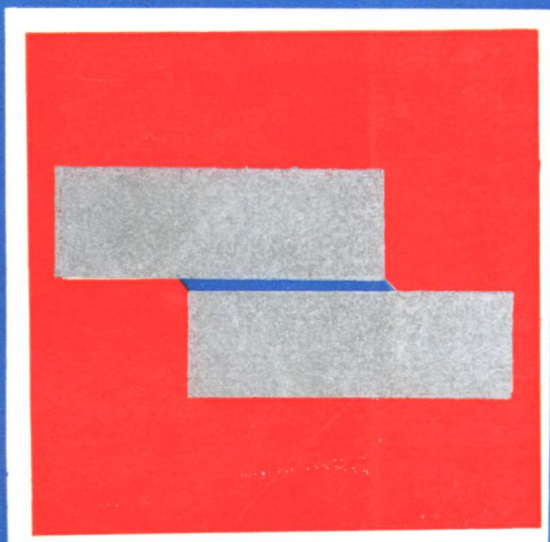


任耀文 编著



真空钎焊工艺

机械工业出版社

ISBN 7-111-03612-3/TG·790

定 价：10.00 元

真空钎焊工艺

任耀文 编著



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

本书是系统叙述真空钎焊工艺及设备的专著,它全面介绍了真空钎焊的必备知识,并对真空钎焊近年来的新发展及国内外典型真空钎焊设备进行了详细介绍。重点叙述了常用金属材料、不锈钢、高温合金、难熔金属、硬质合金、陶瓷、石墨、金刚石聚晶等材料的真空钎焊工艺。书中大量实例均为作者亲自实践,对指导生产具有实用意义。

本书可供设计员和从事焊接的科研生产人员阅读,也可作为大专院校焊接专业及热处理专业师生的参考用书。

真空钎焊工艺

任耀文 编著

*

责任编辑:金晓玲 责任校对:贾立萍

封面设计:方芬 版式设计:王颖

责任印制:卢子祥

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

人民交通印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张11³/₄·字数246千字

1993年8月北京第1版·1993年8月北京第1次印刷

印数 0 001—1 850·定价:10.00元

*

ISBN 7-111-03612-3/TG·790

序

真空钎焊是一种发展很快的连接工艺，它以独特的优越性首先用于航空、航天、核能、电子等尖端科学领域。随着特殊工程材料的广泛应用及真空钎焊技术自身的迅速发展，使其在机制、工具、家电、汽车，能源等领域应用日益广阔。

本书作者系多年专职从事真空钎焊工艺应用研究与实践者，在军工与民用工业结合的科研生产中积累了丰富的实践经验，取得了许多科研成果，书中列举的大量图例均为作者亲身经历，提供的资料数据可靠性高，具有较强的实用价值。书中许多章节也属真空钎焊近年发展的新课题，对于从事这方面教学和科研的同志具有很好的参考价值。

相信此书的出版发行，会对我国真空钎焊技术的发展及推广普及起到一定促进作用。

庄鸿寿

前 言

真空钎焊技术起源于本世纪40年代末50年代初，由于受设备、钎料及研究条件的限制，直到70年代初仅仅在航空、航天、核能、电子工业中数量不多的产品上应用。近20年来，随着新型工程材料，特殊构件的连接需求，促进了真空钎焊技术的迅猛发展；从事生产和研究真空钎焊设备，钎料及工艺的人越来越多，使其以独特的优越性，广泛应用于电子电机、家用电器、汽车、工具、真空技术、地质勘探、石油化工、医疗器械、饮食机械等行业；在连接异种金属、金属与非金属方面起到了其它连接技术难以实现的作用，该项技术得到越来越多工程技术人员的关注。但较系统叙述真空钎焊理论及工艺方法的专著还很缺乏，能直接用于生产实践的书更少。作者根据长期专职从事真空钎焊的应用研究及生产实践，将自己几十年的经验编著成书，其中80%的图例是作者亲自实践的，对同行借鉴具有较高实用性及可靠性。

此书在编著过程中曾得到庄鸿寿教授的悉心指导；薛崇貌教授对书稿进行了认真地修改和校阅；邱惠中高级工程师提供了宝贵的参考资料；王昆高级工程师对该书的出版给予很大帮助，作者在此向他们表示由衷的谢意。

由于本人水平有限，错误难免，敬请指正。

作者于西安

1992.1.20

目 录

序

前 言

第一章 绪论 1

第一节 真空钎焊概述 1

一、真空钎焊的发展简况 1

二、真空钎焊的优越性 2

三、真空钎焊技术的应用 4

第二节 真空及其在钎焊过程中的作用 5

一、真空及其度量 5

二、真空在钎焊工艺过程中的作用 7

第二章 真空钎焊接头的形成机制 12

第一节 真空状态下氧化膜的去除过程 12

第二节 钎料的填缝原理 15

一、钎料的润湿与铺展 15

二、钎料的毛细流动 18

第三节 液态钎料与母材的相互作用 20

一、母材向钎料的溶解 21

二、钎料向母材的扩散 23

三、钎缝的成分和组织 26

第三章 真空钎焊接头设计 30

第一节 真空钎焊接头设计 30

一、真空钎焊接头类型 30

二、设计接头型式的依据和原则 33

第二节 钎焊间隙的选定	38
一、钎焊间隙对接头性能的影响	38
二、钎焊间隙值的选定	43
第三节 钎缝的强度试验	48
一、钎缝的拉伸试验	48
二、钎缝的剪切试验	50
第四节 接头设计实例	52
一、热交换器类	52
二、高应力接头	54
三、毛细管类组件	56
四、其它典型接头	58
第四章 真空钎焊用钎料	62
第一节 真空钎焊工艺对钎料的要求	62
第二节 常用钎料的选用	63
一、铝基钎料	63
二、银基钎料	64
三、铜基钎料	70
四、镍基钎料	75
五、钴基钎料	84
六、金基钎料	86
七、锰基钎料	90
八、钼基钎料	94
九、钛基钎料	97
十、非晶态钎料	100
第三节 钎料工艺性能的评定	101
一、钎料流动温度的测定	101
二、钎料对母材的润湿性试验	102
三、钎料的流动性试验	102
四、钎料填充性能试验	103
五、钎料对母材的溶蚀性试验	103

第五章 真空钎焊工艺	104
第一节 零件钎焊前的表面制备	104
一、除油	104
二、清除氧化膜	108
三、零件表面的预处理	110
第二节 零件的组装和定位	111
一、自重定位	112
二、紧配合定位	112
三、毛刺定位	113
四、焊点定位	114
五、夹具定位	115
第三节 钎料的选择与放置	116
一、钎料的选择	116
二、钎料的放置	119
三、钎料流动的控制	124
第四节 工艺参数的选定	126
一、真空度	126
二、加热速率	128
三、稳定温度和保持时间	129
四、钎焊温度	129
五、钎焊保温时间	131
六、冷却速率	133
七、出炉温度	133
第五节 典型的真空钎焊工艺参数曲线	133
第六章 常用金属材料的真空钎焊	140
第一节 铜及铜合金的真空钎焊	140
一、材料性能	140
二、钎焊特点	141
三、可选用的钎料	145
四、钎焊工艺要点	145

五、典型产品的钎焊	148
第二节 铝及铝合金的真空钎焊	151
一、材料性能	151
二、钎焊特点	151
三、可选用的钎料	154
四、钎焊工艺要点	154
五、典型产品的钎焊	158
第三节 钛及钛合金的真空钎焊	159
一、材料性能	159
二、钎焊特点	160
三、可选用的钎料	162
四、钎焊工艺要点	165
五、典型产品的钎焊	165
第四节 碳钢及低合金钢的真空钎焊	169
一、钎焊特点	169
二、可选用的钎料	172
三、钎焊工艺要点	172
四、典型产品钎焊	172
第五节 不锈钢的真空钎焊	179
一、材料性能	179
二、钎焊特点	184
三、可选用的钎料	185
四、钎焊工艺要点	185
五、典型产品的钎焊	185
第六节 高温合金的真空钎焊	192
一、材料性能	192
二、钎焊特点	196
三、可选用的钎料	197
四、钎焊工艺要点	197
五、典型产品的钎焊	200

第七章 特殊工程材料的真空钎焊	204
第一节 硬质合金的真空钎焊	204
一、硬质合金材料	204
二、钎焊特点	204
三、钎料选择	206
四、钎焊工艺	207
五、应用实例	208
第二节 陶瓷的真空钎焊	212
一、陶瓷材料	212
二、钎焊特点	213
三、钎料选择	215
四、钎焊工艺	215
五、应用实例	218
第三节 石墨和金刚石聚晶的真空钎焊	221
一、石墨和金刚石聚晶材料	221
二、钎焊特点	222
三、钎料选择	222
四、钎焊工艺	223
五、应用实例	223
第四节 难熔金属的真空钎焊	227
一、钨的真空钎焊	228
二、钼的真空钎焊	229
三、钽和铌的真空钎焊	233
四、应用实例	234
第五节 精密合金的真空钎焊	236
一、贵金属触点材料的真空钎焊	236
二、软磁合金的真空钎焊	238
三、膨胀合金的真空钎焊	240
四、应用实例	241
第六节 复合材料的真空钎焊	242

一、材料特性	242
二、钎焊特点	243
三、钎料选择	244
四、钎焊工艺	244
第八章 真空钎焊质量控制	246
第一节 钎缝缺陷分析、预防及补救	246
一、钎缝缺陷分析	247
二、缺陷预防措施	246
三、缺陷补救方法	250
第二节 影响钎缝质量的几种因素	251
第三节 真空钎焊质量检验	254
一、无损检验	255
二、破坏性检验	260
三、工况模拟试验	262
第九章 真空钎焊的新工艺	264
第一节 真空钎涂	264
一、真空钎涂的机理和特征	264
二、真空钎涂用合金	265
三、真空钎涂工艺	266
四、真空钎涂的应用实例	268
第二节 真空补钎	273
一、真空补钎的机理和特征	273
二、真空补钎用钎料	274
三、真空补钎工艺	276
四、真空补钎的应用实例	278
第三节 扩散钎焊	283
一、扩散钎焊的机理和特征	283
二、扩散钎焊用钎料	284
三、扩散钎焊工艺	285
四、扩散钎焊的应用实例	288

第四节 大间隙钎焊.....	290
一、大间隙钎焊的机理.....	290
二、大间隙钎焊用钎料.....	290
三、大间隙钎焊工艺.....	292
四、大间隙钎焊的应用实例.....	293
第十章 真空钎焊设备	297
第一节 真空钎焊炉类型及结构.....	297
一、真空钎焊工艺对真空炉的要求.....	297
二、真空钎焊炉的分类.....	298
三、热壁真空炉.....	298
四、冷壁真空炉.....	300
第二节 真空钎焊炉的使用和维修.....	309
一、真空炉的正确使用.....	309
二、真空炉的性能试验及检漏.....	311
三、真空炉故障及其排除.....	317
四、真空炉的保养和维护.....	320
第三节 国内外真空炉简介.....	322
一、国外真空炉.....	322
二、国内真空炉.....	329
三、真空炉典型结构.....	334
参考文献.....	349

第一章 绪 论

真空钎焊是在真空气氛中不用施加钎剂而连接零件的一种先进工艺方法，可以钎焊那些用一般方法难以连接的材料和结构，而得到光洁致密、具有优良力学性能和抗腐蚀性能的钎焊接头。目前，这种工艺不仅在航空、航天、原子能、电气仪表等尖端工业中成为必不可少的生产手段，而且在石油、化工、汽车、工具等有关机械制造领域中得到了推广和普及。为此，需要有关设计、施工和管理的人员更多地来熟悉和掌握它，以期通过今后的生产实践和研究试验，能使这一科学技术取得更进一步的充实和发展，在各类工业生产中发挥更大的作用。

第一节 真空钎焊概述

一、真空钎焊的发展简况

真空钎焊技术与其它各种科学技术的发展一样，达到今天的水平，是经历了一条漫长而艰难的道路。最初的钎焊都是在普通大气条件下进行的，不采用任何保护措施，工件材料在加热过程中，必然会遭受周围大气的侵入，发生氧化或污染，钎焊接头质量得不到保证。为了防止氧化污染，去除工件表面的氧化膜和改善钎缝形成过程，人们使用银基或铜基钎料，并配合使用硼酸和硼砂等化合物作为钎剂，使接头质量得到了极大的提高，钎焊工艺的应用范围也得到较大的扩展。

随着现代科技与生产的迅猛发展和航天、航空、原子能

等尖端工业的兴起,新的铝合金、钛合金和高温合金等特殊材料的不断涌现和使用,对钎焊技术提出了越来越高的要求,仅只依靠钎剂提高钎焊质量已不可能满足要求,人们发展了一种不用钎剂、而向钎焊区域通入受控保护气体如氮气、氢气或惰性气体氩的炉中钎焊工艺,取得了很大的效果,解决了不少生产难题。但是,这类工艺消耗气体多,经济效益差,对环境会造成污染,而且使用氢气时,还可能会有爆炸危险,使推广受到了一定限制。为了克服这些不足,随着真空技术的发展,真空钎焊技术便应运而生。

最早的真空钎焊使用热壁真空炉,炉室较小,容纳零件有限,使用温度也受限制,冷却周期长,适应被钎焊材料的范围也较窄,加之用于高温、高强部件的钎料为金基钎料或贵金属钎料,钎焊成本高,致使真空钎焊技术在这时期的应用仅限于少数尖端产品,得不到普遍的推广。

1948年,美国Wall Colonomony公司首先研制出可用于高温部件、具有高强性的镍基钎料AMS4775,使钎料的成本降低了80%左右,对真空钎焊技术的发展起到了极大的促进作用。

1958年,美国Ipsen公司首先研制成功真空密封高速风扇电机惰性气体循环真空炉,具有强制对流冷却机能。这种新型真空炉的使用,为真空钎焊技术在各个工业领域内的广泛应用奠定了物质基础。

在我国,真空钎焊技术应用较晚,但自70年代后期开始,在研究、使用和发展真空钎焊方面取得了很大的进展,相信不久的将来,必将会使这一先进的生产技术应用更为广泛。

二、真空钎焊的优越性

真空钎焊技术能够得到如此迅速的发展和应用,主要是

因为它与其它钎焊方法相比，具有一系列的优点：

1) 在全部钎焊过程中，被钎焊零件处于真空条件下，不会出现氧化、增碳、脱碳及污染变质等现象。

2) 钎焊时，零件整体受热均匀，热应力小，可将变形量控制到最小限度，特别适宜于精密产品的钎焊。

3) 基体金属和钎料周围存在的低压，能够排除金属在钎焊温度下释放出来的挥发性气体和杂质，可使基体金属的性能得到改善。

4) 因不用钎剂，所以不会出现气孔、夹杂等缺陷，可以省掉钎焊后清洗残余钎剂的工序，节省时间，改善了劳动条件，对环境无污染。

5) 可将零件热处理工序在钎焊工艺过程中同时完成；选择适当的钎焊工艺参数，还可将钎焊安排为最终工序，而得到性能符合设计要求的钎焊接头。

6) 可一次钎焊多道邻近的钎缝，或同炉钎焊多个组件，钎焊效率高。

7) 可钎焊的基本金属种类多，特别适宜钎焊铝及铝合金、钛及钛合金、不锈钢、高温合金等。也适宜于钛、锆、铌、钼、钨、钽等同种或异种金属的钎焊。对于复合材料、陶瓷、石墨、玻璃、金刚石等材料也适用。

8) 开阔了产品设计途径，对带有狭窄沟槽、极小过渡台、盲孔的部件和封闭容器、形状复杂的零组件均可采用，无需考虑由钎剂等引起的腐蚀、清洗、破坏等问题。

但是，这并不意味着真空钎焊可以完全取代其它钎焊技术，因为事物都是一分为二的，它也不可避免地存在一些缺点：

1) 在真空条件下金属易于挥发，因此对含易挥发元素的

基本金属和钎料不宜使用真空钎焊。如确需使用，则应采用相应的复杂的工艺措施。

2)真空钎焊对钎焊前零件表面粗糙度、装配质量、配合公差等的影响比较敏感，对工作环境和工人理论水平要求高。

3)真空设备复杂，一次性投资大，维修费用高。

三、真空钎焊技术的应用

1.在航空航天工业中的应用

目前，不论国内或国外，真空钎焊技术应用最广泛的领域是航空航天工业。由于现代航空航天发动机推力大，燃油温度高，使用结构材料多为含铝钛量较高的高温合金。这些材料的熔焊性能极差，主要依靠真空钎焊进行连接。例如：发动机导流叶片、高压涡轮导向器叶片，转子叶片，整流器，扩压器，燃烧室燃油喷嘴，高压压气机冠环组件，燃烧室头部转接段，发动机下舱，机舱加热器，燃烧室外衬套，高压涡轮轴承座，尾喷管涡轮，封严和换热用蜂窝结构，俯冲制动器，微波反射器，火箭发动机外壳，液化空气换热器，气流分离片，气动调节器，排气管等，都是采用真空钎焊方法制造的。

2.在电子工业中的应用

电子工业中，真空钎焊广泛用于金属与陶瓷、金属与玻璃等非金属的封接，以及大功率电子管的真空钎封。大型电子计算机冷却用的各式热交换器，大功率晶闸管安装座，强电流贵金属点接触元件，磁性线圈骨架等，也都是采用真空钎焊连接的。

3.在汽车、动力等工业中的应用

汽车发动机用的板翅式机油冷却器、散热器、汽化器、