

高频电流在 工业上的应用

中国科学院
电子学研究所

281

77.15.102/
111
1

高频热处理丛书

第 1 册

高频电流在工业上的应用

〔苏联〕 A. A. 福盖尔 著

小 冰 译

上海科学技术出版社

0609/21

内 容 提 要

本书第一版于1954年出版,曾由本社翻译出版。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,为此根据新版本重译重排,陆续出版。

本书为高频热处理丛书的第1册,概括地描述高频电流用于金属穿透加热、电介质材料电场加热、淬火加热等的方法和原理,并指出了高频电流进一步发展的途径。

本书适于高频热处理工人、技术员以及对这一新技术感兴趣的人阅读。

高频热处理丛书

第 1 册

高频电流在工业上的应用

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТОКОВ

ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

原 著 者 [苏联] А. А. Фогель

原出版者 Машгиз·1957年第二版

译 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许可证出093号

新华书店上海发行所发行,各地新华书店经售

大东集成印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.32 字数 46,000

1962年9月第1版 1962年9月第1次印刷

印数 1—2,000

统一书号:15116·1683

定 价:(十二) 0.28 元

原 序

材料的高頻热处理法是在 B. И. 沃洛格金实验室中开始发展起来的，实验室起先属于中央无线电实验室，后来属于 B. И. 烏里扬諾夫(列宁)电工学院。目前，这种方法在以 B. И. 沃洛格金命名的高頻电流工业应用研究所中获得继续发展。

作者在本书中力求以具体实例来表明，如何在实验室中解决工业上所提出的任务，以及如何攻克各种情况下所发生的技术难关。

在任何一个生产部門中运用新技术，总会向其他部門提出一些新的迫切任务。

例如高頻淬火的运用，促使对感应加热下钎焊、堆焊、鍛造和焊接的研究。

这本小册子中所述及的实验室工作经验，不仅对于工厂实际生产中直接利用这种方法有所帮助，而且对于解决凡是与高頻电流有关的新课题时也很有裨益。

但是，高頻电流在工业上的应用是很广的，高頻装置的技术内容又是多种多样的。因而在工业中的工作人员要想全面掌握自己感到兴趣的问题，必须分别閱讀“高頻热处理丛书”中的各个专门册子。

本册只是想以通俗的形式阐明高頻电能的用于工业目的的一些主要原则，作为整套丛书的导论。

编写本书时，作者参考了第一版的内容，但又作了必要的修改和补充。

102950

目 录

原 序	
緒 論	1
第一章 工业上应用高频电流的起始	3
第二章 高频感应熔炼炉	7
第三章 金属锻造、焊接、钎焊和堆焊时的感应加热	11
第四章 感应加热淬火	15
1. 表面效应	15
2. 鋼件淬火	18
3. 綫圈效应	20
4. 表面加热和同时淬火法	21
5. 循序連續淬火法	25
6. 內表面淬火	29
7. 鉄磁路应用	31
8. 邻近效应和平面淬火	33
9. 加热時間对淬硬层深度的影响	35
10. 外形复杂的零件淬火	36
11. 电流頻率選擇	42
12. 高频淬火法优点	44
第五章 零件减径法和强化法	48
第六章 电介质和半导体在高频电场中加热	50
13. 加热原理	50
14. 頻率对加热强度和深度的影响	52
15. 电场中加热实例	55
第七章 高频电流未来	60

16. 怎样提高电介质加热强度	60
17. 新的可能性	60
18. 能量在空間集中	63

緒 論

在技术文献中常常可以见到这样一些术语：“高频技术”、“高频电流”、“高频淬火”。

高频电工学是一门由科学家创立的新技术，列为电工学的一部分。高频技术的使用规模比较小，但是仍受到极大的注意。

为什么对高频电流问题有较浓厚的兴趣？电工学的这一分科，哪些性能对我国（苏联）工业是可贵的？

电是一种最普遍的技术上应用最方便的能量。

电能可以沿着导线输至很远距离。电能可以转变为机械能或热能。

多亏有了电，才有可能把我国丰富的水力资源中所包含的能输送至遥远的地方。

在巨大的水库中蓄满水，并把水中所包含的位能转变为电能，我们就可以利用大量的能。

但是，为什么在电工学的许多分科中偏偏对高频电流发生如此大的兴趣呢？

除了电能以外，我们还可以广泛利用由太阳获得的原始能量。太阳是取之不尽的能源，它向四面八方散布，其中有一部分就落在我们地球上（图1）。



图1 太阳照射着地球，使地球不断地获得亿万千瓦的功率

我們行星上的一切生命，都依賴于太陽能。瀑布、煤、石油等中所包含的全部能量，都是靠太陽能產生的。地球從太陽上不斷地獲得億萬千瓦的功率。如果把太陽照射着的地面上一平方米面積的能量收集起來，那末可在15分鐘內煮沸一升水。

在農業中每天都利用太陽的能量。布滿在地球上的綠色植物吸收了太陽的能量，把無機物變成有機物，作為地球上一切生物所必需的養料。

植物借助于太陽的能量給大氣補充氧，沒有氧地球上的所有生命便不能存在。

未必可以找到比農業中利用太陽能更為廣泛的利用能量了。但是太陽能在技術上利用得比較少。太陽能的缺點是密度小。太陽能很分散，而一般在技術上應用時要求較集中的能。

能量愈集中，用于技術目的時就愈可貴。因此，為什麼對

原子核中所包含的能量給予如此的重視，就很容易明白了。原子能是最集中的。

手掌對着太陽伸開，手掌微微受熱，我們略微感覺到一些溫暖(圖2)。但是，如果利用普通的放大鏡把太陽能集中起來，那末收聚在放大鏡焦點上的光綫就能灼傷皮膚，或者點燃木塊、紙片或其他可燃物。利用太陽光的能量，借助放大鏡能夠在木

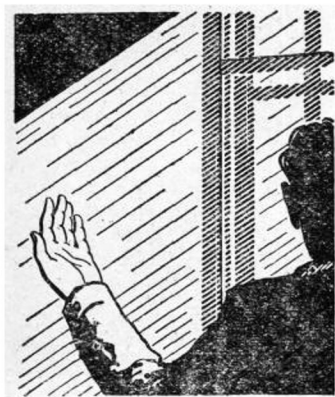


圖2 手掌對着太陽伸開，略微感到發熱，因為能量很不集中

材上烙出各种图案，能够点燃烟卷(图3)。

在很小体积内集中能量的可能性，也即得到较大的能量密度，在技术上是极为重要的。当然，能量的集中装置不应该很贵。

高频电流的电磁能恰恰具有所需要的可贵性能——它很容易集中起来。因此，利用高频电流的问题引起了技术人员的注意。



图3 经普通放大镜集中的太阳能，可以点燃烟卷

将高频电磁能集中在很小体积内，并使它转变为热，便可在短时间内把各种材料加热至高温。

第一章 工业上应用高频 电流的起始

还在不久以前，高频电流主要用于无线电通讯目的。但是，将高频电流用于加热目的的意图，早在1915年就有了，当时H. Д. 巴巴列克西制成阴极继电器（那时的放大管称为阴极继电器）。后来于1918年伟大十月社会主义革命后不久，在B. И. 列宁亲自参加建立起来的伏尔加河上游之城（现名高尔基城）无线电实验室中进行了高频加热的试验。俄国的一些无线电专家，其中如M. A. 邦奇-勃鲁耶维奇、A. Ф. 肖林、B. И. 沃洛格金，就是在这儿首先建立起苏联的无线电技术——先

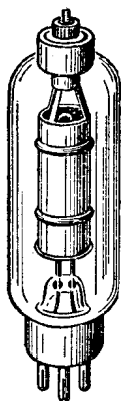


图4 由抽除空气的玻璃泡和金属电极组成的真空管

进高频技术。

M. A. 邦奇-勃鲁耶维奇在那时制成了大功率的发射管雛形(图4)。

无线电真空管是由一玻璃泡里面装以金属电极组成的，在制造这种真空管时，必须利用专门的真空泵把玻璃泡内的气体抽除。这一操作是很困难的，因为大量的气体质点被电极的金属部分所吸收。只有在电极加热至灼热温度时，才能把气体抽除。那时候气体被分离了，因而有可能从玻璃泡内抽除出来。但是，如何把玻璃泡内处于真空状态的金属加热至温度 1000°C 呢？这只有借高频电流来完成。用铜线制成一螺旋圈，沿螺旋圈

通以高频交流电(图5)。

大家知道，如果导体中通以交流电，则在导体周围形成交

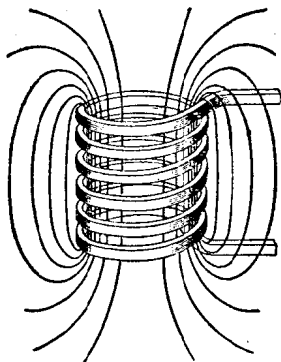


图5 当铜线制的螺旋圈通以电流后，内部形成不可见的磁场，图中磁场以力线表示

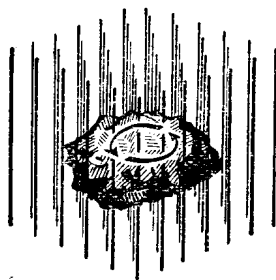


图6 置于交变磁场内的金属感应出电动势，于是产生加热金属的电流

变磁场，即形成一个周期地改变其大小和符号(或方向)的磁场。这个交变磁场透入任何金属物体，在该物体中感应出电动势(图6)①。

在感应电动势的作用下，金属中产生加热电流。

与产生感应电流的磁场一样，感应电流的大小和方向也是不断改变的。每秒钟内改变的全循环数，叫做电流频率。

在给定时间内改变的循环次数愈多，电流的频率就愈高(图7)。

电流频率的单位是赫芝，即每秒钟改变一个循环的频率。

感应电流能引起金属的加热。

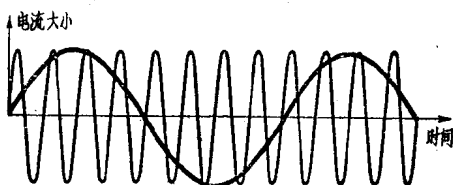


图7 在给定时间内电流方向的改变次数愈多，电流频率就愈高

磁场方向改变的频率愈高和磁场的强度愈大，则金属中所感应的电磁能就愈多，金属的加热也愈强烈。

磁场的大小以磁场强度来表示。磁场强度增至2倍，输给金属的能量要增至4倍②。频率增至4倍，输给金属的能量

① 感应(拉丁语 inductio)——在磁场或接近带电体的影响下所感应、激发的电能或磁能。

② 对于铁磁体，由于磁导率与磁场强度有关，计算输给金属的能量时，要稍大于与磁场强度平方成正比。

只增至2倍^①。若希望增强金属的加热,似乎应增大磁场的强度。但是,磁场强度的增大会因导体铜被电流过载而达到极限。当电流密度很大时,铜虽被水强烈冷却,仍会发生熔化。因此,在实践中常常增高磁场的频率。

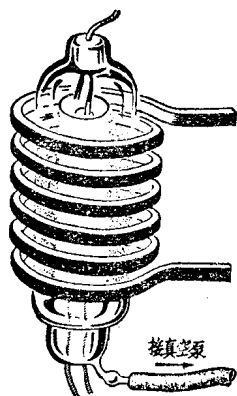


图8 真空管的金属部分被其中所感应的大功率高频电流加热,金属在加热时放出所吸收的气体,可用真空泵从玻璃泡里抽除出来

用感应电流加热金属的现象,早在伏尔加河上游之城无线电实验室中进行试验以前就为人所共知。但是长时间以来,电工技术人员,特别是高频工作人员都认为感应电流是有害的,对靠近高频载流导体的各种结构的金属部分会产生不良的加热。

然而,正是这种“有害的电流”在技术中获得了应用,科学家开始有效地利用这种电流。

通有高频交流电的螺旋圈套在真空管上(图8),真空管的金属部分处于高频交变磁场之中,于是在金属部分感应出电流。引入的能量足以在数分钟内将真空管的电极加热至白热。金属所吸收的气体开始分离,便可用泵抽除出来。问题被解决了,于是高频电流在工业上被用来加热金属。

B. II. 沃洛格金教授也是在伏尔加河上游之城无线电实验室里设计并制成大功率高频发生器的(图9)。这些发生器起初用于无线电通讯目的,后来高频电流被普遍应用于金属加热。

^① 在较低频率的情况下,当磁场透入金属块的整个厚度时,输给金属的能量与磁场频率的平方成正比。

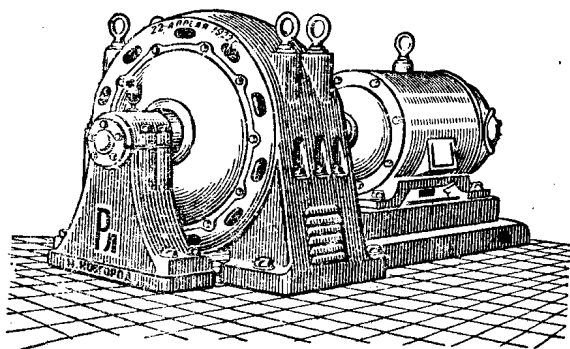


图9 B. II. 沃洛格金教授设计的频率 15000 赫芝、
功率 150 千瓦高频发生器

第二章 高频感应熔炼炉

后来在 1930 年,属于中央无线电实验室的由 B. II. 沃洛格金教授创办的列宁格勒实验室按照 C. 奥尔忠尼启则的指示,制成了熔炼金属用的各种结构的高频感应炉。这些炉子的结构极为简单。

在通有高频电流的螺旋圈内,放置一装满金属块的坩埚。坩埚系一由不导电的耐火材料(如二氧化硅、氧化镁或氧化锆)制成的容器(图 10)。金属块处于交变磁场中,会感应出电流。

如果输入螺旋圈的功率足够(这一点在交流电频率很大的条件下是不难达到的),那末金属开始加热、熔化和沸腾。如果不切断电流,金属将沸腾以至蒸发。当然,这种情况只有在坩埚能承受得住这样高的温度的条件下才有可能。液体金属在开始沸腾以前,温度将不断升高,因为热量是从它本身发

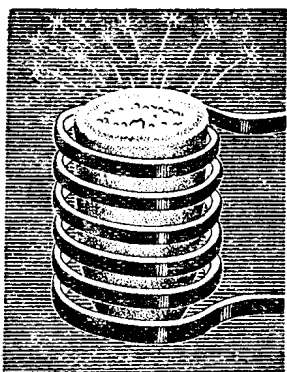


图 10 采用高频电流熔炼,装有金属的坩埚置于螺旋圈内,螺旋圈通以高频电流

生(产生)的。

在液体金属蒸发以前,能量将以高频感应电流输给金属。我国工业已能生产容量自数公斤至数吨的熔炼炉。

目前在瑞典已使用容量达12吨的高频炉,公司还提出制造熔炼18吨钢的高频炉。

由于熔融金属中所感应的电流与沿炉子螺旋圈通过的电流相互作用,使液体金属在坩埚内发生剧烈搅动。供给炉子的电流频率愈低,金属的运动就愈剧烈。因此在大型感应炉中,有时利用两种频率的电流:高频率电流——用以实现强烈加热;低频率电流——用以保证金属搅动。

普通结构的感应炉能够在真空中或惰性气氛中完成金属的熔炼。真空炉保证获得高质量的金属。

感应炉改变了铸造车间的面貌。这种照管起来非常简便的炉子,代替了喷火的炼钢炉。车间内装备了感应炉,工作环境与实验室一样。

大型炉所需的电流频率为500~1000赫芝。对于实验室用的小型炉,供给的电流频率为100000甚至300000赫芝。

频率在10000赫芝以下的电流,由机械式发电机发生,发电机的外貌与普通电机相似。频率在10000赫芝以上时,一般利用电子管振荡器,它很象无线电台上用的发生器(图11)。

从B. II. 沃洛格金教授实验室的实践中所得出的结果,乃是电磁能在高频率下有可能集中的明显实例。用工业方法

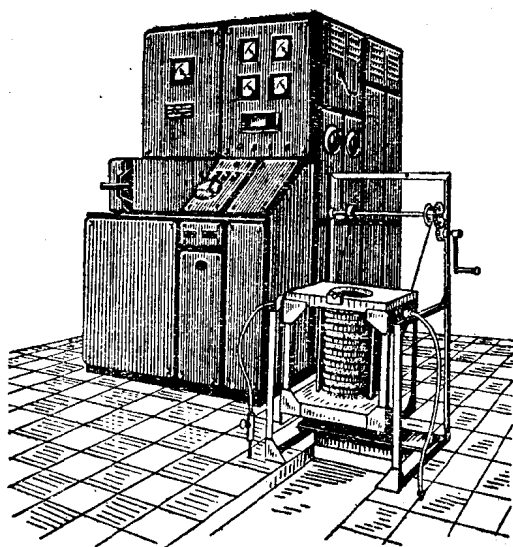


图 11 “电炉”托拉斯出品的带金属熔炼炉和淬火系统的 ЛГПЗ-60 电子管振荡器, 功率 60 千瓦, 频率 200000 赫芝

生产人造橡胶的创始人科学院院士 С. В. 列别捷夫, 有次提出了这样的问题: 能否利用高频电流在丁二烯中蒸发金属钠?

人造橡胶是用聚合(稠化)丁二烯(可燃液体)的方法制取的^①。

有催化剂(促进剂)存在, 丁二烯的聚合过程便加速; 金属钠就是催化剂。钠与丁二烯的接触表面愈大, 聚合过程进行得愈迅速。当金属非常细碎时, 丁二烯与钠的接触表面可达到最大。只有在金属变成蒸气后, 金属质点才达到最大程度的细化。这样, 就产生了在液态丁二烯中蒸发金属钠的想法。

① А. П. Крюков, Искусственный каучук, Научно-популярная библиотека, Гостехиздат, 1950.

在通高频电流的螺旋圈内放一经过液态空气预冷的试管，管内装有了二烯和钠块(图 12)。待接通电流后，钠便立刻蒸发。钠蒸发得非常快，好似试管里发生了小小的爆炸，出现烟雾，液体变成透明的浅蓝色。在另一些试验中，液体有时呈玫瑰色，这取决于蒸发的钠质点的细碎程度。现在液体已成为钠在丁二烯中的胶体溶液^①。

在相当高的电流频率下，可以做个有趣的把电磁能集中在很小体积内的试验。取一根钢棒插入盛有水的玻璃杯中，而玻璃杯置于通有高频电流的螺旋圈内(图 13)。如果由高频发电机输入很大的功率，那末金属开始熔化，一滴滴金属在杯中水煮沸和蒸发以前就沉入杯底。

由于能量大量集中，在水中熔化金属是可能的。

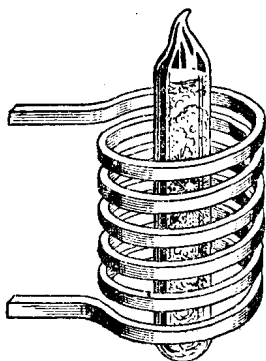


图 12 在液体中用高频电流加热的易熔金属块瞬息就蒸发，形成金属的胶体溶液，溶液颜色取决于金属质点的细碎程度

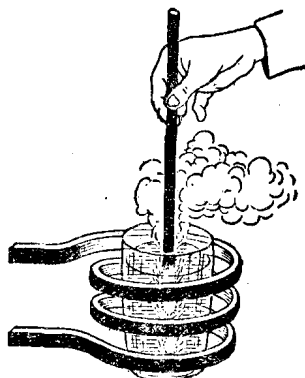


图 13 用大功率的高频电流加热时，钢棒会在水中熔化

① 关于胶体，可参看 В. Н. Суслов 著 “Между пылинками и молекулами”, “Научно-популярная библиотека”, Гостехиздат, 1949.

电磁能高频下有可能集中,是一个绝妙的特性,它保证高频电流广泛地应用于金属加热,从而使这一方法在技术上具有极大的价值。

高频电流不仅用于熔化金属。1932年,罗蒙诺索夫工厂的工作人员请求B. II. 沃洛格金教授实验室,为他们熔化石英晶体以制取透明的石英玻璃。石英玻璃在化学工业中的应用是很广的。

然而,石英是非导体,不能在其中感应电流。石英不能象金属一样加热,于是决定采用中间加热器,将石英放入带石墨坩埚的高频炉中(图14)。石墨的导电性很好,能承受 3000°C 以上的温度。石英在 1700°C 熔化。为了避免石墨坩埚烧损,熔化过程在真空中进行。

熔化后,液体石英通过石墨坩埚底部的小孔拉成细棒或细管状。这样便得到透明的石英玻璃。

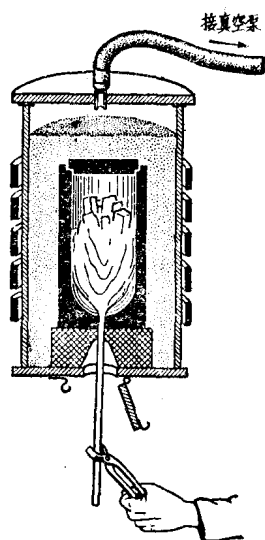


图14 在石墨坩埚中熔化石英晶体,石墨坩埚在真空中用高频电流加热,石英玻璃熔化后通过坩埚底部小孔拉丝

第三章 金属锻造、焊接、钎焊和堆焊时的感应加热

金属的高频电流感应加热不仅用于熔炼,还用于其他许多