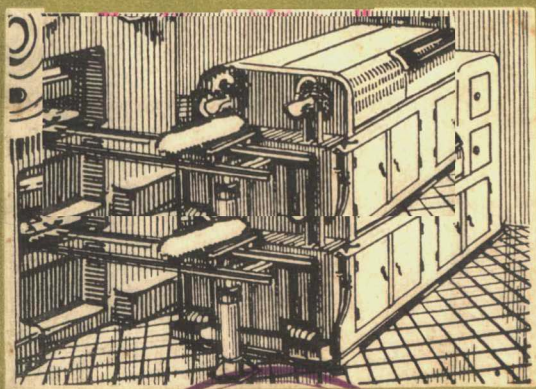


第 12 册

鍛造生產中的高频电流

〔苏联〕B. H. 包格达諾夫著



科学技術出版社

高頻热处理叢書

第 12 册

鍛造生产中的高頻电流

[苏联] B. H. 包格丹諾夫著

張映波譯

孙恩德校

內 容 提 要

这本小册子討論了在鍛造生产中利用高频电流感应加热金属的問題,叙述了金属的深透感应加热的原理,并列举加热裝置的結構、計算和供电系統。

这本小册子可供工业部門中从事高频电流加热工作的有关人員参考。

鍛造生产中的高频电流

ТОКИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

В КУЗНЕЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

原 著 者 [苏联] В. Н. Богданов

原出版者 Машгиз · 1954 年版

譯 者 張 映 波

*

科学技術出版社出版

(上海建國西路336弄1号)

上海市書刊出版營業許可証出 079 号

上海市印刷五厂印刷 新華書店上海发行所总經售

*

統一書号: 15119·459

开本 787×1092 紙 1/32 · 印張1 3/16 · 字數 24,000

1957年2月第1版

1957年2月第1次印刷 印數1—5,000

定价:(10) 0.19 元

原 序

在苏共第十九次党代表大会关于第五个五年计划的指示中,指出工艺规程的改进和生产过程的自动化是提高社会主义经济中工业生产水平的最重要因素。

在机器制造业中许多工艺过程都与金属的加热相联系,例如:零件的热处理、锻造和模压,金属的铸造、辗压等等。

目前在大多数的情况下,金属的加工与其加工前的加热相比较,已达到了较高的技术水平。这种差别在作为机器制造业重要组成部分的锻造生产中尤为明显。

“B. П. 沃洛格金教授”高频电流科学研究院在利用高频电流加热金属以改进锻造生产中的加热过程方面进行了一系列的研究工作。这些研究工作的结果便创立了苏联第一个巨大的锻工车间,在该车间中是以高频电流感应加热作为唯一的金属加热方法。

目 錄

原序

引言	1
1. 金属的感应加热	2
2. 不同形状的坯料的高频感应加热器	7
3. 感应加热式锻造辗压复合机组	16
4. 加热装置的感应器的计算	26
5. 用感应法加热金属的机器制造厂锻工车间	32

引 言

在鍛造生产中，鍛造和模压零件的机器已有了很大的改进：大量生产工业的自由鍛錘已被封閉式模鍛錘所代替；而这类鍛錘又將被平鍛机及机械压鍛机所取代，这类鍛机能达到高度精确的鍛造，并可开始向工艺过程的自动化过渡。但在这段时期內在鍛造前和模压前的坯料加热方法却很少改变。直到現在，在許多鍛造車間中仍然广泛使用着炭炉、重油炉和煤气炉。

坯料在火焰炉中进行加热的方法有許多缺点，其中主要的是：所費加热時間极多且加热不稳定；加热时生成大量的氧化皮；加热裝置龐大；工作困难。这些缺点便阻碍了鍛造生产的进一步发展和改进。

最近几年来开始用电流来加热金属，这是改进鍛造車間中加热裝置方面的一个重大进步。

接触电热法的利用，特别是金属感应加热法的利用，可以全面改进鍛造生产。感应加热的主要优点是热量直接在被加热金属的本身中产生，与在电阻炉中和火焰炉中热量由周圍介質傳导的情形不同。

在苏联第一个利用感应加热坯料的鍛工車間的生产中，証明了广泛利用高频电流的合理性：加热坯料的时间比在火焰炉中加热时縮短了 30~40 倍。金属加热时的高频电能單位消耗量为 0.4~0.6 瓩小时/公斤，从而保證了坯料的加热成本低于在火焰炉中和电阻炉中的加热成本。

随着我国发电量的扩大，鍛坯的高頻加热方法將在机器制造业中得到更广泛的应用。

1. 金属的感应加热

当电流通过导体时，在导体的周圍就产生一个磁場。倘通过导体的是交流电（即强度和方向时时改变的电流），磁場也随着电流同样不断地变化。

倘把一块金属放入交变磁場內，則在金属內便产生一个电动势，在电动势的作用下金属內有交流电流流动。金属內感生电流的变化情形与原来从电源送入导体內的电流的变化情形一样。在金属块內流动的电流引起金属块本身发热。

上述在交变磁場中加热金属的方法称为感应加热法，原来通入交流电的导体称为施感导体。

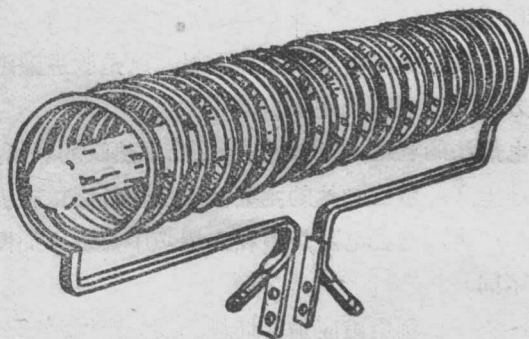


图 1. 坯料在感应器中的位置(感应器是用銅管繞成)

施感导体可以做成各种形状，最常見的是繞成螺旋形的多卷匝感应器。

在鍛工車間的感应加热裝置中最常用的是單层圓柱形螺綫

管感应器，加热的坯料就放在其中（图 1）。

在感应器内和在加热金属坯料内的交流电流不是沿整个截面流过，而仅仅是分布在表面一层。通过交流电流的表面层的厚度称为电流透入深度，可按下列公式求得：

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} \text{ 公尺}, \quad (1)$$

式中 $\omega = 2\pi f$, f ——电流频率，周； μ ——导磁率，亨利/公尺； γ ——材料的电导率，1/欧姆·公尺。

当钢料温度高于磁性变化点时，导磁率和电导率的值都将大大减少，因而电流透入深度急剧增大。因此可以区别为两种电流透入深度：冷钢透入深度（即温度低于磁性变化点时的深度），热钢透入深度（即温度高于磁性变化点时的深度）。

在设计感应加热装置时，必须参考两个电流透入深度值：当加热坯料时感应器铜体中的温度达到 40°C 时的电流透入深度，以及锻坯加热到锻造温度（1, 200°C ）时钢件内的电流透入深度。

这两个值的相应计算公式为：

$$\Delta_1 = \frac{7}{\sqrt{f}} \text{ 公分}, \quad (2)$$

$$\Delta_2 = \frac{60}{\sqrt{f}} \text{ 公分}. \quad (3)$$

为了使感应加热既有效而在经济上又合算，必须尽可能提高加热装置的总效率。在金属的深透感应加热中，效率主要是决定于电流频率选择得是否适当。

感应加热装置的总效率决定于电效率和热效率。感应加热装置的电效率随着电流频率的升高而增高，并逐渐趋近于 1。实际上可以认为，对于任何大小的坯料来讲，如坯料直径与某一频

率的电流透入热金属中的深度之比等于 10, 則在这种电流頻率时的电效率为最大。

既然感应电流只在被加热坯料中的表面层内流动, 所以热也只产生在这一层内。倘坯料要在整个截面上均匀加热(例如在鍛压和模压时就要求这样), 在受激发热层下面的部分就得靠热傳导而从表面层取得热量。这样的傳热需要較久的時間, 因此將增加在周圍介質中的热能損失, 即降低热效率。

坯料中靠了热傳导来加热的部分愈薄, 亦即电流透入愈深, 或电流頻率愈低时, 則感应裝置的热效率愈高。

据理論計算和实验結果所知, 对于任何尺寸的坯料, 当坯料直徑对电流透入深度之比等于 3.5 时, 加热裝置的总效率达到最大值(图 2)。

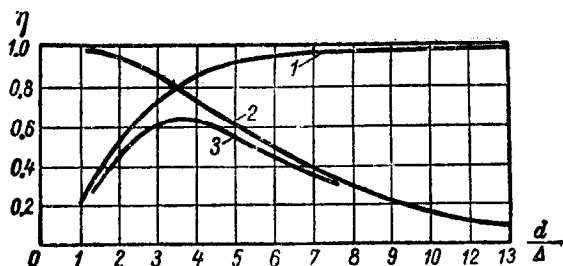


图 2. 感应加热裝置的电效率、热效率和总效率与坯料直徑对电流透入热鋼材深度之比的关系。

1—电效率; 2—热效率; 3—总效率。

实际上如果加热坯料的直徑对电流透入深度之比是在 2.5 ~ 6 的范围内, 所选的頻率就可認為滿意。根据这一关系, 就易于計算出适合于不同直徑的坯料感应加热用的标准电流頻率范围:

电流频率(周)	坯料直径(公厘)
500	70~160
1,000	50~120
2,500	30~80
8,000	15~40
射頻	5~20

尽可能縮短加热時間有助于感应加热裝置的达到最高生产率。縮短某一电流频率的加热時間或提高加热速度,主要可依靠利用表面层的热傳导以縮短坯料內层加热時間而达到,同时它也引起坯料表面与中心之間的溫度差增大。这种溫度差不可超过一定值。一般是以加热結束时,即表面层已达到鍛造溫度时,坯料中心的溫度比表面层低 100°C , 这样的加热规范,作为提高加热速度的限度。这一条件也限制着坯料感应加热的最短時間。对于截面尺寸不同的坯料而用不同的频率加热时,其加热的最短時間也不同。

在規定的溫度差下金属深透感应加热的最短容許時間,可

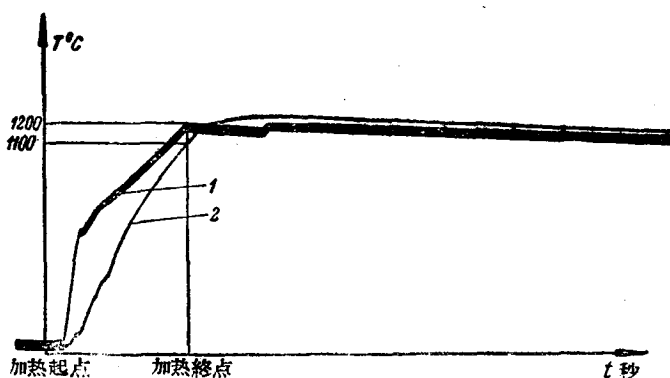


图 3. 坯料的表面温度(1)及中心温度(2)升高的示波图

以根据理論計算出来。但在实际应用上还是利用經驗資料比較便利。

高频电流科学研究院曾做了很多实验，根据这些实验可作出不同直径坯料的最短容許加热時間曲線。为了求得这些数据，采用若干个标准頻率来进行坯料加热，同时用热电偶測量坯料的表面溫度和中心溫度。

用一种頻率的电流以不同的單位功率輸入感应器，把坯料加热，使其达到上述的溫度差。求出所需的一个時間值，記入图表內。仍以同一頻率的电流再把不同直径的坯料进行加热，并

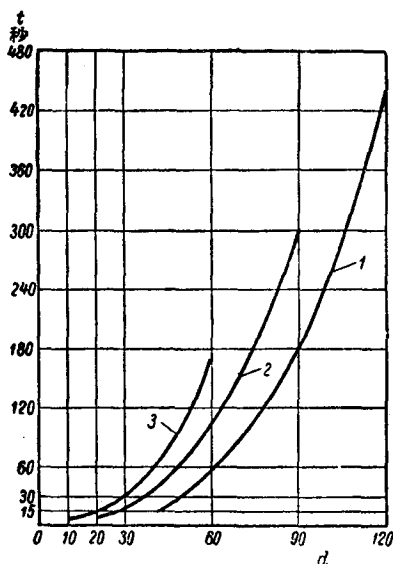


图 4. 用感应加热法作坯料的深透加热时最短容許時間与坯料直径的关系 (坯料表层与中心的溫度差为 100°C)。

- 1—电流頻率为 1,000 周;
- 2—电流頻率为 2,500 周;
- 3—电流頻率为 8,000 周。

在表上作出新的图点。把这些点連成一根曲線，即可据以选定用这电流頻率时不同直径坯料的加热時間。

在实验过程中，曾用多回綫示波器作出坯料表面和中心的溫度升高記錄 (图 3)。从溫度升高示波图上可以看出在感应加热中溫度沿坯料截面分布的状况。

加热時間也可比图 4 所指出的延長些，不过同时也会使加热裝置的热效率略有降低。

对于截面形狀不同的

坯料，選擇電流頻率和加熱時間時也可依據上述對於圓柱形坯料的同樣一些關係。但必須注意：

(1) 在加熱正方形的坯料時，正方的每一邊就相當於圓柱形坯料的直徑；

(2) 在加熱條料時，截面的短邊就相當於圓柱形坯料的直徑；

(3) 在加熱管料時，管壁的厚度就相當於圓柱形坯料的半徑。

為了提高鋼料的感應加熱速度和減少能量的消耗率，可以採用兩種電流頻率。在達到磁性轉變點之前的初期，可以使用較低頻率的電流加熱，而在熱狀態時則用按前述標準選擇的頻率。

但是這種用兩種電流頻率進行感應加熱的方法，只有在經濟上合算而不致使設備變得相當複雜時方才採用。

坯料的加熱時間和電流頻率決定着加熱裝置的主要參數，因此必須重視這些問題的解決。

2. 不同形狀的坯料的高頻感應加熱器

在鍛造生產中需要加熱的坯料可以按其形狀和加熱性質而分為四大類：

1. 均整坯料，即截面均勻、長度一定、其全長須同時加熱的坯料；

2. 棒形坯料，即截面均勻、長度不定、只在一定長度部分同時加熱的坯料；

3. 均整的坯料，而只在一端的一定長度部分進行加熱；

4. 全長截面形不定的坯料,即需要反复加热輾压的坯料。

每种坯料各需要特殊的加热設備。

均整坯料是在連續动作式或如通常所称循序动作式加热器中加热。在循序动作式加热器中,感应器、裝料設備和推杆都裝在同一軸綫上,組成一个加热槽。坯料放在加热器裝料設備的斜槽上,最下面的一个坯料正对着感应器的进孔(图5)。

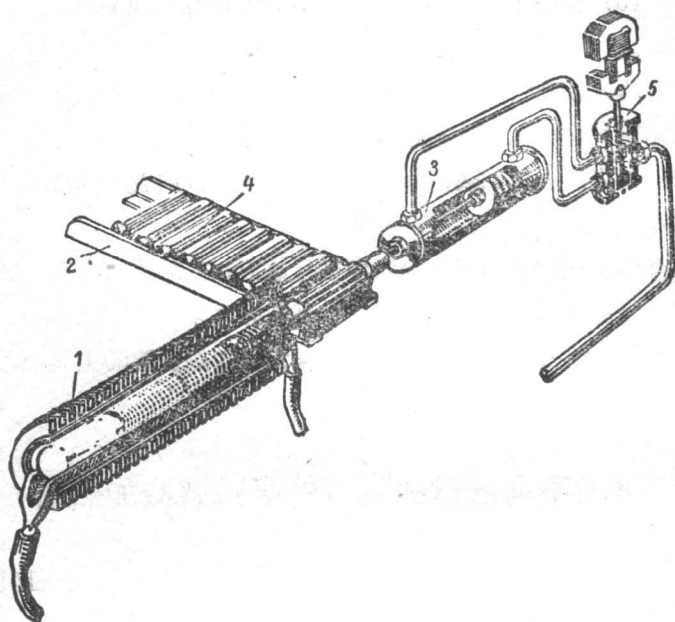


图 5. 循序动作式感应加热裝置的工作系統。

1—感应器; 2—裝料設備; 3—推杆; 4—坯料; 5—电气閥。

循序动作式加热器工作时,感应器一直接在电源上,被加热的坯料一个接着一个通过感应器。在加热过程中,感应器內同时有一个或几个坯料,这要看坯料的長度、送往鍛造機構的傳送速度和容許加热速度而定。

循序动作式加热器中的感应器的长度可按式求出：

$$l_1 = nl_2 + \Delta l, \quad (4)$$

式中 l_1 ——感应器长度； l_2 ——坯料长度； $n = \frac{t_H}{t_K}$ ——同时放在感应器中的坯料个数， t_H ——一定截面的坯料以规定频率的电流加热的时间， t_K ——传送加热坯料到锻造机构的时间； Δl ——这是为了减小感应器边缘效应的影响而必须把感应器加长一些的数值，等于一个到两个感应器直径。

如果根据加热坯料的供应情况，若要保证锻造机械能达到规定生产率就需要过长的感应器时，则可使用几个加热槽，把槽数增加若干倍，并把感应器的长度相应缩短。根据上述原则选定的感应器长度，可保证供给锻造机的坯料能适应它的生产率，并可保证每个坯料可在感应器中停留足够的时间，以完成均匀的穿透加热。

每隔若干时间（此时间决定于坯料传送到锻造机上的传送速度）推杆动作一次，依次把一个坯料推入感应器中，并把感应器中所有的坯料都推前相当于一个坯料长度的距离。此时最前端的一个坯料，已加热到锻造温度，就被推出感应器而送进锻造机械中。推杆返回原始位置时，坯料就沿装料设备的斜面滚下，最下面的一个坯料落到与加热槽轴线相符的位置上。此时，加热器又已准备自己的再一次工作循环。

加热器布置得使在操作时只要把应加热的坯料装到装料设备的斜槽上。其余的一切工序都自动进行。

在研究院所设计的循序动作式感应加热器里，全部元件都装置于用角铁和铁板焊接起来的金属外壳内（图6）。感应器、装料设备和推杆位在一个平面上。下边是为提高功率因数所必需

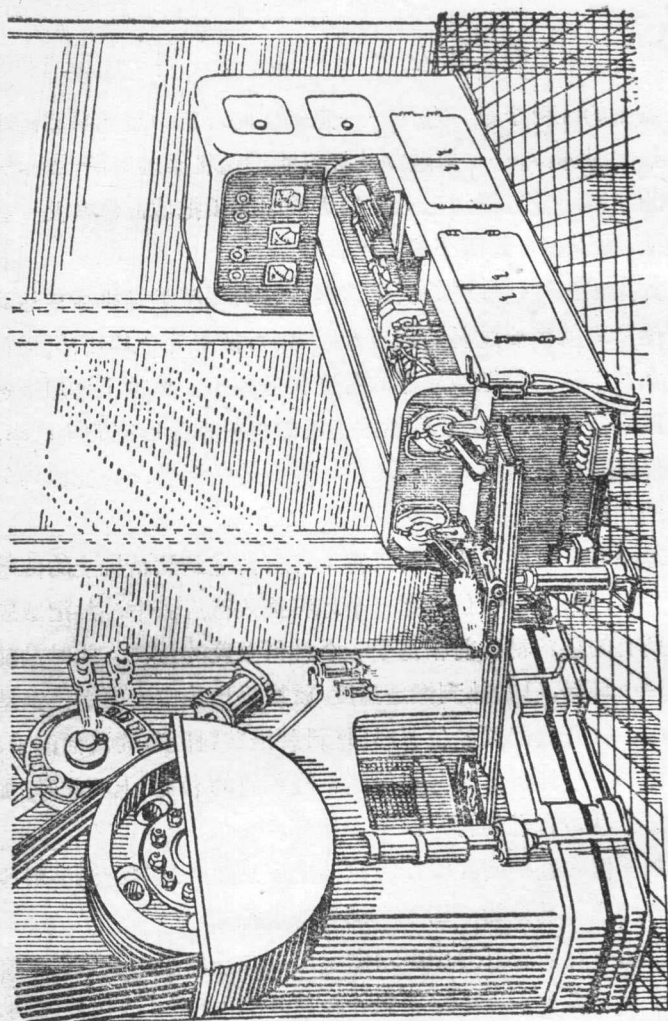


图 6. 顺序动作式感应加热器

的电容器組。在加热器外壳后部有一高起部分，其中裝有测量仪表和操縱加热器的仪器。加热器前面在感应器出口的旁边裝有运出已加热坯料的斜槽。

这种加热器有两个加热槽，所以須在常要使用两个感应器同时加热时才合算。若只用一个感应器加热坯料，另一个加热槽就作后备用。

这加热器每小时可以加热長度达 700 公厘、直徑达 120 公厘的坯料 500 公斤，消耗发电机的功率为 200~250 瓩。只要所装备的电容器和测量仪表合适，它可以在选定的任何电流頻率下工作。

加热器的主要元件就是感应器。每台加热的感应器是分別根据坯料的大小和所用鍛压机構的工作条件而各別制造的。对

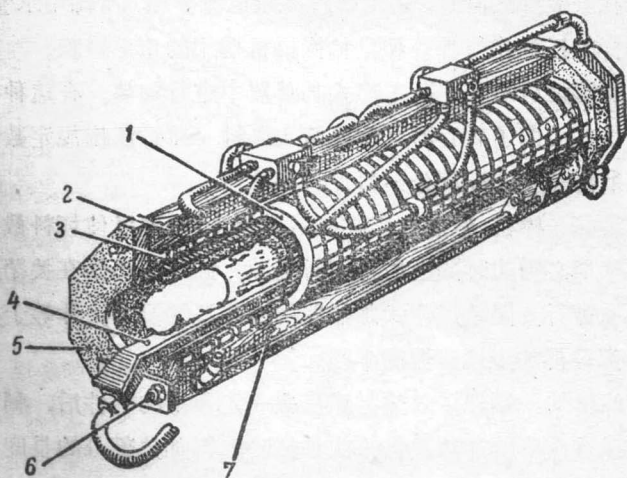


图 7. 圆柱形坯料加热用的感应器。

1—成型铜管做成的螺旋圈；2—电气絕緣—云母套管；3—陶磚制成的热絕緣；4—耐热鋼做成的空心导轨；5—石棉水泥牆板；6—黃銅螺釘；7—固定住感应圈的木条。

于在鍛造工作中常見的圓柱形坯料的加熱，感應器是以銅管繞成的單層螺旋管式，並且在工作過程中可用水冷卻（圖 7），卷匝數和管子的大小由電氣計算確定。

為了有效地利用銅起見，繞感應器的銅管的截面做成矩形。為了匝與匝間的絕緣，管子先綁上浸漆綢帶，而後纏上斜紋布，再浸以洋干漆。在螺旋管形感應器內裝有云母套管，以作感應器與放在其中的材料之間的絕緣。在云母套管內面再襯陶磚作為熱絕緣。在螺旋管內還裝有用耐熱鋼做的水冷空心導軌，供輸送坯料和裝牢熱絕緣物和電絕緣物之用。感應器的兩端裝有石棉水泥牆板，其圓孔正對着感應器的口。在螺旋管上面這兩塊牆板之間裝有兩三塊方木條。用黃銅長螺栓沿螺旋管方向穿過石棉水泥牆板和方木條，把整個感應器固定成為一個堅固的完整結構。

在安裝加熱器時，還須敷設高頻電流導線，冷卻用水管，供給推杆的壓縮空氣導管和供給操縱機構用的市電綫路。

棒形坯料是在間歇工作式加熱器中進行加熱。在這種加熱器中是在關閉了感應器之後再裝入坯料。將鍛壓出規定數量的零件所需長度的一部分棒料放進感應器。

裝好了棒料，就將電壓加到感應器上，在經過使坯料截面均勻加熱所必需的時間之後再切斷電源。卸棒料也是在關閉感應器之後進行。間歇工作式加熱器內感應器的長度大體等於棒料加熱部分再加上感應器的半徑。

棒料的一端經過加熱并鍛壓去一定數量的零件後，剩下部分再送進感應器加熱。每一次加熱時棒料加熱部分的長度要比鍛壓規定數量的零件所需的棒料稍多一些。故在每次加熱并鍛壓過後棒料上將剩下一小段已加過熱的部分，這一部分在第二次加熱時就要比感應器內同樣條件下的其餘部分熱得快些。