

电气工程中的焊接 技术与应用

李致焕 李华霖 张勐宁 编著



机械工业出版社

电气工程中的焊接技术与应用

李致焕 李华霖 张勐宁 编著



机械工业出版社

15061

本书介绍了电工、电子产品中铜、铝、金及钎等导体材料、超导体材料,封接材料及塑胶护套的焊接工艺;其中详细介绍了应用较成熟、可靠的焊接方法近20种,且不同程度地介绍了其原理、特点、工艺、设备、检验及其在生产中的应用实例;特别是对电工、电子常用产品焊接方案的比较、各种接头的使用条件等,进行了专门介绍;内容涉及同种金属、异种金属、金属与半导体芯片、金属与陶瓷、玻璃、塑胶等材料的焊接工艺几十种。

本书主要供从事电工、电子产品生产以及电气安装、电子产品维修的焊接工作人员参考,也可供设计部门、研究部门及大专院校焊接专业、相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程中的焊接技术与应用/李致焕等编著 —北京:机械工业出版社,1998.11

ISBN 7-111-06707-X

I. 电… II. 李… III. 电子设备—焊接工艺 IV. TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第27387号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何月秋 版式设计:冉晓华 责任校对:林去菲

封面设计:海之帆 责任印制:王国光

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年11月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·14.125印张·307千字

0 001-4000册

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

序

目前，电工、电子产品的生产水平越来越高，对焊接的技术要求也日益迫切。时至今日，焊接技术仍然是电工、电子产品生产中的技术关键。尤其是大规模集成电路对精密、微型焊接技术的要求越来越高，从而促进了这方面焊接技术的发展。

20年前，应第一机械工业部的委托，编著出版了《电气工程中铝铜焊接技术》一书，介绍了铝铜导体的焊接技术，为当时推行以铝代铜的国策，起到了重要作用，得到了广大读者的热情支持。但时隔近20年来，电气工程中导体的焊接技术，尤其是电子产品的焊接技术，有了长足的进步，原书已不能反映当今的焊接技术水平。为了满足广大读者的需要，在原书的基础上，除增添了原有焊接内容的新技术外，特别增加了电子行业的焊接新技术，在很大程度上丰富了原书所介绍的内容。期望能受到广大焊接工作者的首肯。

有不妥和错误之处，恳请批评指正。

在此，以十分感激的心情，对在编写过程中提供资料的同行学者、专家，致以衷心的感谢。

编著者

参 考 文 献

- 1 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册 2. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 2 (日) 板本光雄. 电子金属材料选用指南. 刘茂林译. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- 3 河北工学院金工教研室. 电气工程中铝铜焊接技术. 北京: 机械工业出版社, 1978.
- 4 中国科学院《超导电材料》编写组. 超导电材料. 北京: 科学出版社, 1973.
- 5 (苏) C.M. 古列维奇. 有色金属焊接. 邸斌等译. 北京: 中国铁道出版社, 1988.
- 6 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册 1. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 7 (日) 田中和吉. 电子产品焊接技术. 孟令国等译. 北京: 电子工业出版社, 1984.
- 8 《电子工业生产技术手册》编委会. 电子工业生产技术手册 11. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- 9 李致焕. 中同轴冷压滚焊技术. 焊接学报. 1984, 5 (3)
- 10 《电子工业生产技术手册》编委会. 电子工业生产技术手册 1. 北京: 国防工业出版社, 1990
- 11 李致焕. 界面条件对冷压焊接性的影响. 第八届全国焊接会议论文集. 北京: 1997
- 12 王昆林. 激光材料加工技术的工业应用. 中国机械工程. 1996, 7 (2): 68

目 录

序

第一章 常用电气工程材料及其性质	1
第一节 铜及其合金的性质	1
一、纯铜	2
二、铜合金及其性质	5
第二节 纯铝及电工铝合金	8
一、纯铝的性质	8
二、导电铝合金的性质及应用	12
第三节 接点及接触材料——贵金属及其合金的性质	15
一、贵金属的性质	16
二、贵金属合金的性质	17
三、贵金属及其合金的应用选择	25
第四节 封接材料——镍及镍合金、陶瓷	27
一、封接用的材料及要求	27
二、纯镍	27
三、镍合金	28
四、陶瓷	31
第五节 超导材料	33
一、概述	33
二、超导合金	33
三、超导化合物	34
四、多层复合超导带	35
第二章 常用电工电子材料的焊接性	36
第一节 电工电子产品的焊接特点	36

一、特点	36
二、可用的焊接方法	37
三、电气工程材料的焊接性	38
第二节 各种常用电气工程用材料的焊接性	39
一、铜及铜合金的焊接性	39
二、铝及铝合金的焊接性	41
三、铝与铜的焊接性	43
四、镍及镍合金的焊接性	48
五、陶瓷与金属的封接性	49
第三章 铝的钨极氩弧焊	50
第一节 氩弧焊的特点	50
第二节 手工钨极氩弧焊设备	55
一、NSA-500-1 型焊机的构造	56
二、NSA-500-1 型焊机的电路原理	56
三、NSA-500-1 型焊机的焊接程序控制	57
第三节 焊炬、钨极和氩气	59
一、焊炬	59
二、电极	59
三、保护气体的选择及对氩气的要求	61
第四节 氩弧焊工艺	63
一、焊前清理及准备工作	63
二、常用的接头形式	63
三、焊接参数的选择	64
四、操作技巧及填充材料	65
第五节 易损元件及其对焊接的影响	68
一、减压阀	68
二、电磁气阀	69
第六节 中型低压铝线电机的焊接实例	69
一、中型低压铝线电机的接头结构特点	69

二、中型低压铝线电机的焊接工艺过程	69
第七节 铝线变压器焊接实例	71
一、焊前清理及准备	71
二、接头形式	72
三、焊接参数及操作	73
第八节 氩弧焊的安全防护	73
一、有害因素	73
二、劳动防护	77
第四章 铝导体的气焊	81
第一节 气焊铝导体的火焰与熔剂	81
一、焊铝时选用的火焰	81
二、铝气焊熔剂及焊丝	81
第二节 气焊铝导体的特点	83
一、气焊铝导体的优缺点	83
二、气焊铝导体的工艺关键	84
第三节 气焊铝导体的应用及实例	86
一、气焊铝导体的应用	86
二、铝线变压器气焊实例	87
第五章 碳模电阻熔焊	90
第一节 碳模电阻熔焊的发展过程及形式	90
第二节 瓶式碳模电阻熔焊	93
一、瓶式碳模电阻熔焊的特点	93
二、瓶式碳模电阻熔焊的原理	93
三、瓶式碳模电阻熔焊的设备	98
四、瓶式碳模电阻熔焊工艺	100
第六章 热剂焊	104
第一节 概述	104
一、热剂焊的原理及分类	104
二、热剂焊的特点及应用	105

第二节 铝导体的热剂焊 (药包焊)	106
一、药包焊的概况	106
二、药包焊基本过程的理论分析	106
三、药粉配方及用量	110
四、药包尺寸	115
五、高温火柴	116
六、堵头与焊钳	118
七、药包焊的工艺操作	119
第三节 铜导体及钢导体的热剂焊	121
一、铜导体热剂焊的原理及过程	122
二、熔模	124
三、夹具及其它工具	129
四、热剂焊工艺	131
五、药粉用量	132
六、热剂焊的应用	134
七、热剂焊的检验	138
第七章 钎焊	141
第一节 概述	141
一、钎焊原理	141
二、钎焊在电气工程中的重要地位	142
第二节 典型钎料	142
一、锡铅钎料	142
二、铝用锌基钎料	143
三、半导体器件用金基软钎料	143
四、钢基钎料	147
五、用于压力钎焊的钎料	148
六、钎料的形状和使用	150
第三节 钎剂	151
一、钎剂的作用	151

二、钎剂应具备的条件·····	151
三、电气工程中常用的钎剂·····	151
第四节 钎焊工具及装置·····	156
一、电烙铁·····	156
二、钎料槽·····	160
三、超声波烙铁·····	162
四、碳夹电阻钎焊机·····	162
五、印制电路板的自动焊机·····	163
六、其它加热装置·····	169
七、其它工具·····	179
八、各种加热器及自动钎焊装置的应用及选择·····	180
第五节 钎焊工艺及技巧·····	181
一、预焊·····	182
二、钎焊的三要素·····	184
三、烙铁的加热操作技巧·····	186
四、钎料的填充技巧·····	188
五、印制电路板钎焊工艺·····	191
六、微型件钎焊工艺·····	198
第六节 钎焊质量的检验及钎焊缺陷·····	204
一、外观检验的标准·····	204
二、钎焊缺陷分类·····	205
三、钎焊缺陷及其产生原因·····	207
第七节 钎焊的安全卫生·····	213
一、钎料对人体的影响·····	213
二、钎剂对人体的影响·····	214
第八节 混合集成电路中的共熔钎焊技术·····	215
一、有源器件芯片与基片的组装·····	216
二、外贴无源元件的共熔钎焊·····	220
第九节 磁盘存储器磁头带漆皮引线的脉冲钎焊·····	222
一、焊前准备·····	223

二、焊接参数及工作程序·····	224
三、钎料及钎剂·····	227
第十节 铝铝、铝铜的钎焊·····	229
一、钎焊铝铝、铝铜的钎料·····	229
二、钎焊铝铝、铝铜的钎剂·····	236
三、超声波钎焊的原理及应用·····	242
四、钎焊实例·····	243
第八章 铝铜母线的闪光焊 ·····	252
第一节 铝铜闪光焊工艺·····	253
一、材料要求及准备·····	253
二、焊接参数·····	255
第二节 铝铜闪光焊机·····	261
第三节 铝铜闪光焊的质量检验·····	264
第九章 铝铜的摩擦焊 ·····	267
第一节 概述·····	267
第二节 铝铜低温摩擦焊工艺·····	268
一、焊接温度·····	269
二、确定焊接参数·····	269
三、焊件的准备·····	275
四、模具·····	276
第三节 低温摩擦焊设备·····	279
第四节 摩擦焊接头的检验·····	284
第十章 冷压焊 ·····	285
第一节 概述·····	285
一、冷压焊的实质·····	285
二、冷压焊的形式·····	285
三、冷压焊的特点及应用·····	287
四、保证冷压焊质量的三要素·····	289
第二节 对接冷压焊工艺·····	291

一、顶锻力·····	292
二、伸出长度和顶锻次数·····	292
三、原材料的准备·····	294
四、钳口（模具）·····	295
第三节 对接冷压焊设备·····	298
一、对接冷压焊钳·····	298
二、冷压对焊机·····	298
第四节 搭接冷压焊·····	303
一、搭接冷压点焊·····	303
二、搭接冷压缝焊·····	307
三、其它形式的搭接冷压焊·····	307
四、国外冷压焊机简介·····	308
第五节 冷压焊工艺应用举例·····	310
一、大长度铝外导体管的冷压滚焊·····	310
二、石英谐振器的冷套压焊封装·····	315
三、铌-钛（Nb-Ti）合金超导线的冷压焊·····	316
第六节 加热的冷压焊（热压焊）·····	319
一、热压焊方法分类·····	319
二、热压焊微型件——金丝引线·····	321
第十一章 铝铜导线的电容储能焊 ·····	326
第一节 概述·····	326
第二节 电容储能焊的能量及设备·····	328
一、电容储能焊的能量·····	328
二、焊机工作原理·····	330
三、典型焊机·····	336
第三节 电容储能对焊工艺·····	339
第四节 电容储能焊接头缺陷分析·····	344
第五节 电容储能焊应用实例·····	346
一、精密线绕电位器抽头引线的电容储能点焊·····	346

二、金属箔电阻器引线的电容储能焊·····	348
第十二章 铝及其合金的电阻对焊 ·····	352
第一节 概述·····	352
第二节 电阻对焊的工艺及设备·····	353
一、工艺·····	353
二、设备·····	354
第三节 HL 型铝合金导线的电阻对焊·····	355
第十三章 超声波焊 ·····	357
第一节 概述·····	357
一、超声波焊的工作原理·····	357
二、超声波焊的优缺点及应用范围·····	357
三、超声波焊的新发展——热超声波焊、超声波群焊·····	360
第二节 超声波焊的焊接设备·····	360
第三节 超声波焊的焊接工艺·····	363
一、焊接参数的选择·····	363
二、上、下声极对质量的影响·····	365
第四节 超声波焊的应用举例·····	366
一、应用领域·····	366
二、应用实例——集成电路元件互连·····	368
第十四章 激光焊 ·····	376
第一节 激光焊的原理及特点·····	376
一、激光焊的原理·····	376
二、激光焊的特点·····	378
三、激光焊的分类·····	378
第二节 激光焊设备·····	378
第三节 脉冲激光焊·····	381
一、脉冲激光焊工艺及参数·····	381
二、脉冲激光焊的应用实例·····	384
第四节 激光焊安全防护·····	384

一、激光对人体可能造成的危害·····	384
二、激光的安全防护·····	385
三、人身防护·····	385
第十五章 电气接头的使用条件 ·····	386
第一节 铝铜接头的使用温度·····	386
第二节 合理设计铝铜接头尺寸·····	390
第三节 钎焊接头的使用温度·····	392
一、铜及铜合金软钎焊接头的使用温度·····	392
二、铝及铝合金用的软钎料及使用温度·····	396
三、电子工业用低熔点钎料的应用条件·····	398
第十六章 塑料护套的焊接 ·····	402
第一节 概述·····	402
一、农用塑料电缆的结构·····	402
二、绝缘层、护套对连接的要求·····	402
三、铝芯线的焊接方案·····	403
四、塑料焊接的方案分析·····	403
第二节 低温增塑法在电缆绝缘中的应用·····	404
一、低温增塑法的原理·····	404
二、低温增塑法的增塑剂配方及用量·····	404
三、低温增塑法的操作工艺·····	405
四、塑料绝缘带尺寸·····	406
第三节 热塑性焊接法在电缆护套密封中的应用·····	406
一、热塑性焊接中电阻丝与导电塑料环的比较·····	406
二、均匀加热电阻丝法热塑性焊工艺·····	407
第十七章 几种产品焊接方法的比较 ·····	410
第一节 电机、变压器铝绕组接线方法比较·····	410
一、线径为 $\phi 0.5 \sim \phi 1.56\text{mm}$ ，总截面不大于 10mm^2 的绕组（如 1~5 号机座电机）接线方法比较 ·····	410
二、多股铝绞线，总截面在 20mm^2 左右引线（如 6~9 号机座的电机）的接线方法比较 ·····	412

三、铝扁线（中型以上电机和变压器）的接线方法	
比较	413
第二节 电线电缆连接方法比较	415
一、铝（铝合金）线接长时的焊接	415
二、架空输电线的连接	415
三、敷设地下电缆时芯线的焊接	416
四、通信铝电线电缆的焊接	416
五、铝护套的连接	417
六、电缆端头超声波搪锡钎焊	418
第三节 电器开关板的搪锡比较	418
一、超声波搪锡法	418
二、化学搪锡法	419
第四节 铝铜预制接头的生产方法比较	419
一、线径 3mm 以下的接头	419
二、线径 3~6mm 的接头	419
三、线径在 6mm 以上的接头	419
四、大面积铝铜板的预制	421
第五节 超导体线材的焊接方法比较	421
一、铌-钛超导线的钎焊特点	422
二、铌-钛超导线真空电子束焊的特点	422
三、铌-钛超导线的冷压焊特点	423
第六节 混合集成电路焊接方法比较	423
一、有源器件芯片与基片的组装焊	423
二、集成电路各类引线的焊接比较	424
三、无源元器件的焊接比较	424
附录	426
附录 A 电气工程中铝铜焊接采用的各种焊接方法	
比较及应用	426
附录 B 各种产品接头的讨论方案	433
附录 C 各种脱漆剂的比较	436
参考文献	437

第一章 常用电气工程材料及其性质

电气工程中常用的材料种类很多，包括导体材料、弹簧材料、接点及接触材料、复合材料、封接材料等。其中，除弹簧材料外，均涉及焊接问题。

按使用要求，导体材料应具有优良的导电、导热、耐腐蚀性能、抗蠕变性及良好的加工性能；导体材料以铜、铝及其合金为主。此外新发展的超导材料还应具有超导等性能。电开关触点及接触材料除要求导体材料应具备的上述性能外，还要具有良好的耐磨性和表面抗氧化性（即低接触电阻），这种材料以贵金属金、银、铂及其合金为主，有时考虑到经济性，还用到以它们为基的双金属复合材料。电真空器件的封接材料包括与玻璃、陶瓷热膨胀系数相匹配的各种特殊合金。各类电缆的封接和封端材料则以铅及其合金为主。上述材料均需进行焊接，这是本书讨论的重点。

第一节 铜及其合金的性质

作为导体材料，最重要的性质是电阻率。1923年由设在罗马的国际电气工业委员会规定的标准软铜的电阻率为 $1.7241\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。通常比电导率的表示方法是将该标准的电导率作为100%，其它材料的电导率和它进行比较，以“% IACS”单位来表示。

电气工程中，铜是最主要的导体材料，它的电导率随含有的杂质种类和数量不同而有不同程度的下降。铜的纯度越

高，电导率越高。纯铜（俗称紫铜）中的杂质都是因冶炼时脱氧剂残留于铜内而形成的。

为了改善铜导体的其它性能，如耐热性、耐磨性等而加入某些元素时，也会降低其电导率。有目的地加入的元素就不能称为杂质，加入某些元素或成分的铜称为铜合金。

一、纯铜

作为高导电的纯铜大体按其纯度分为一号铜、二号铜等；电真空器件通常使用无氧铜，如一号无氧铜、二号无氧铜等。表1-1列出了电气用纯铜代号、化学成分及用途。表1-2列出了纯铜的主要物理性能和力学性能。由表1-2可见，纯铜具有加工硬化的性能，经过冷加工变形的纯铜，其强度可提高一倍，而伸长率下降好几倍。电阻率略有增加。上述的加工硬化效果可通过 $550\sim 660^{\circ}\text{C}$ 的退火处理予以消除。

纯铜的强度随纯度的降低而增加。退火状态的铜称为软铜，抗拉强度为 $196\sim 235\text{MPa}$ 。经冷作硬化的铜称为硬铜，抗拉强度为 $392\sim 490\text{MPa}$ 。作为导体材料，纯铜的强度允许电的机械紧固连接。铜表面氧化铜属于疏松型的膜，这是允许采用机械紧固连接的充分条件。

铜没有冷脆界限，它良好的延性和韧性可一直保持到液氮的温度，故适于作深冷条件下的导体材料。铜对大气、海水具有良好的耐腐蚀性。铜的优良导热性能也是铜成为优良导体材料的必要条件。

总之，由于铜具有极好的导电性、导热性、常温和低温延性、耐蚀性、冷变形和热变形性能，因此在电气工程中的用量占第一位。全世界铜产量的60%左右用在电力工业中。

值得注意的是铜在地壳中的贮藏量极少，约占0.01%