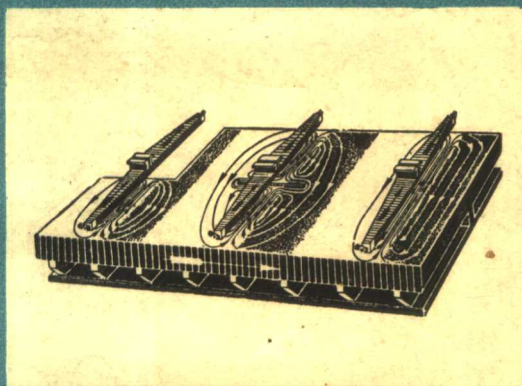




第 3 册

高 頻 淬 火

[苏联] A.Д.杰米切夫 C.B.沙施金 著



上海科学技术出版社



——

大 作 家 選 集

（一）



上海書店出版社

高频热处理丛书

第 3 册

高 频 淬 火

[苏联] A. Д. 杰米切夫 著
C. B. 沙施金

小 冰 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书原版第一版于1954年出版,曾由本社翻譯出版。1957年原书有了第二版,内容有相当大的修改,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三册,概念性地介绍了钢铁制件用感应加热法作表面淬火时的高频装置;較詳尽地阐述了加热用的交流电频率的选择問題及各种表面淬火的工艺实例。

高频热处理丛书

第 3 册

高 频 淬 火

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАКАЛКА

原 著 者 (苏联) А. Д. Демишев
С. В. Пашкин

原出版者 Машгиз·1957年第二版

譯 者 小 冰

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許可証出083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 印张 2 1/2 字数 44,000

1962年6月第1版 1962年6月第1次印刷

印数 1—3,000

統一书号: 15119·1668

定 价: (十二) 0.26 元

原 序

高频淬火是苏联在钢的热处理技术方面的最重大成就。近二十年来，由于科学和生产中先进代表人物的创造性的合作以及电工和热处理工、工艺师和设计师们的共同努力，高频淬火得到了广泛的发展。

目前，在苏联许多大型机器制造厂内都有高频热处理车间，来进行数十乃至数百种重要零件的表面淬火。这些零件一昼夜的总产量达数十万件。

高频淬火法之所以得到广泛采用，乃因它是对大量生产的钢件进行表面强化的方法，满足了苏联年复一年工业发展的迫切要求。

由于这种方法在工业中应用的结果，不仅显著地提高了热处理的生产率，而且根本地改善了劳动条件。这样，为热处理过程的自动化创造了广泛的可能性，因而就能够把热处理过程纳入流水作业线甚至自动作业线。

在苏联，为更广泛地推广这一先进方法建立了一切先决条件：电气工业制造了为配备高频淬火装置所必需的主要设备；国家培养出熟练的技术干部；建立了专门的以 B. П. 沃洛格金教授命名的高频电流科学研究所，来研究各种材料用于不同目的时的高频加热法；在很多工厂和研究所内都设立了专门的实验室。

高频淬火法的可能用途还远未被全部揭露出来。每年都有新型的設備、自动控制系统和新的工艺过程设计制订出来。

高频淬火与其他形式的高频电流加热一样，愈来愈引起

生产者的兴趣。更进一步掌握这一方法是在工业中有效地使用它的最重要条件之一；进一步掌握这一方法，能够帮助我们消除在实践中还常常遇到的不正确和无成效地使用高频淬火的情况。

目 录

原 序

第一章 淬火装置	1
第二章 电流频率的选择	5
第三章 高频淬火的工艺	17
1. 同时淬火法	17
2. 循序連續淬火法	35
3. 用两种频率加热形状复杂零件的淬火法	53
参考文献	60

第一章 淬火装置

高频淬火就是利用感应法在需要加热的金属体积内激发出高频交流电，来加热零件的一种表面淬火法。

将淬火钢制的零件迅速地加热至规定深度，随后使其表面冷却，零件的表面便可获得高的硬度，而中心部分仍保持原来的韧性。

感应法不同于电热接触法，它不需要任何与零件加热表面接触的馈电线，这样就有可能在加热时保持高的精确性。

交流电的电能是利用透入零件内的加热器—感应器施感导体的磁通传至零件上的(图1)①。

所以要根据选择频率的理论基础和成批生产发生器的频率波段来采用这种或那种频率的交流电，是因为频率的高低决定着零件迅速透热层的深度和加热器的效率。

有时为了将形状复杂的表面，例如中等模数的齿轮，淬硬至相同的深度，必须同时用声频和射频电流进行加热。

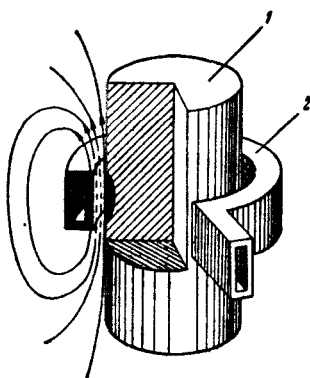


图1 感应加热器示意图
1—要加热的零件；2—感应器的施感导体；图上箭头所指的是磁通方向；涂黑了的截面部分表示感应器和零件截面上的电流分布

① 参看 H. II. 格魯哈諾夫著的《高频加热的物理基础》，本丛书第2册。

工业上用来对各种零件的磨損表面进行淬火的許多装置,都是根据图 1 所示的加热器的原理設計的。例如,內燃机曲軸的軸頸、凸輪、齿輪、凸輪軸的軸頸以及气缸衬套的內表面的淬火等等都是。

加热所需的能量是由高频发电机沿着电纜和母綫經過降压变压器(淬火变压器)傳至感应器上的。加热电流是靠自动控制綫路接通和断开的。

淬火液在几个大气压的压力和一定的溫度之下进入感应器的噴射装置內。淬火液是通过一些自动控制的电动开关进入感应器的噴液槽的。感应器、变压器、发生器、电容器以及在工作过程中有热量析出的其他仪表設備由冷却系統中的水进行冷却。淬火液和冷却水带走了几乎发生器所发出的全部能量。淬火装置的冷却是靠功率相当大的冷却系統来完成的。

图 2 是同时用声頻和射頻电流加热的齿輪淬火装置的示意图。从图上可以看出,除了自来水管和自动控制柜未表示出来外,整个装置包括:大功率的机械式发电机和电子管振荡器、淬火感应器、淬火机床、淬火变压器、电容器組和发生器的接触器(电容器組和发生器的接触器一般与淬火机床相連接)。

根据企业的需要,可以采用成套的淬火装置,也可以采用单独的淬火装置。苏联工业生产出带有功率 50、100、250 和 500 千瓦机械式发电机的成套 МГЗ 型淬火装置,以及带有功率 10、30、60、100 和 200 千瓦电子管振荡器的成套 ЛГЗ 型淬火装置。单独的淬火装置要和成批制造的发生器、电容器、变压器、測量仪表、自动仪表以及其他各种仪表配套。根据频率和功率选择淬火装置的类型时,要根据淬火的零件来决定。

零件上要进行高频淬火的部分,其表面积大小、形状和相对的位置是极其不同的。在淬硬层深度、淬硬层的边界和要

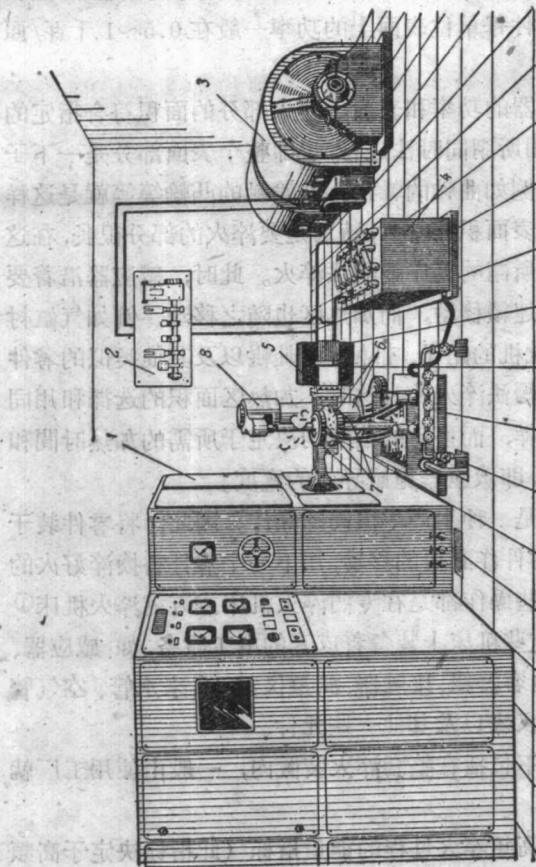


图 2 用两种频率的电流加热的齿輪淬火装置

1—JIT-3-200 电子管振荡器；2—高频接触器；3—BTO-500-2500 机械式发电机；
4—纸-油电容器；5—淬火变压器；6—感应器；7—要淬火的齿輪；8—淬火机床

求的生产率这些技术条件方面也可能各不相同。这些条件首先给出了加热时应该采用的合适的电流频率波段。此外，也大致地规定了加热的時間和加热所需的功率。在感应加热表面淬火时，零件每单位表面上的功率一般在0.5~1千瓦/厘米²范围内。

如果发生器的功率和表面上淬火部分的面积符合指定的条件，則淬火用所謂同时法进行，也即整个表面部分是一下子同时加热的。例如曲軸的軸頸、凸輪軸的凸輪等等就是这样淬火的。如果表面积非常大，特別是要淬火的部分很长，在这种情况下采用所謂的循序連續法淬火。此时，感应器沿着要淬火的表面作連續移动，而加热区也随之移动。例如气缸衬套、履带式拖拉机的銷子、帶槽軸、軋輥以及其他类似的零件就是用循序連續法淬火的。这时，加热区面积的选择和用同时法加热时一样，而移动的速度則决定于所需的加热時間和加热区的宽度，即感应器施感导体的宽度。

高频淬火是一种生产率很高的操作。因此，将零件装于淬火位置，使零件作必要的移动，用下一个零件替换淬好火的零件，所有这些操作都是在专门淬火机床或万能淬火机床^①上进行的；在这些机床上装备着成套的电工設備，如：感应器、淬火变压器、电容器組、接触器、測量仪器、自来水管、空气管道、油管、自动仪表以及其他一些元件。

淬火机床不包括在整套淬火装置內，一般由使用工厂就地制造。

为了改善高频淬火过程的能量指标（此指标决定于高频发生器的利用系数），所有的机械式发电机都是按频率的不同

① 参看 C. E. 雷斯金著的《淬火机床》，本丛书第11册。

分組連接起來的，而淬火機床則彼此聯鎖在中央供電系統上；這樣可以保證調整好的淬火機床自動地接通加熱，而不用人來操縱^①。

可見，現代的感應表面淬火裝置是一高生產率的、但很複雜的裝置。因此，在大量生產的條件下使用這種設備是最有成效的。

第二章 電流頻率的选择

選擇頻率是指確定在某些頻帶內的最合適的頻率。精確的規定頻率不是必要的，因為僅在頻率的改變比較大時，其影響才是顯著的。但是，最重要的是不要選錯頻率的波段，因為選擇 2500 赫的頻率或選擇射頻，淬火結果是顯著不同的。

頻率的選擇在頗大程度上決定着高頻淬火裝置的技術經濟指標；它也決定着質量指標，例如：淬火零件的機械性能，首先是疲勞強度；複雜形狀零件淬硬表層組織的均勻性；形成裂紋和碎裂的傾向性。

頻率的選擇是以研究感應加熱時所產生的電磁過程、熱過程、生產率 and 經濟問題，以及比較各種設備的特性等等作根據的。

在感應表面淬火法發展的最初幾年內，B. П. 沃洛格金和 Г. А. 拉佐列諾夫就已經對選擇頻率的問題作了理論上的研究並給予確切的實際介紹[1]、[10]。但是工廠中使用各種發生器的實踐表明，對頻率的選擇問題往往是不夠重視的，

① 參看 A. H. 沙莫夫著的《高頻加熱裝置的供電》本叢書第 10 冊。

因此我們現在就詳細地討論一下這個問題。

取一个电磁性完全均匀的厚实圆柱体，将其置于有相当强高频电流通过的感应器内。在圆柱体内感应的电流，受所谓表面效应的影响，所以沿截面的分布是不均匀的(图3)①。

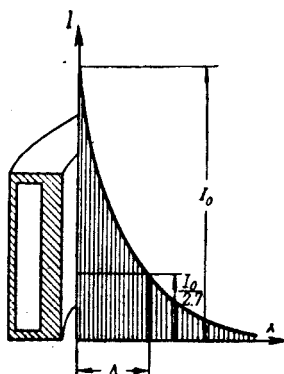


图3 电流密度沿被加热零件截面的分布

I_0 —表面上的电流密度;
 Δ —电流的等效透入深度

在靠近施感导体下面的圆柱体表层内，电流密度最大。愈往里，电流的密度就愈小，而最后在某一深度上我们将得到实际上没有电流的金属层。

电流密度沿深度的下降率可由电流的频率、圆柱体材料的导磁率和电阻率决定之。圆柱体的直径也可能是有意义的，但我们暂且假设其直径至少比电流的透入深度大到十倍，这就可以不去考虑表面曲率对电流透入深度的影响了。

电流密度值降低到相当于表面上电流密度值的 $1/2.7$ ② 的那个深度，假定叫做透入深度。采用了这一个量，使频率的选择有其共性，而且很清楚，计算时也特别方便。计算表明，在透入深度内析出的热能达到被加热零件全部热能的86.5%。

由频率和导体的参数决定的透入深度随温度的变化而改变。磁钢在由普通温度加热至淬火温度时，其透入深度增加到10~15倍③。因此要区别钢中的交流电“热”透入深度和“冷”

① 参看 H. П. 格雷哈诺夫的《高频加热的物理基础》，本丛书第2册。

② 更确切地说，是 $1/2.718$ (2.718 是自然对数的底)。

③ 更详细的说明请参看本丛书第2册，以及参考文献[3]、[4]。

透入深度。功率增大时，冷透入深度也增加。

图 4 上的曲线表示电流在不同金属内的透入深度与其频率之间的关系。

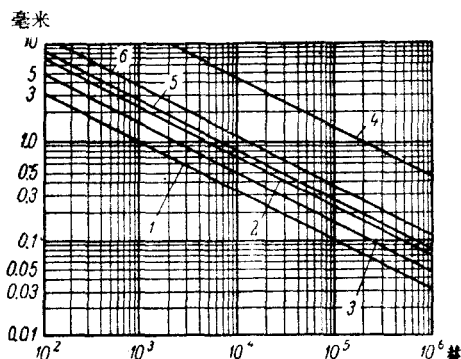


图 4 不同金属的等效透入深度与频率之间的关系曲线

1—鋼, $\mu=40$, 20°C ; 2—鋼, 15°C ; 3—鋼, $\mu=16$, 20°C ;
4—鋼, 840°C ; 5—鋁, 20°C ; 6—銅, 400°C

加热过程可按以下情况推测之：在最初阶段，鋼棒内析出的热量集中在冷透入深度层内。当供给发生器以足够的功率时，这一层的温度将迅速增高，以致只有很少一部分析出的热量传给金属的较深层。当鋼的表面层加热到磁性消失的温度时，电流透入深度就会增加，而在仍具有磁性的内层将有热能析出。待磁性消失后，第二层开始迅速地使第三层加热，这样一层层下去。

实际上，加热过程是连续的。在这种情况下，必须指出热的迅速传导是由鋼的电磁性的变化引起的，而鋼的导热性只起次要作用，这一点很重要。此时沿被加热零件的深度所得到的温度分布(图 5)，其特点是：在温度超过鋼的磁性转变温度的层内，降差较小；而在仍未失去磁性的内层，则急速下降。

随着加热层的厚度接近热透入深度，热的传导速度会缓慢下来。

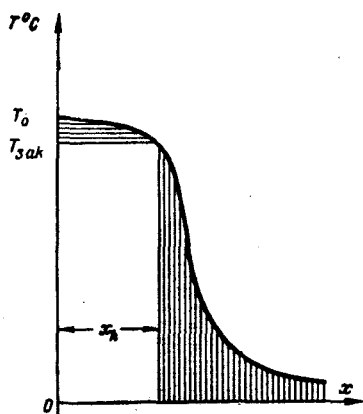


图5 温度沿零件被加热层深度的分布

x_k —淬火时的加热层深度； T_0 —表面的加热温度； T_{sak} —淬火温度

在热透入深度范围内，热的传导主要靠钢的导热性。以上所述对于迅速加热才是正确的，此时整个过程延续仅数秒钟，而用于加热单位表面的功率约为1千瓦/厘米²。当用小功率缓慢加热时，则所指的热传导特性由于导热性的影响，会表现得不明显。

从利用传给零件的热能的观点来看，如果加热时保证温度达到所谓的“矩形”分布，即表面没有过热，零件内部完全没有加热，而规定厚度的整个层则均匀地加热到淬火温度，那末，这就是表面淬火的理想加热。当然，这样的加热是不会实现的。首先，因为有导热性的缘故，热量一定会传到物体内部去；其次，有一部分热量会用于使略高于淬火温度的淬硬层外部的过热上。

在缓慢的加热过程中，电能的非生产消耗可能超过将规定层加热到淬火温度所需电能的4~5倍。此时，加热的热效率将不超过15~20%。

在迅速加热的情况下，当加热层的深度小于热透入深度时，温度的分布要有利得多，而热效率也将高到30~40%；这很重要，因为此时将使加热每单位重量淬火金属所消耗的电

能减少 $1/2$ 和更多。

根据以上所述，感应加热法的主要优点就很明显了，即：不用任何中间介质，而能恰在零件需要淬火的截面部分内产生热能。这一优点只有在电流频率符合于受零件工作条件所决定的淬火深度的情况下才能得到。

在大多数情况下，工作于磨损条件下的零件都要求淬火的深度不小于 $1.5 \sim 2$ 毫米。根据磨损程度考虑可能要重磨时，往往将淬硬层的深度规定得大些。对承受扭曲、冲压负荷等等的零件，淬硬层深度通常为 $4 \sim 5$ 毫米，而对于冷轧轧辊，则达 10 毫米和 10 毫米以上。某些零件的淬硬层深度应达数十毫米。对于承受变向负荷的零件，根据最大疲劳强度的条件，淬硬层的深度规定为零件直径的 10% 左右。

如果根据某种理由选择出的电流频率，使其与相应的热透入深度的数值比规定的淬硬层深度小很多，特别是在淬火装置由电子管振荡器供电下进行数毫米深度的淬火时，在这种情况下，得到的淬火结果可能是不良的。热量透过电流的热透入深度将是很慢的。热的传导只能依靠导热性，因此在加热速度很高时会使零件的表面层过热。

根据钢的牌号、加热时间及对淬硬层组织提出的要求，表面加热温度超过淬火温度 $20 \sim 50^\circ$ 是容许的，有时还超过多些。经验证明，在特别重要的情况下，超过的限度应在 $10 \sim 20^\circ$ 的范围以内。

为了在容许的表面过热下使得到的淬硬层深度大于热透入深度，应在小的单位功率及甚低的热效率下进行长时间的加热。此时，便相继地失去了正确进行感应加热的一切优点，而在质量方面就变得和盐槽加热或气焊枪火焰加热一样了。

在以较低的频率加热下，当规定的淬硬层深度小于热透

入深度时, 我們将在淬硬层的深度范围内得到高生产率的、迅速而又均匀的加热, 从而保证了高的淬火质量, 即沿淬硬层的整个深度得到滿意的組織, 高的热效率和制件中最小的热应力。

因而, 最好在保证得到的淬硬层深度小于电流热透入深度的规范下工作, 即

$$x_k < \Delta_{zop} \quad (1)$$

鋼的近似的熱透入深度可按下列式計算:

$$\Delta_{zop} \approx \frac{50}{\sqrt{f}} \text{ 厘米} \quad (2)$$

式中 f ——電流頻率(赫)。

由此可以得出限定頻率的容許增高範圍的實用公式 (即在此條件下可達到高生產率的優質加熱):

$$f_{\max} < \frac{2500}{x_k^2} \text{ (赫)} \quad (3)$$

式中 x_k ——規定的淬硬層深度(厘米)。

頻率降低的可能性是有限度的。隨着頻率的降低, 零件淬硬到規定深度就需要增加電源的功率。頻率降低的可能性還受着感應器工作可靠性的限制。在降低頻率時, 感應器內的電流增大, 故要求加強對感應器的銅的冷卻。實踐證明, 淬硬層的深度不應小於熱透入深度值的四分之一。在此種情況下, 由公式(2)可以求得容許頻率降低範圍的條件。當淬硬層的深度約為熱透入深度的二分之一時, 可達到最有利的條件。

由此可見, 最低的頻率為

$$f_{\min} > \frac{150}{x_k^2} \text{ (赫)} \quad (4)$$

$$\text{而最合適的頻率為 } f_{onm} \approx \frac{600}{x_k^2} \text{ (赫)} \quad (5)$$