹布胶木管与感应器絕緣的扳杆軸； 4—压紧滑輪；
5—压紧扳杆； 6—接触面

为使感应器的二个半部易于装在需要的位置上，在感应器的接触面上装有导向螺栓，將該螺栓插入相应的孔內。接触面可以不是整个分离面。要使整个表面接触是非常困难的，同时也不会有多大的好处，因为趋肤效应使电流仅在感应

器的内表面上通过。当接触面很大时，则压紧时所需的总压力（总压力决定于所需压强的大小）也要很大，所以实际上以在窄面上保证可靠的接触较为有利，但必须保证在感应器的整个宽度上有可靠的接触（图7）。感应器的边上接触不佳是很不好的。此时电流仅沿着感应器的部分宽度通过。由于邻近效应，加热区也变得狭窄了，其形状大致和通过电流的施感导体部分的形状一样。

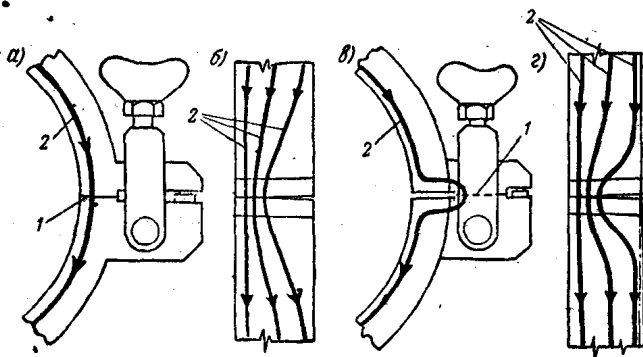


图7 感应器接触点的结构

a—感应器内表面接触点与接触部分的横剖面；
b—接触不良处的电流通路； c和d—接触时
与内表面离开的电流通路
1—接触处； 2—电流通路

最好把感应器的闭合可卸半部的接触面作成凸形。凸出部分的宽度应为6~8毫米，高度为0.5~1毫米，同时凸出部分应与感应器的内表面相距8~12毫米。在这种情况下，当电流通过接触点前面的缝壁时，电流沿施感导体宽度上分布的不均匀性就会有某些改善。在感应器的圆柱形内表面上，电流将几乎沿施感导体的整个宽度均匀地分布。

由于在工作过程中铜接触点会氧化，故在实际工作中将

接触点鍍銀或焊上銀箔。

自动淬火机上用的可卸式感应器还要复杂(图8),而且做得很厚实。可卸部分靠液压或气压装置移动。当供油时,感应器的下半部压向上半部,同时弹簧3就紧縮。当放油时

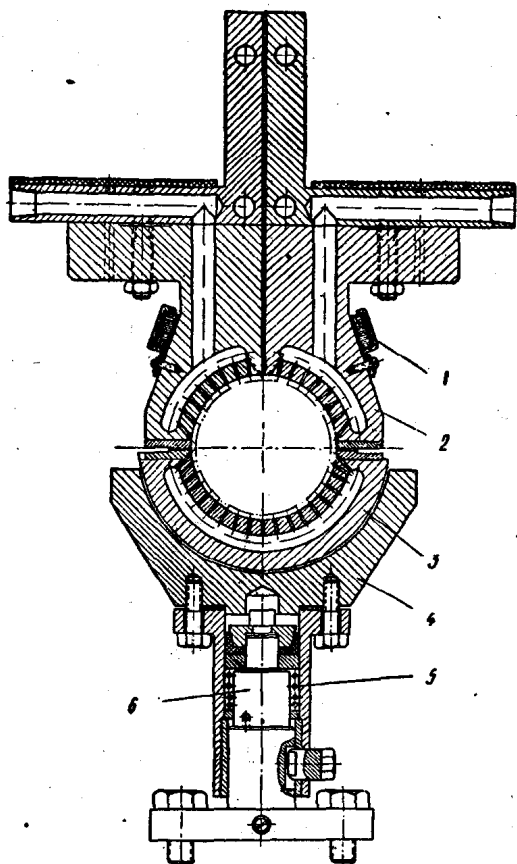


图8 自动淬火机上供形状复杂零件淬火用的带液压傳动的可卸式感应器

1—导磁体; 2—感应器的上半部; 3—闭合的下半部;
4—支座; 5—切断弹簧; 6—油缸