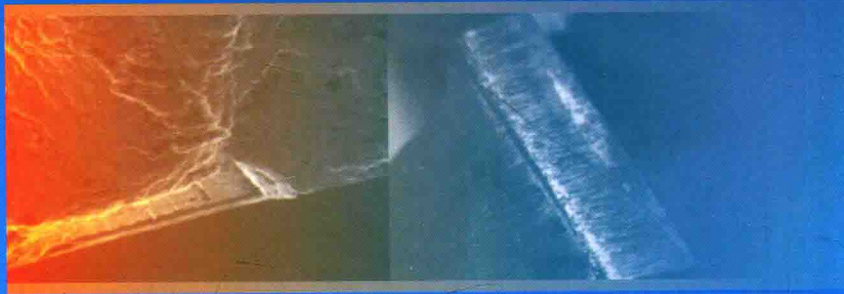

典型难焊接材料 焊接技术

李淑华◎编著



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

典型难焊接材料焊接技术

李淑华 编著

中国铁道出版社

2016年·北京

内 容 简 介

本书针对铝、镁、钛为代表的轻质结构材料、先进陶瓷材料和异种材料的焊接问题,讨论了可焊性,给出了具体的焊接方法、工艺参数和相关技术数据,并结合国内外研究的最新成果,针对特殊材料焊接时面临的问题和容易产生的缺陷给出了具体解决措施。全书力求突出新颖性、实用性和先进性,以期为读者实现这些典型材料的焊接提供帮助和指导。

图书在版编目(CIP)数据

典型难焊接材料焊接技术/李淑华编著. —北京:

中国铁道出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-113-21041-0

I. ①典… II. ①李… III. ①焊接工艺 IV. ①TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 242368 号

书 名: 典型难焊接材料焊接技术

作 者: 李淑华

责任编辑: 张 瑜

编辑部电话: 010-51873371

编辑助理: 袁希翀

封面设计: 崔 欣

责任校对: 马 丽

责任印制: 陆 宁 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

开 本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 14.25 字数: 375 千

书 号: ISBN 978-7-113-21041-0

定 价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)51873659, 路电(021)73659, 传真(010)63549480

前 言

随着先进结构材料和功能材料的不断发展和应用,以铝、镁、钛为代表的轻质结构材料、金属间化合物、电子信息材料、复合材料、先进陶瓷材料的应用逐渐增加,但如何焊接这些材料,以及如何提高接头质量的可靠性,一直是摆在焊接工作者面前的一道难题。如:铝及铝合金焊接中的气孔、热裂纹和接头“等强性”问题;镁及镁合金焊接过程中的氧化、氮化、蒸发、热裂纹、气孔和烧穿缺陷等问题;钛及钛合金焊接过程中的焊接接头脆化、裂纹和气孔等问题;陶瓷与金属焊接过程中的润湿性与应力缓解问题等。

提高以上材料的焊接性能,同时加强焊接工艺与控制技术的研究,提高难焊接材料的焊接质量,获得优质焊接接头,是进一步拓宽这些材料应用范围的重要条件。目前,焊接这些材料的技术虽然已经取得了重大突破,能基本满足急需生产的部分要求,但仍存在很多迫切需要解决的问题。如焊接技术过分依赖经验和试验,焊工的劳动条件仍然还很差,在新能源、太空及含氧气氛焊接的开发中,焊接技术仍然面临巨大的挑战,需要焊接工作者的更大努力。为了使我国从制造大国迈向制造强国,焊接作为制造业的关键技术,将发挥越来越重要的作用。

当前很多重要的工程技术问题必须采用焊接才能解决,而且焊接接头可能在复杂、严酷的条件下工作,甚至要在极限条件下实现材料焊接。钎焊、扩散焊、摩擦焊和压焊等非熔化焊技术以及高能束流焊接方法具有对基体原始组织热损伤小的

优势,在这些材料的连接领域受到了普遍的重视和快速发展。以激光束、电子束、等离子束为代表的高能束流焊接技术可大幅度提高生产效率,在进行厚板焊接时甚至可以不开坡口直接对接焊,因此近年来得到了较多的重视和发展,尤其是采用激光复合电弧的焊接技术受到了极大的关注。但考虑到电弧熔化焊仍是目前焊接生产中的基础技术,保持高效、优质、低成本的焊接过程是人们一直所关注的方向。因此,本书在编写过程中,力求尽量采用较简便的焊接方法实现典型难焊接材料的焊接,焊接工艺力求突出实用性和先进性。

本书是作者集多年的科研及生产技术经验,并参考相关技术书籍和文献编写而成的。全书汇集了铝及铝合金的焊接、镁及镁合金的焊接、钛及钛合金的焊接、陶瓷的连接、异种材料焊接与连接、钎焊六部分典型材料、先进材料和难焊接材料的焊接及焊接过程中面临的问题及其解决方法,并且针对一些棘手问题,还提供了国内外研究者的最新研究数据和解决方案,供读者参考。

在本书编写过程中,得到了军械工程学院的大力支持,并参考了其他作者的相关文献,引用了部分作者的照片。在此,对关心和支持作者的领导和同仁、对相关著作作者表示衷心的感谢!

由于作者学识水平和实践范围所限,书中所涉及的范围较窄,难免有错误之处,恳请读者批评指正。

作者

2015年6月

目 录

第一章 铝合金焊接	1
一、哪些方法可以用来焊接铝及铝合金？各有什么特点？	1
二、如何进行铝及铝合金的焊接？	4
三、如何避免铝及铝合金焊接过程中产生气孔？	8
四、如何防止铝及铝合金的焊接热裂纹？	9
五、如何解决焊接过程中铝及铝合金接头的“等强性” 问题？	10
六、如何进行 LC9CS 超硬铝合金的焊接？	11
七、哪种焊接方法适宜焊接铝合金薄板？	15
八、如何选择保护气体才能防止和减少铝合金焊缝中 的气孔？	17
九、如何焊接才能减小高强铝合金薄板结构中的残余 应力？	21
十、如何采用超声冲击处理技术提高铝合金焊接接头 的强度？	24
十一、如何控制铝合金薄板焊接过程中的变形？	30
十二、如何进行铝合金角接结构的搅拌摩擦焊？	37
十三、如何进行 6061 铝合金薄板的超声波点焊？	42
十四、激光-MIG 复合焊接铝合金时如何选择保护气体？	48
第二章 镁合金焊接	56
一、如何采用钨极氩弧焊焊接挤压的 AZ31 镁合金板材？	56

二、如何提高 AZ31B 镁合金 TIG 焊接头的力学性能?	59
三、如何增加镁合金 TIG 焊的焊缝熔深?	66
四、焊接中如何通过改变工艺参数调节镁合金焊接接头的力学性能?	71
五、采用 CO ₂ 激光焊焊接 AZ61 和 AZ31 镁合金各有什么特点?	76
六、如何解决 AZ31 镁合金 CO ₂ 激光焊焊缝下塌问题?	84
七、如何通过磁控焊接提高 AZ31 镁合金焊接接头的力学性能,降低其热裂敏感性?	90
八、如何采用电磁搅拌技术实现 AZ61 镁合金的 TIG 焊接?	96
九、如何采用 TIG 焊进行 AZ91 镁合金焊接?	102
十、如何改善 AZ91 镁合金的焊接性,提高焊接接头的力学性能?	107
十一、AM50 镁合金 TIG 焊接过程中如何选取焊接工艺规范?	110
十二、如何进行 AM60 变形镁合金薄板的激光焊接?	117
十三、如何进行 ZK60 镁合金的焊接?	122
十四、如何进行 ZK60-Gd 镁合金的搅拌摩擦焊?	126
十五、如何进行厚板镁合金的搅拌摩擦焊?	132
十六、如何进行镁合金小孔变极性等离子弧焊接?	137
第三章 钛合金焊接	143
一、如何采用氩弧焊焊接纯钛?	143
二、如何进行工业纯钛 TA2 阀门构件的焊接?	149
三、如何进行小直径 TA2 钛管的氩弧焊?	156
四、如何进行钛合金的焊接?	160
五、焊接前为防止 TC4 钛合金产生氢脆如何对其进行酸洗?	172
六、如何进行 TC6 钛合金的焊接?	174

七、如何降低 TC6 钛合金热影响区脆性?	177
八、如何进行钛合金的高效焊接?	183
九、如何进行 TA15 钛合金的高压及中压电子束焊接?	189
十、如何进行 TC2 钛合金换热管与管板的焊接?	194
十一、如何利用超声冲击消除钛合金焊缝的残余应力?	199
十二、如何进行钛合金厚板的窄间隙 TIG 焊?	203
十三、采取哪种方法焊接可得到使用性能良好的 TC18 钛合金焊接接头?	209
十四、采取哪些措施可以控制或减少钛及钛合金的焊 接缺陷?	215
十五、如何利用助焊剂消减钛合金焊接气孔?	216
第四章 陶瓷的连接	221
一、如何连接 SiC 陶瓷件?	221
二、如何提高氮化硅陶瓷连接处的结合强度?	226
三、如何采用微波技术连接陶瓷材料?	233
四、如何采用聚硅氮烷连接剂和纳米铝粉连接无压烧 结的 SiC 陶瓷?	241
五、如何采用坯体连接技术连接先进陶瓷?	243
六、如何进行氧化锆陶瓷的润湿及钎焊?	246
七、如何用有机硅树脂连接结构陶瓷?	252
第五章 异种材料焊接与连接	256
一、如何将 0Cr18Ni9 不锈钢与 16Mn 低合金钢焊接在 一起?	256
二、如何焊接 06Cr19Ni10 与 Q235B 钢才能使之避免焊 接缺陷?	259
三、如何避免承重结构 T 型焊缝中 18MnMoNb 与 Q345A 钢焊后的层状撕裂?	261
四、如何焊接才能保证动载荷结构的 18CrMnMoB 与 Q345D	

在使用中不产生裂纹?	263
五、如何焊接 45 号钢与 12Cr18Ni9 不锈钢才能使焊接 接头的性能达到设计指标?	266
六、如何进行 254SMO 超级奥氏体不锈钢与 Q235B 普 通碳素结构钢焊接?	269
七、如何进行调质状态的 30CrMo 与 16Mn 钢的焊接? ...	271
八、如何进行硬质合金与 45 号钢的焊接?	273
九、如何实现 TiAl 金属间化合物与 GH3536 镍基高温 合金的焊接?	283
十、如何焊接 12Cr12Mo 珠光体耐热钢与 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢才能使之不产生裂纹?	284
十一、如何焊接避免 12Cr12Mo 珠光体耐热钢与 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢接头产生晶间腐蚀?	285
十二、如何焊接硬质合金 YT767 与 45 号钢钴削刀具才 能满足其性能要求?	286
十三、如何焊接 Q345 与 1Cr18Ni9Ti 不锈复合钢板并防 止其出现焊接裂纹?	289
十四、焊接中如何避免钛与钢的复合板焊缝产生气孔?	292
十五、如何避免钛-钢复合板焊接过程中产生热裂纹?	293
十六、如何焊接才能保证焊后的钛-钢复合板的钛焊缝 和热影响区表面颜色一致?	294
十七、如何将铝合金与镀锌钢板焊接在一起?	295
十八、如何采用激光滚压焊技术连接异种金属?	303
十九、如何进行高纯 Al_2O_3 陶瓷和不锈钢的高强度连接? ...	311
二十、如何进行陶瓷与金属的活性封接?	314
二十一、金属与陶瓷连接时如何选择中间过渡层材料?	318
二十二、SiC 陶瓷及 SiC 陶瓷基复合材料与金属连接时 如何选用中间层材料?	324
二十三、如何进行石墨/Ni+Ti 体系的润湿与连接?	325
二十四、如何将金刚石与金属连接在一起?	332

第六章 钎 焊	336
一、如何将钨钴硬质合金与 45 号钢焊接在一起?	337
二、如何将 40Cr 钢与 YG8 硬质合金焊接在一起?	341
三、如何采用火焰钎焊焊接 6061 汽车用铝管管件?	349
四、如何进行 TC4 钛合金的钎焊?	353
五、如何焊接不锈钢与碳钢制备的复合钢板?	357
六、如何将氧化铝和铜焊接在一起?	362
七、如何进行电极触头的钎焊?	367
八、如何对重要构件进行钎焊连接?	370
九、如何进行热挤压银石墨触点的钎焊?	375
十、如何进行颗粒增强石英纤维复合材料与因瓦合金 的钎焊?	381
十一、如何进行高纯石墨的钎焊?	389
十二、如何进行钛与铜的钎焊?	396
十三、如何进行钨与铜的钎焊?	400
十四、如何减少钎剂中活化组分对微连接电路的腐蚀性? ...	406
十五、如何提高铜铝异种金属钎焊接头的抗电化学腐 蚀性能?	414
十六、如何解决钎焊过程中紫铜与铜钨合金焊接接头 出现的强度和硬度降低问题?	417
十七、如何采用无银钎料进行导电铜质器件的钎焊?	422
十八、如何利用火焰钎焊焊接冷凝管?	427
十九、如何进行紫铜管的火焰钎焊?	434
参考文献	439

第一章 铝合金焊接

铝合金具有高的比强度、良好的抗腐蚀性、易加工成型和导热性能好等优点,在航天航空、汽车等行业中已大量应用。与工程结构钢和不锈钢相比,铝合金作为结构材料,其质量轻、强度高、外观好,耐腐蚀性能好,而造价又低于不锈钢结构,尤其适用于一些在较强腐蚀环境下服役的结构体。但作为焊接结构材料,由于铝合金的热膨胀系数大、弹性模量小,焊接变形问题相当突出。铝表面有一层熔点高、比重大且易吸附水分的氧化膜(Al_2O_3),焊接时,如果工艺措施不当,氧化膜会阻碍焊缝金属间的相互熔合,形成氧化物夹杂和密集型气孔,影响焊缝质量。因此,了解铝合金的焊接方法、工艺特点对保证铝合金焊接质量尤为重要。本章主要根据铝合金焊接过程中遇见的各种问题介绍其焊接方法和工艺措施。

一、哪些方法可以用来焊接铝及铝合金? 各有什么特点?

铝及铝合金产品具有轻质、高强、大规格、耐高温、耐腐蚀和耐疲劳等优点,在航天、航空、汽车等行业中越来越具有不可替代性。铝及铝合金的焊接已经不仅仅局限于以前的焊条电弧焊、气体保护焊等基本的焊接方法,现也逐步向高质量、高效率、高新技术、低成本、低能耗、低劳动强度的方向发展。铝及铝合金的传统焊接方法主要有钨极氩弧焊(TIG焊)、熔化极氩弧焊(MIG焊)和电子束焊,它们的优点是技术成熟,设备简单,相对于新型的焊接技术来说更能节约成本,但也存在一定的局限性。例如,采用以

上这些焊接方法,一些高强铝合金或结构复杂的构件无法进行高质量的焊接,而且焊接过程中有时还容易出现气孔、焊接热裂纹、接头“等强性”不等强等问题。随着科学技术的发展,焊接技术也在不断更新,焊接方法不断更新,使之被焊接的材料与构件的质量不断提高。

随着微处理单元(MCU)以及数字信号处理器(DSP)等科技的发展,结合传统的 TIG 焊和 MIG 焊,目前开发出了双焊枪 TIG 焊、低脉冲 MIG 焊和交流 MIG 焊等焊接方法。革新后的焊接技术在保证焊缝质量的基础上,提高了生产效率,降低了成本。双焊枪 TIG 焊与传统的交流 TIG 焊相比,不仅简化了焊接工艺和节约了能量,而且在焊缝强度和延展性上都有了很大的提高。低脉冲 MIG 焊在质量上可以代替传统的 TIG 焊,减少焊接气孔并细化晶粒、降低焊缝裂纹敏感性,可以用来焊接对表面质量和内在质量均要求较高的铝合金部件(如自行车架、壳体、油箱等)。

铝及铝合金的激光焊、电子束焊、变极性等离子电弧焊等均属于高能密度焊。激光焊诞生于 20 世纪 60 年代,主要有 CO₂ 和 YAG 等激光焊,其主要优点包括以下三个方面:一是能量密度高,深穿透,焊缝热影响区小,变形小,接头强度高;二是生产速度快,效率高;三是焊接过程中可采用自动化和精密控制,实现对密闭透明物体内部的金属材料进行焊接,但由于铝合金对激光具有很高的反射性且由于其自身的热导率较高,因此焊接中容易产生气孔、热裂纹。铝合金高温支持强度低,铝及铝合金焊缝在焊接中容易产生塌陷和接头软化等缺陷。为了克服铝及铝合金焊接过程中的这些缺点,近几年国内外对激光焊接技术不断改进,研究了复合激光焊接技术、双束激光焊和超声振动激光焊等。如激光 TIG 焊和激光 MIG 焊,分别适用于薄板和厚板的焊接。目前激光焊在航空航天、汽车制造、轻工电子等领域得到广泛应用。

电子束焊的研究开始于 20 世纪 50 年代,电子束焊分为真空电子束焊和非真空电子束焊两大类,但通常焊接都是采用真空电子束焊接。真空电子束焊接的突出特点是精确、快速、高功率、密度高、

高穿透能力强、可控性好、保护效果好。铝合金的电子束焊接,由于能量密度高,可大大减小热影响区,提高焊接接头强度,可避免热裂纹等缺陷的产生,且由于穿透能力强,所以可对难以焊接的铝合金厚板进行焊接。因此,在航空、航天和汽车制造业等领域,质量要求高的铝合金零部件均是采用电子束焊进行加工,如运载火箭的贮箱壳体和汽车的变速器齿轮等均采用电子束焊。

变极性等离子电弧焊又被称为“零缺陷焊”,它的研究开始于20世纪80年代。变极性等离子电弧焊在铝及铝合金焊接中的优点是具有很高的能量密度和射流速度(射流速度是普通电弧射流速度的2~15倍),使其能量更集中,线能量更小,焊接变形小,接头性能可以和母材等强;变极性等离子电弧焊一次可以焊很厚的板,最厚可达25 mm,可以单面焊双面成型,变极性等离子电弧焊接铝的这些优点可以大大地减少焊接工序和缩短焊接时间,使焊接过程既可以提高工作效率,又可以提高焊接构件的质量。目前变极性等离子弧焊接主要应用于航天产品的焊接中。例如,美国波音公司的“自由号空间站”项目中就应用了该变极性等离子电弧焊焊接方法。目前,我国关于变极性等离子弧焊接的研究还处于试验阶段,还没有真正的应用到实际焊接中,但是其未来的发展空间很大。

搅拌摩擦焊是1991年由英国焊接研究所首次提出的。搅拌摩擦焊经过20多年的发展,如今已经作为一种新兴技术泛应用于军事和工业等领域。搅拌摩擦焊具有无焊接变形、残余应力小、焊接接头的综合力学性能优良、成本低、适用范围广、焊接质量对人的依赖程度很低等优点。搅拌摩擦焊的局限性是焊接时机械力很大,需要焊接设备有很好的刚性;与弧焊相比,搅拌摩擦焊缺少焊接操作的柔性。但搅拌摩擦焊作为先进的固态连接技术,尤其是应用在现代运载工具的高速化、轻型化进程中,技术经济效益显著。因此正在大面积取代熔焊方法,广泛应用于铝合金结构的连接制造。

由此可见,随着焊接技术的发展以及计算机控制与焊接技术

相结合,铝及铝合金的焊接已经不仅仅局限于以前的焊条电弧焊、气体保护焊等基本的焊接方法,发展趋势也逐步向高质量、高效率、高新技术、低成本、低能耗、低劳动强度的方向发展。随着微处理单元(MCU)以及数字信号处理器(DSP)等科技的发展,全数字化焊机正在广泛的应用到实际生产中。自动化、智能化的焊接过程能够保证焊接质量的稳定性,以及恶劣环境下工作人员的安全。随着激光焊和搅拌摩擦焊等新型焊接技术的发展,有些历来被视为不可焊的硬铝及超硬铝合金,通过新型的氩弧焊、氦弧焊、搅拌摩擦焊等方法及特殊焊接材料的配合,已成为可焊的铝合金并制成高新产品,应用在航空、航天和动车等高新领域,以及船舶业和汽车业中。新型的焊接技术有着更高的稳定性、高效性以及可应用性,在未来几年内将得到广泛应用来代替传统的铝及铝合金焊接方法。

二、如何进行铝及铝合金的焊接?

铝及铝合金材料因具有价廉、质轻及良好的低温力学和加工性能而被广泛用于各行各业。铝及铝合金的焊接不同于一般黑色金属的焊接,由于热导率和比热容是碳素钢和低合金钢的两倍多,热导率是奥氏体不锈钢的十几倍,因此在焊接过程中,大量的热量能被迅速传导到基体金属内部。焊接铝及铝合金时,能量除消耗于熔化金属形成熔池外,热量中还要有更多的部分消耗于金属其他部位。焊接铝及铝合金这种消耗于其他部位的能量要比焊接黑色金属(例如钢)消耗于其他部位的能量显著。所以,若想获得高质量的铝及铝合金焊接接头,焊接方法上就应当尽量采用能量集中、功率大的焊接热源,方便时尽量采用预热等工艺措施。

铝及铝合金的线膨胀系数约为碳素钢和低合金钢的两倍。铝凝固时的体积收缩率较大,焊件的变形和应力较大。因此,焊接前就需采取预防焊接变形的措施。铝及铝合金焊接冷却凝固时的体积收缩率较大,焊接熔池凝固时容易产生缩孔、缩松、热裂

纹及较高的内应力,为避免焊接生产过程中产生缩孔、缩松、热裂纹及较高的内应力等,焊接时可采用调整焊丝成分与焊接工艺的措施防止热裂纹的产生。在耐蚀性允许的情况下,焊接铝及铝合金时,可采用铝硅合金焊丝焊接除铝镁合金之外的铝合金。

铝在空气中及焊接时极易氧化,生成的氧化铝(Al_2O_3)熔点高($2\ 050\ ^\circ\text{C}$),非常稳定,不易去除,阻碍焊接时母材的熔化和焊丝与母材的熔合,且由于铝及铝合金的氧化膜的比重大,不易浮出熔池表面,使焊接中易生成夹渣、未熔合、未焊透等焊接缺陷。铝及铝合金焊接中,铝材的表面及氧化膜容易吸附大量的水分,易使其焊接的焊缝产生气孔。为避免焊缝中形成气孔,铝及铝合金在焊接前应采用化学或机械方法进行严格表面清理,清除其表面氧化膜。在焊接过程也要注意加强保护,防止其氧化。

焊接铝及其合金可以选用多种焊接方法,几乎各种焊接方法都可以用于焊接铝及铝合金,但是铝及铝合金对各种焊接方法的适应性不同,各种焊接方法有其各自的应用场合。

气焊和焊条电弧焊方法,设备简单、操作方便,气焊可用于对焊接质量要求不高的铝薄板及铸件的补焊,焊条电弧焊可用于铝合金铸件的补焊。惰性气体保护焊(TIG或MIG)方法是应用最广泛的铝及铝合金焊接方法。铝及铝合金薄板可采用钨极交流氩弧焊或钨极脉冲氩弧焊。铝及铝合金厚板可采用钨极氩弧焊、氩氦混合钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、脉冲熔化极气体保护焊。熔化极气体保护焊、脉冲熔化极气体保护焊应用越来越广泛(氩气或氩/氦混合气)。

在这些焊接方法中,氩弧焊焊接铝及其合金被公认是一种方便、焊接成本较低的方法。选用钨极氩弧焊焊接铝及铝合金时,应采用交流电源,采用交流电源焊接铝及铝合金可以通过特殊的“阴极雾化”作用,去除其铝及铝合金表面的氧化膜。采用气焊焊接铝及铝合金时,可以采用去除表面氧化膜的气焊溶剂。在焊接厚大板材的铝及铝合金时,应注意加大焊接线能量,以保证其构件熔化和结合良好。

氩弧焊用的钨极材料有纯钨、钍钨、铈钨、锆钨四种。作为钨极，纯钨的熔点和沸点高，不易熔化挥发，电极烧损及尖端的污染较少，但电子发射能力较差。在纯钨中加入1%~2%的氧化钍形成的电极为钍钨极，电子发射能力强，允许的电流密度高，电弧燃烧较稳定，但钍元素具有一定的放射性，使用时应采取适当的防护措施。否则，焊接时钍钨极的放射性会危及操作者的健康。在纯钨中加入1.8%~2.2%的氧化铈(杂质 $\leq 0.1\%$)的电极为铈钨极。铈钨极电子逸出功低，化学稳定性高，允许电流密度大，无放射性，是目前普遍采用的电极。锆钨极可防止电极污染基体金属，尖端易保持半球形，适用于交流焊接。

铝及铝合金的另一个焊接难点是其在液态能溶解大量的氢，而固态铝及铝合金几乎不溶解氢。这使得在焊接铝及其合金时，在熔池凝固和随后的快速冷却过程中，溶解在熔池中的氢来不及溢出而形成氢气孔。

焊接中，弧柱气氛中的水分、焊接材料及母材表面氧化膜吸附的水分，都是焊缝中氢气的重要来源。因此，焊接铝及铝合金时应应对氢的来源严格控制，以防止气孔的形成。

焊接铝及铝合金时，铝对光、热的反射能力较强。焊接过程中在固、液转变时，由于其表面没有明显的色泽和光泽被观察到，因此焊接操作时很难判断熔池的温度。铝及其铝合金的高温支持强度很低，焊接过程中熔池易于产生塌陷，使焊缝容易焊穿。

铝及铝合金焊前的清理工作很重要。铝及铝合金焊接时，焊前应严格清除工件焊口及焊丝表面的氧化膜和油污。铝及其合金焊前的清除质量直接影响焊接工艺与接头质量。如，焊缝气孔产生的倾向和力学性能等直接与焊前清理的好坏有关。铝及铝合金清理常用的清理方法有两种，化学清洗和机械清理。

机械清理多用在工件尺寸较大、生产周期较长、多层焊或化学清洗后又沾污了的情况。机械清理是先用丙酮、汽油等有机溶剂擦拭表面以除油，随后直接用直径为0.15~0.2 mm的铜丝刷

或不锈钢丝刷,一直刷到构件表面露出金属光泽为止。机械清理一般不宜采用砂轮或普通砂纸打磨,以免砂粒残留在金属表面,导致砂粒在焊接时进入熔池产生夹渣等缺陷。机械清理也可采用刮刀、锉刀等清理待焊表面。

化学清洗是利用化学反应将污垢清除的方法。化学清洗一般情况下效率都很高,质量稳定。但化学清理适用于清理焊丝及尺寸不大、成批生产的工件。化学清洗有浸洗法和擦洗法两种。

工件和焊丝经过清洗和清理后,在存放过程中会重新产生氧化膜,特别是在潮湿环境下,在被酸、碱等蒸气污染的环境中,氧化膜成长得更快。因此,工件和焊丝清洗和清理后到焊接前的存放时间应尽量缩短,在气候潮湿的情况下,一般应在清理后 2 h 内施焊。清理后如存放时间过长(如超过 24 h)应当重新处理。

铝及铝合金的这些焊接特点决定了其焊接时焊接材料的选择应该注意以下几点:

1. 焊丝的选择

铝及铝合金焊丝的选用除要考虑良好的焊接工艺性能外,还应考虑容器的使用性能要求和对其焊接接头的抗拉强度、塑性(通过弯曲试验)等规定。对含镁量超过 3% 的铝镁合金还应满足冲击韧性的要求,对有耐蚀要求的容器,焊接接头的耐蚀性还应达到或接近母材的水平。因而焊丝的选用主要考虑下列原则:

(1) 纯铝焊丝选择铝的纯度一般不低于母材;

(2) 铝合金焊丝的化学成分一般与母材相等或相近;

(3) 用于耐腐蚀的铝合金焊丝中的耐蚀元素(镁、锰、硅等)的含量一般不低于母材;

(4) 异种铝材焊接时,一般应按耐蚀较高、强度高的母材选择焊丝;

(5) 不要求耐蚀性的高强度铝合金(热处理强化铝合金)可采用异种成分的焊丝。