

感应加热 原理与应用

Principle & Application of
Elements of Induction Heating

赵长汉 姜士林 主编

天津科技翻译出版公司



感应加热原理与应用

姜士林 赵长汉 编著

天津科技翻译出版公司

[津]新登字 90(10)号

感应加热原理与应用

姜士林 赵长汉 编著

责任编辑 周兆佳 蔡颖

天津科技翻译出版公司出版

(天津市河西区吴家窑大街 22 号)

新华书店天津发行所发行

天津市隆达科技开发公司激光照排制版

天津市静一胶印厂印刷

开本 850×1168 $1/32$ 印张 $11\frac{1}{2}$ 字数 285 千字

1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷

印数 1-5000 册

书号: ISBN7-5433-0478-3/TB-20

定价: 8.00 元

《感应加热原理与应用》

前 言

感应加热，是利用电磁感应的方式加热金属导磁体和非导磁体的一种方法。

在我国，感应加热是伴随着汽车工业和拖拉机工业的诞生而起步的。近年来，随着我国工业的发展，在冶金、机械、电子等工业领域，感应加热被用于熔炼、焊接、热处理、热锻造、外延加工等热加工工艺，展示了越来越广泛的应用前景。编译本书的目的在于向读者介绍感应加热的原理、特点、控制方法和应用，特别是国外近年来感应加热应用的发展，以便使读者在阅读本书后能对感应加热的特点和应用有所了解，并能在选择感应加热的工艺上有所裨益。

本书根据美国有关感应加热专著编译而成全书共分十二章。第一章介绍感应加热的发展历史，它的应用和特点；第二章、第三章分析讨论原理和电路；第四、五章概述感应加热系统中的主要设备；第六、七、八、九章阐述了各种不同应用的设计方法和控制方法以及各种几何形状的加热线圈的设计方法，这是本书的重点。第十、十一、十二章简介材料处理方法、感应加热特殊应用的例子和感应加热方法的经济分析。本书通俗易懂，注重实际，列举了大量的图表，避免了繁琐的公式计算，以利于读者的理解和操作。本书可供从事感应加热的专业技术人员、技术工人阅读，也可作为中等专业学校有关专业的教学参考书。

本书由赵长汉、姜士林主编。参加编译的有赵长汉、姜士林、王庆松、李春长、顾福深、王玉清、周红珠、李家骥、姜钰

明、陆星堃、李茂松等。编译过程中，自始至终得到了天津市科技翻译出版公司周兆佳，蔡颢同志的大力支持，在此一并致谢。

由于我们的水平所限、书中不妥之处在所难免，衷心地希望读者批评指正。

编者

1992 年 10 月

姜士林 浙江省金华市人。生于1945年，高级工程师。1968年毕业于天津大学无线电系，长期从事高频感应加热电源及其应用的专业研究，主持设计的产品曾获天津市科技进步三等奖、二等奖、现任天津市高频设备厂厂长。

赵长汉 湖北省武汉市人。生于1945年，高级工程师。1969年毕业于天津南开大学。长期从事高频中频感应加热专业，先后主持设计多种感应加热电源产品，曾获天津市优秀新产品奖，科技进步三等奖、二等奖等。现任天津市高频设备厂副厂长、总工程师。

目 录

第一章 简介	(1)
第一节 感应加热的发展历史.....	(3)
第二节 感应加热的应用.....	(6)
金属加工前的预热.....	(6)
热处理.....	(6)
熔化.....	(6)
焊接.....	(7)
有机涂层的固化.....	(7)
粘结.....	(7)
半导体制作.....	(7)
镀锡.....	(7)
烧接.....	(7)
第三节 感应加热的优点.....	(8)
第二章 感应加热的原理	(10)

第一节	感应加热的基本原理	(10)
第二节	实心棒内涡流的讨论	(15)
第三节	实心圆棒的等效电阻和效率	(19)
第四节	其他几何形状工件的等效电阻和效率	(22)
第五节	功率要求的确定	(26)
第三章	感应加热电路的调节及负载匹配 ...	(28)
第一节	感应加热电路的调节	(28)
	串联谐振电路	(30)
	有功功率, 无功功率和视在功率	(32)
	并联谐振电路	(33)
	调节电容器	(34)
第二节	变压器和阻抗匹配	(37)
第三节	特殊电源的负载匹配与调节	(40)
	固定频率的电源	(40)
	固态变频电源	(43)
	真空管射频电源	(45)
第四章	感应加热电源	(49)

第一节	频率和功率的选择方法	(50)
第二节	感应加热电源的几种类型	(53)
	L 频感应加热	(53)
	倍频加热装置	(61)
	变频电机	(63)
	固态变频器	(66)
	火花隙变频器	(71)
	真空管式射频电源	(72)
	固态高频装置	(80)
第五章	感应加热的辅助设备	(82)
第一节	设备的冷却系统	(82)
	水冷装置	(83)
	蒸发冷却装置	(85)
第二节	计时器	(88)
第六章	几种典型应用的设计方法	(91)
第一节	穿透加热的设计方法	(91)
	穿透加热频率的选择	(91)
	穿透加热功率选择	(106)
第二节	热处理工艺设计方法	(113)

表面淬火.....	(113)
电焊管局部退火.....	(128)
第三节 感应熔化的设计方法.....	(129)
无芯感应熔炉设计中应考虑的因素.....	(132)
通道式感应熔炉设计中应考虑的因素...	(137)
第四节 钢管感应焊的设计方法.....	(138)
机械设计内容.....	(139)
电气设计内容.....	(143)
第五节 硬钎焊和软钎焊的设计方法.....	(144)
 第七章 过程控制基础	(152)
第一节 温度测量.....	(153)
热电偶.....	(153)
放射检测器.....	(157)
其他温度测量方法.....	(165)
第二节 温度控制方法.....	(171)
第三节 比例控制器和热量调节装置.....	(172)
第四节 控制功能的综合.....	(174)
钢板的加热.....	(175)
表面淬火.....	(177)

真空感应熔炼.....	(177)
电计量控制.....	(178)
第五节 分布控制.....	(179)
分布控制的概念.....	(179)
接口 / 连接控制系统配件.....	(181)
第六节 用于感应加热的多种控制技术.....	(182)
电磁分类.....	(182)
硬化层深度的电阻系数测量.....	(185)
感应加热的比色测量.....	(186)
第七节 过程模拟.....	(186)
疑难公式.....	(186)
表面硬化的模拟.....	(188)
第八章 线圈的设计与制做	(192)
第一节 线圈设计的基本原理.....	(192)
第二节 基本线圈的设计.....	(195)
低频加热.....	(195)
中频和高频线圈.....	(196)
内表面加热线圈.....	(198)
第三节 常用线圈的变形设计.....	(200)
线圈特性描述.....	(200)
磁通分流器.....	(209)

多绕组之间的平衡.....	(213)
第四节 专用线圈.....	(216)
主线圈和线圈镶嵌体.....	(216)
扫描式感应线圈.....	(220)
分裂式线圈.....	(220)
集流器线圈.....	(223)
蝶形线圈.....	(226)
分裂回复式感应器.....	(227)
配有分接头的线圈.....	(229)
横向磁场加热线圈.....	(229)
串联-并联线圈	(231)
调谐短截线.....	(232)
变换线圈或槽路线圈.....	(234)
第五节 线圈制作.....	(237)
管材的选择.....	(237)
线圈成形.....	(241)
线圈与电源端头的连接.....	(241)
线圈的固定.....	(243)
第六节 输出电源线.....	(246)
设计考虑.....	(246)
典型输出端板设计.....	(248)
 第九章 磁通集流器、屏蔽器和磁化器 ...	 (252)
 第一节 磁通集流器.....	 (252)

磁通集流器的材料.....	(253)
磁通集流器的应用.....	(255)
第二节 屏蔽.....	(257)
屏蔽的设计.....	(258)
屏蔽的典型应用.....	(258)
第三节 磁化器.....	(263)
磁化器材料.....	(264)
磁化器的典型应用.....	(265)
第十章 材料处理	(267)
第一节 材料处理的基本要素.....	(267)
零件通过感应线圈的移动方式.....	(267)
被处理材料的夹具.....	(269)
可控气氛或真空的使用.....	(271)
第二节 毛坯, 棒状物感应加热中的材料处理.....	(274)
输入机构.....	(275)
进料机构选择要点.....	(278)
第三节 感应加热加工的材料处理.....	(280)
连续加热加工.....	(280)
局部分离工件的热加工.....	(283)
第四节 焊接与铜焊中的材料处理.....	(287)

第五节	其他感应加热中的材料处理.....	(290)
第六节	机械手的设计.....	(292)
	机械手驱动机构.....	(293)
	机械手的工具系统及运动.....	(293)
	机械手的控制及编程.....	(294)
第十一章	感应加热的特殊应用	(296)
第一节	感应加热在塑料、橡胶行业中的应用.....	(296)
	塑料的连接成形.....	(296)
	塑料涂层.....	(300)
	废品加工.....	(302)
第二节	感应加热用于粘合.....	(304)
第三节	感应盖密封和包装.....	(307)
第四节	感应加热在电子行业上的应用.....	(310)
	半导体提纯.....	(310)
	半导体单晶体的生长.....	(311)
	外延沉淀.....	(312)
	硅太阳能电池的制造.....	(314)
	真空密封装与电子元件的回收.....	(315)
	真空管的制造.....	(317)
第五节	感应加热在玻璃工业上的应用.....	(318)

玻璃-金属的接合	(318)
玻璃熔化.....	(319)
透镜固定.....	(319)
光纤的制造.....	(319)
第六节 感应加热在钢精加工中的应用.....	(320)
锡回流.....	(320)
喷漆.....	(322)
第七节 转炉加热.....	(324)
第八节 感应加热在真空处理中的应用.....	(326)
真空熔化.....	(326)
定向凝固.....	(327)
浮熔法.....	(328)
第十二章 经济分析	(332)
第一节 感应加热的费用成分.....	(332)
设备费用.....	(332)
能源费用.....	(333)
生产场地的大小和自动化的难易.....	(335)
锈皮和刮削的损失.....	(335)
劳力费用.....	(336)
保养费用.....	(336)
其他费用因素.....	(337)
第二节 典型的费用比较.....	(337)

在锻造前对钢坯加热.....	(337)
锻造 / 挤压前对非铁坯的加热.....	(339)
对钢的加热处理.....	(339)
试管焊接.....	(340)

第一章 简介

电磁感应加热，或简称感应加热，是加热导体材料比如金属材料的一种方法。它主要用于金属热加工、热处理、焊接和熔化（表 1.1）。

表 1.1 感应加热的应用及典型产品

金属加工前预热	热处理	焊接	熔化
锻造	表面淬火	缝焊	普遍炼钢
齿轮	回火	油管	钢锭
轴	齿轮	致冷管	钢坯
手工工具	轴	线管	铸件
军用器械	阀门		真空感应熔炼
挤压	机床		钢锭
建材	手动工具		钢坯
轴	淬透		铸件
热锻	回火		精炼钢
螺栓	建材		镍合金
其它紧固件	弹簧钢		钛合金
轧制	链条		
厚板	退火		
薄板	铝条		
罐头听自动化工业等	钢条		

这种加热技术也适用于包装和固化的许多其它应用领域。大量的工业品和消费产品，在其生产过程的某些阶段采用了感应加