

第 I 委员会

(钎焊 切割 堆焊与喷涂)

说 明

本文集是为配合1981年11月在福建省厦门市召开的第四届全国焊接学术会议而编；共收入了这次会议上的A、B类论文文摘780余篇。文摘编号带“(B)”字样的为B类，其余则为A类。

本文集在编辑过程中曾遇到下列一些情况，在此作一说明：

- 1、有的论文未附文摘，本处请人根据文章的正文作了摘要；有的既无正文也无文摘，只能将其题目登于附录中。
- 2、因版面限制，对原文摘的字数作了大幅度压缩，文中的图、表亦基本上删掉；如有不当之处，请原作者谅解。
- 3、文章署名，取主要参加者，协作单位及人员从略。
- 4、有的文摘是在排版以后寄来的，只能登于各委最后，或作插空处理，这多少打乱了文摘的编号顺序。
- 5、因文摘数量庞大、时间紧迫，来不及细加工，加之编辑水平不高，错误一定不少。甚至有的文章可能被遗漏；有的可能重复出现，敬请各方多多批评与谅解。

中国机械工程学会焊接学会秘书处

1981.10.

目 录

第 I 委员会	钎焊 切割 喷涂与堆焊.....	(1)
第 II 委员会	手工电弧焊与弧焊材料.....	(53)
第 III 委员会	电阻焊与摩擦焊.....	(95)
第 IV 委员会	特种焊(电子束 激光 等离子 爆炸)···	(131)
第 V 委员会	焊接检验.....	(155)
第 VII 委员会	卫生和安全.....	(159)
第 IX 委员会	受焊金属行为 铸铁 有色金属.....	(179)
第 X 委员会	残余应力 应力消除 脆性断裂.....	(261)
第 XI 委员会	压力容器 锅炉与管道.....	(295)
第 XII 委员会	气电焊 埋弧焊 弧焊控制与电源 水下切割.....	(323)
第XIII 委员会	疲劳试验.....	(385)
第XIV 委员会	焊接教育.....	(391)
第 XV 委员会	焊接结构与设计基础.....	(395)
第XVII 委员会	焊接物理.....	(399)
附 录		(408)

对于软钎剂中活化物质的分析

七八六厂 张 超

作者分析了锡基钎料用的软钎剂的组成结构，将国内外已发表的活化物归纳成为无机类、无机金属盐类、胺类、有机卤化物类、有机酸类和其他等六类；并分析了活化物质的化学活性和物理活性。其化学活性主要表现在其去膜能力方面。关于软钎剂在钎焊时的去膜机理，本文提出了软钎剂中活化物质在聚合物介质中进行多相络合催化的去膜理论，并引用参考文献中关于形成硬脂酸铜的试验结果，说明这些活化物质均与金属氧化物中的金属离子形成盐类或配位化合物，从而起到了去膜的作用。关于活化物质的物理活性，作者基于现代吸附原理对熔融钎料与固体母材的润湿与漫流现象提出了活性金属表面吸附的理论。同时引用参考文献中关于形成铜—锡—铅合金过渡层的试验结果，说明软钎剂中的活性物质在去膜以后在聚合物介质中，在钎焊温度下能促使产生活性金属。正是这层新生的活性金属层改变了钎剂、钎料、母材在钎焊温度时气、液、固相接触表面间的化学、物理性能，从而改变了其相互吸附的条件，增强了其相互润湿和漫流的性能。文章作者在补充了钎剂与 Sn—Pb 钎料的络合催化，并形成活性金属合金的定性试验（文章从略）以后，提出了软钎剂在钎焊时的多相络合催化去膜理论和关于润湿的活性金属表面吸附理论。同时提出了软钎剂中活化物质的作用机理示意图。因缺乏试验手段，本文没有取得类似参考文献中所介绍的一些定量分析结果。最后按上述观点在文章中分别述说了关于无机酸类、无机盐类、有机酸类、胺类、卤化物类、氟碳类等活化物质的作用机理，并介绍了甘油在软钎剂中的作用原理。

导管总装全位置高频钎焊和除钎的研究

七机部七〇三所 薛淡之 张玉满 沈寿金 邱惠中

本课题系针对航空及航天飞行器的液压导管连接接头要求具有高度密封性、重量轻、和可反复连拆而专门研究的技术。此项技术不但可以全面满足上述三项要求，而且能对处于总装状态的飞行器，例如停留在机场的飞机内的导管、总装卫星、宇宙飞船内

的导管、装配流水线上的发动机导管实行钎焊连接和除钎。此项技术美国早在五十年代就已开始研究；经过北美航空公司、道格拉斯飞机公司、波音飞机公司、Aeroguid公司等十余年的竞争，在美国的飞机、导弹、人造卫星、宇宙飞船、甚至航天飞机上都获得了广泛的应用。苏联在1969年第一届全苏钎焊学术会议上宣读有关论文，论文没有公开发表，仅以文摘形式作过报道。本报告首先指出，当大电流加热时实现高频电磁能远距离传输的可能性在于利用低阻抗同轴电缆和增大负载电感量。本文还提出，只要钎焊钳内感应线圈的电流走向呈螺旋状，则置于其内的铁磁材料就会感应发热，而与线圈本身是否成一连续螺旋体无关。依据此原理设计了多种规格的可分式钎焊钳。此钳开启灵便，闭合紧固，能夹持住远离高频设备十米的任意位置的总装产品上的导管接头，使接头在氩气保护下，一分钟以内加热到1000℃以上实现钎焊连接。要求的工作空间与扳手拧螺纹管所要求的空间相当。上列加热电磁能的传输原理及可分式钎焊钳的设计原则，估计对其它使用高频能源的部门（如热处理、高频焊管、电子管除气等）都有实际应用价值。除钎，是将钎焊合金再次加热到熔化状态，然后靠弹簧装置将套管推落。本文介绍了适合不锈钢导管钎焊用的五种钎焊合金、钎焊工艺、钎焊套管的比较试验，接头的性能鉴定；同时与氩弧焊接头作了简单比较，并讨论了除钎再钎焊的效果。本课题虽以1Cr18Ni9Ti（规格为φ6×1、φ10×1、φ20×1、φ28×1）的薄壁管作样件，但此项成果也应用于φ4~φ50毫米所有碳素钢、不锈钢、钛合金等导管的总装钎焊和除钎。

H-Ia-003-81

K18 合金等温凝固扩散焊时硼扩散行为的研究

丁立平 姚凤芝 郭育琴

在K18合金等温凝固扩散焊时所用的中间合金层中，含有2~6%硼。硼对于整个等温凝固扩散焊接过程的进行及焊得的接头性能起着决定性的影响。可以认为，K18合金的等温凝固扩散焊的过程，就是控制硼的扩散过程。日本学者恩泽基于 fick 定律计算了硼在Incone713c（与K18合金成份基本一致）中等温凝固扩散焊时的扩散情况，在焊缝中心面上，1170℃不同时间时的硼含量，由公式 $C = \frac{C_{0ho}}{2\sqrt{\frac{\pi \rho t}{\pi \rho t}}}$ 计算得到（中心面上原始硼含量3.5%）：

20秒	60秒	10分	1小时	24小时
0.06% B	0.04% B	0.01% B	0.004% B	0.001% B

本文作者则利用α粒子径迹照相法直接测定了接头区硼的分布情况，以及随不同的扩散处理硼的变化情况。结果与恩泽的理论计算有很大的出入。研究表明，问题是在等温凝

固扩散焊开始时,并不遵循fick定律;在后期的固-固扩散时期,在扩散系数的确定上产生了较大的误差。作者提出,应该用 α 粒子径迹照相法来研究硼的扩散过程,从而在此基础上可以建立一些半定量的经验公式。试验表明,中间层合金的厚度与扩散时间的关系基本符合fick定律的理论计算,即 $\sqrt{\frac{h_s}{t}} = 2C\sqrt{\pi D} \cdot \frac{1}{C_0} = K$ (对某一温度来说)。

这一关系可用来相应控制中间层合金的厚度,并确定为得到一定的扩散结果而必需控制的扩散时间。研究中发现K18高温合金中,当含硼为3~4%,会诱发产生 σ 相,所以为防止产生 σ 相,必须控制近缝区最高含硼量在0.3~0.5%以下。硼的原子半径为0.97(Å),在奥氏体晶粒边界上,表现为正吸附,因而硼的晶间扩散要比晶内扩散急剧得多。试验完全证明了这一点。X射线分析确定所形成的硼化物为 M_3B_2 型的,但也有的硼进入碳化物而置换部分碳原子。

H—Ja—004—81

铝热交换器滚轧连接工艺研究

六二五所 张玉祥 纪文海 宋飞灵 王月华

本文介绍的管板型结构铝热交换器,主要用于冷热交换系统中,例如仪器、仪表的冷却屏蔽罩、散热片、飞机的蒙皮冷却或防冰散热器和壁板、电冰箱中的蒸发器以及太阳能热水器的吸热板等。类似以上产品目前国内是采用铝锌铝复合板热胀成型工艺或铜板上盘绕铜管钎焊工艺来制造的。由于这两种工艺存在着产品质量低,工艺复杂,劳动条件差,成本高等缺点,故国外早已用滚轧连接工艺方法来代替这两种旧工艺。我们根据“斯贝”任务的需要开展了滚轧连接工艺的研究工作,以代替国内长期采用的落后工艺。滚轧连接工艺的主要过程是予先把热交换器管路图形沿滚轧方向按一定的比例缩小后,绘制出一个生产工艺所需要的新图形并制成印刷用的图板,用特殊的止焊剂将新图形涂印在一块清洗干净的铝板上,再将另一块清洗干净的铝板置于其上,并组合在一起,然后进行加热和轧制。此时,组合的板材在一定的温度和压力下产生很大的塑性变形,使铝板表面的氧化膜破碎并伴随产生再结晶的过程,故使得未涂止焊剂的区域全部焊接在一起,然后用高压气体把涂有止焊剂的管路部分吹胀到所需要的管路高度。对管路的吹胀过程也是对产品焊接质量的检验过程,如果焊接质量不好,就会出现管路之间的串通现象。本文还介绍了工艺参数的选择、对止焊剂的性能要求、图形的印制、板材的胀型,以及“斯贝”发动机上用的高能点火器隔热屏蔽罩的性能试验方法及结果。试验结果表明,所研制的产品经过耐压试验、流量试验和气密性试验,结果完全满足设计要求。此项工艺已开始推广应用。用此种工艺生产的太阳能热水器已经北京市科委组织的鉴定会通过并投入了小批量生产。

铝真空钎焊中的润湿和铺展过程研究

北京航空学院 邹 僊 孙德超

本文以Al—Si—Mg钎料和LF21铝合金为对象,对真空钎焊时钎料在铝合金上的润湿和铺展过程进行了考察,探讨了铝真空钎焊的机理。一系列试验结果表明: 1、真空钎焊铝合金时,铝合金表面的氧化铝膜主要不是被使用的镁活化剂还原去除,而是浮在铺展钎料的表面,或以弥散的质点夹杂于钎料中; 2、镁是真空钎焊铝时极为有效的活化剂。它不但除掉了真空炉中残存的氧和水汽,防止铝氧化,而且镁蒸气通过由热裂产生的缝隙向铝表面渗入,同时促进钎料中的硅向铝表面扩散,使铝表面层合金化,形成Al—Si—Mg三元低熔合金,在钎焊温度下局部熔化,从而将氧化膜从铝基体上剥离并促使其破裂; 3、在钎焊加热过程中,钎料首先从低熔点的Al—Si—Mg共晶部分开始熔化。熔化的钎料在渗出表面的过程中破坏其自身的表面氧化膜,并就地通过母材表面氧化膜上的裂缝,与母材上形成的表面液态合金层接触而发生润湿,液态钎料开始逐步渗入,它所产生的力作用导致了这一区域内表面氧化膜的进一步破碎和弥散,随后或被排开,或被夹杂于钎料中; 4、产生润湿后,渗入的钎料中的镁和硅优先沿四周的氧化膜/铝金属界面扩散,与表面层的铝合金化。于是,在渗入的液态钎料周围又出现了液态合金层,破坏了该区域中氧化膜和铝的结合,液态钎料随即沿此合金液层铺展并将氧化膜抬起。这一过程继续进行,钎料因此得以在氧化膜下逐步铺展,直至达到某一平衡为止,并在钎料铺展区外留下一润湿环。

铝真空无熔剂钎焊工艺研究

戚墅堰机车车辆工艺研究所 徐步鹏 黄乃侃 冯怀大 陆汉章

铝真空无熔剂钎焊是一项新技术。由于在钎焊过程中不使用熔剂,因而不存在熔剂对产品的腐蚀问题,提高了产品的质量,同时也大大减轻了环境的污染,改善了劳动条件,简化了工序。因此在结构复杂、通道狭窄和不允许受熔剂腐蚀的工件及中小型换热

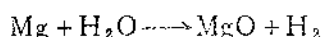
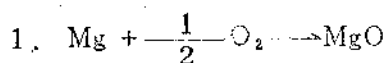
元件的钎焊中,该技术是发展方向。本文对以镁为吸气剂的铝真空无熔剂钎焊的机理进行了探讨,并研究了复合板钎料层在钎焊过程中变化的情况。通过对吸气剂镁以粉状、块状、蒸气和加入钎料合金等不同的添加方式的研究,对Al—Si和Al—Mg—Si合金不同的钎料的试验,对丝状、片状和复合板不同形式的钎焊材料的比较,指出复合板是较好的钎焊材料,能有效地利用吸气剂,特别适用于中小型换热元件的制造。研制了Al—10Si—1.5Mg为钎料的复合板,并进行了一系列的工艺试验。

H—Ia—007—81

铝真空钎焊过程的动态研究

金属研究所 郭 义 何治经

根据国内外资料报导,钎焊过程特性方面的研究,都是从热力学观点出发,采用静态分析的方法;为了深入研究铝真空钎焊机理,直接对钎焊动态过程加以观察和分析应是最理想的研究方法。铝真空钎焊之所以能成功地应用于生产实际,钎焊合金中加入少量活性元素起着极其重要的作用;在Al—Si—Mg系钎焊合金中,Mg的行为和作用与真空钎焊去膜机理有着密切的内在联系。对此,我们进行了动态研究。润湿性试件的客观分析表明,在润湿性试件表面上存在着不同的三个区域——熔化区、润湿区、掘进区。用X—光衍射法分析了掘进区表面层,查明,不掘进过程中,Mg蒸气与铝表面接触生成低熔(437°C)共晶相 Al_2Mg_3 。试验表明,Mg在真空加热中蒸发,而且样品失重与Mg含量成正比;Mg的蒸发与加热温度、真空度有着密切关系;Mg的大量蒸发产生于500—580°C温度范围内。Mg蒸气进入真空室,与氧化性气氛发生反应(O_2 、 H_2O)起到净化介质作用;与氧化膜(Al_2O_3)作用,使 Al_2O_3 膜变质,生成多孔疏松新氧化薄层,经X—光衍射相成份分析表明,新生氧化薄膜为 $MgAl_2O_4$ 。因此,正确地说,在铝真空钎焊中,Mg蒸气应有下列三种反应:



试验研究发现,由于钎焊合金的形式不同,在钎焊过程中其流动行为也不完全相同。动态观察表明,用复合钎焊板形成的接头是熔化钎料向钎缝集聚的过程;而用装配钎焊合金形成的接头是熔化钎料向钎缝漫流的过程。动态观察与分析清楚地表明,在熔

化钎焊合金对基体的润湿过程中，存在着Mg蒸气对表面膜的掘进作用，它对润湿性能有极其重要的意义。扫描电镜观察表明，在掘进区掘起的氧化膜鼓泡是由小变大连成一片的动态过程，同时，在氧化膜上有破裂细纹产生，氧化膜碎片被熔化钎焊合金溶解、弥散，而Mg蒸气的掘进作用是有条件的，在真空度为 5×10^{-3} 毛的情况下，上述掘进过程却已消失，Mg蒸气可掘进的薄膜厚度约为十几个Å到几十个Å数量级范围。因此，试验研究表明，铝真空钎焊过程，实质上是个还原—掘进过程，而Mg蒸气所起的本质作用也正是还原和掘进作用。

H—Ia—008—81

铜 的 离 子 轰 击 钎 焊

大连五二三厂 郭 晶 葛树涛

本文分析了高速离子轰击到作为阴极的靶件上发生的三种基本效应，指出这三种效应都可在钎焊过程中得到利用。因此，离子轰击钎焊是离子轰击技术最全面、最合理的利用：（1）离子的剥离效应，可以用来清除钎焊零件表面上的氧化膜和外来污染物，而且清理效果比其他方法彻底的多；（2）离子的注入效应，可以改变金属表面层的物理化学性能和结构状态，有可能使原来不为液体焊料浸润的金属表面变得浸润，或改善为液体焊料浸润的性能；（3）离子轰击的热效应，可实现钎焊零件的加热。由于热量是由高速离子的动能直接在工作表面上转化而来的，相当于内源加热，加热效率高。目前，已有人利用离子的剥离效应，进行钎焊前零件的表面清理。但全面利用离子轰击的各种效应进行钎焊的实例，还未见有公开报道。本文在普通热处理用辉光离子氮化炉中，于氢和氩气气氛下，用标准银—铜焊料，进行了铜的钎焊实验。结果证明上述分析是正确的。自然铜表面经离子轰击后，不仅表面的氧化膜剥离干净了，而且还显露出了铜的晶粒组织，在这样的铜表面上，熔化的银—铜焊料能够十分满意地浸润和漫流。离子轰击的热效应完全可以把重达19公斤的铜件加热到 850°C 以上，而且耗电电能只有电炉加热的三分之一左右。在上述实验的基础上，完成了几种实际零件的钎焊。其中有铜与银的钎焊，厚铜板与薄壁铜管的钎焊，零件重量为3公斤至19公斤，焊接质量令人满意。

钛合金的薄膜扩散连接

黎明机械公司 张奕琦

钛合金的薄膜扩散连接又称“瞬时液相”连接。其基本原理是，在钛合金的连接表面之间添加一层极薄的金属，稍加压力，使连接面与薄膜金属接触；钛合金与中间层金属构成一对“扩散偶”。在一定的温度下，紧密接触的两种金属的界面上始终存在着金属原子的相互扩散运动，扩散的结果，导致界面金属的化学成份发生连续不断的变化。我们主要研究无氧铜箔作为中间层金属。首先利用电阻缝焊的方法使薄膜（0.015~0.025mm的铜箔）与钛在扩散处理前形成共晶化合物固化接头，然后在真空炉中进行真空扩散处理（在扩散处理时不用施加压力）。扩散的结果，使接头连接界面的含铜量不断降低，当接头界面的平均含铜量降到小于7.1%，接头具有良好的强度和韧性。通过金相观察、电子探针及机械性能检测等手段，确立了TC₁钛合金薄膜扩散连接的最佳工艺参数，即电阻缝焊形成共晶化合物固化接头的参数为：焊接电流6500~7000安，电极压力450~480公斤，脉冲时间3个周波，休止时间5个周波，焊接速度0.6~0.7米/分，真空扩散处理规范为：真空度 1×10^{-4} 毛，扩散处理温度915~925℃，保温时间2小时，随后以150℃/小时的冷却速度从925℃冷至700℃，再以110℃/小时的速度从700℃冷却至590℃；然后随炉冷至200℃以下出炉。扩散连接的接头具有与基体金属相近的机械性能、抗氧化和抗腐蚀性能。对于1.1毫米厚的TC₁搭接试样，当搭接宽度大于2毫米时，接头的室温强度，以及300℃、400℃瞬时拉伸一剪切强度都很高，全部断在基体。接头的弯曲角为68°，是基体金属的90%。由此可见，钛合金薄膜扩散连接的强度和塑性都是一般钎焊无法相比的。通过某发动机第三级风扇导流叶片（空心结构）试生产证明，薄膜扩散连接工艺，对接头的准备要求不高，装备简单，连接叶片的质量高，变形小，采用工厂现有的真空炉设备就可进行高生产率的生产，是一种很有发展前途的钛合金连接技术。

钛—钢钎焊研究

上海钢铁研究所 罗成林 李宜 杨世林

本文研究以钎焊法连接钛—钢。实验表明：在氩气保护或真空条件下可以实现钛—钢的钎焊，采用QAg—Al（1—3）钎料并辅以相应的钎焊工艺可获得强度和塑性

较为满意的钎焊接头。本文研究的钛—钢钎焊复合板，经合理加工可作热交换器管板用，工作温度 $<400^{\circ}\text{C}$ ，工作压力 <10 公斤/厘米²。

在实验室工作的基础上，我们提供了 $\phi 215\sim 615$ 毫米钛—钢钎焊复合板作“40m²醋酸热交换器”和“钛质高效薄膜蒸发器”制造的应用实例作实际检验。

H—Ia—011—81

压气机整流器的真空钎焊

黎明机械公司 曹斌升

本文研究了航空涡轮发动机压气机整流器（也称静子环）的真空钎焊问题，主要包括：

- 1、基体材料的可钎焊性试验——压气机整流器的叶片是Cr17Ni2材料，内外环是1Cr18Ni9Ti材料。这两种不锈钢按通常的机械打光（或酸洗）清理，在 850°C 以下真空钎焊性能不好，即使保持 1×10^{-4} 毛以上的高真空钎焊，整流器也不能得到满意的钎焊接头。要获得好的钎焊接头，必须对基体金属进行镀镍处理，以提高钎料的润湿性。在 1000°C 以上进行真空钎焊，真空度为 5×10^{-4} 毛就能得到满意的钎焊接头。
- 2、钎焊热循环对叶片性能的影响——钎焊温度的选择必须与叶片的热处理温度相适应。我们选择在Cr17Ni2相变温度以下钎焊，钎焊后不进行回火处理。叶片经 $790\pm 10^{\circ}\text{C}$ （或 850°C ）真空钎焊后，叶片性能符合技术要求，Cr17Ni2的金相组织为索氏体+铁素体。
- 3、钎料研制——研制了Ag—40Cu—15Mn—3Ni—4Ga钎料。此种钎料与金基钎料或银铜钎料相比，成本比较便宜。适于在Cr17Ni2相变温度以下进行真空钎焊。钎料中由于加入了镓，具有很好的塑性和工艺性，能填充0.3毫米以下的接头间隙。钎焊接头在室温下的平均抗剪强度为 26.2kg/mm^2 ， 300°C 的平均抗剪强度为 18.6kg/mm^2 ， 400°C 的平均抗剪强度为 16.4kg/mm^2 ；接头经250小时盐雾腐蚀后，其抗剪强度没有下降。
- 4、薄壁环形件变形的控制——由于零件本身刚性很差，因此必须采用钎焊夹具。采用与零件材料热膨胀系数相近的Cr21Ni11W2.5制作夹具，在钎焊过程中控制升温 and 冷却速度，这样能使整流器钎焊后椭圆度不大于0.5毫米，翘曲度不大于0.3毫米。
- 5、工艺规范的制定——叶片及内外环型孔处镀7—10微米的镍，采用Ag—40Cu—15Mn—3Ni—4Ga钎料，炉中真空钎焊，真空度 1×10^{-4} 毛，钎焊温度 $790\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，升温速度和保温时间随每炉钎焊零件的数量而定。通过100多台发动机整流器零件的生产实践表明，真空钎焊压气机整流器是一种效率高、质量稳定、劳动条件好的工艺方法。真空钎焊压气机整流器为发动机制造开辟了一条新的途径。

钎焊接头的强度和塑性试验方法

一〇一四所 崔殿亨

本文对国内外有关钎接头强度和塑性试验方法的文献进行述评,并进行了试验和分析。目前,我国还没有钎接头强度和塑性的试验方法标准,苏、美、德、日等国的试验方法差别很大,这是国内外钎焊界共同关心的一个专题。钎接头中机械性能变化梯度大,应力和变形的研究复杂。文中分析了单层搭接接头和环塞接头的应力分布。在单层搭接接头中应力集中系数 β 是搭接长度的函数,并与钎料和母材的变形弹性模量有关。除受剪切应力外,由于加载不同心还受有附加弯矩,而引起撕裂。搭长越小,板厚越大,撕裂拉应力越大。在环一塞接头中也并非受到纯剪切应力,由于试件变形而使钎焊缝的应力状态变得复杂,挤压加载比拉拔加载的强度试验结果往往高得多。AWS (美国焊接学会) C.3.2—63标准规定使用不同搭接长度的一组单层搭接试件进行剪切试验,试验后把强度(母材中的拉伸应力和钎焊缝中的剪切应力)对搭接长度作图。DIN (西德工业标准) 8525 (8526)—77规定使用环一塞接头和圆棒对接接头,由试验可得到钎料的拉伸强度和剪切强度,这种接头的应力接近于纯剪切或纯拉伸应力。文中还对近几年来文献报道的其他多种试验方法进行评述。钎焊接头的塑性(韧性、抗冲击能力,可变形性)是重要的性能指标。但目前试验方法混乱,还没有达到强度试验的研究水平。正在试验中的有弯曲角法、扭转角法、压痕法、冲击试验法和断裂韧性法等。测定对接钎焊缝的断裂韧性,试验技术比较复杂,但却大有前途。用多种中温钎料进行了单层搭接接头剪切强度(σ_{τ})的试验,不同钎料 σ_{τ} 受搭长 l 的影响不同,有的钎料 σ_{τ} 对 l 很敏感, $\sigma_{\tau}-l$ 曲线比较倾斜,有的钎料 σ_{τ} 随 l 的变化较小。这种倾斜程度同钎焊接头的脆性有关,因此 $\sigma_{\tau}-l$ 曲线的陡峭程度可以反映出接头的塑性。经过试验和分析认为,采用各种搭长的一组单层搭接试件进行钎焊接头的强度试验是适宜的。

用叠层状钛基钎料钎焊钛合金

六二五所 兰仕伟

在钛合金构件的制造中,钎焊是一种有效的连接方法,特别是复杂的钛合金构件,如热交换器,定子组件,液压导管,蜂窝结构,喷管整流罩等飞机和发动机部件的制

造, 必须采取钎焊来完成。本文探讨了用自制的叠层状钛基钎料钎焊钛合金的工艺和钎焊接头的性能。提出了叠层状钛基钎料的制作方法; 研究了叠层状钛基钎料的漫流温度和钎焊接头的拉剪强度、抗氧化性、抗腐蚀性, 还研究了钎焊后扩散处理对钎接头机械性能的影响; 另外, 用金相显微镜、电子探针对钎接头进行了初步分析。最后, 用叠层钛基钎料钎焊了某发动机上用的钛合金叶轮。利用市场上供应的金属 (钛、镍、铜或铍青铜) 箔, 获得了两种厚度均为0.12毫米的叠层状钎料 $Ti-14Cu-14Ni$ 和 $Ti-13Cu-14Ni-0.3Be$ 。为了比较钎焊接头的性能, 还采用了 $Ag-5Al-1Mn$ 钎料进行了试验。钎焊和钎焊后的扩散处理皆是在抽真空到 $10^{-2}-10^{-3}$ 托并随后充氩到600托的热壁真空炉内进行的。试验结果表明, 叠层状钛基钎料 $Ti-14Cu-14Ni$ 的钎焊温度是960℃, 这已接近 TC_4 钛合金板材相变温度 (955°~982℃) 的下限。叠层状钛基钎料 $Ti-13Cu-14Ni-0.3Be$ 的钎焊温度是950℃, 这对 TC_4 钛合金板材的钎焊是很适宜的。用两种叠层状钛基钎料钎焊的接头有较高的拉剪强度 (~ 30 公斤/毫米²); 经430℃空气炉中氧化处理100小时或盐喷雾腐蚀120小时对拉剪强度没有影响。用 $Ag-5Al-1Mn$ 钎料钎焊的接头, 虽有较好的室温拉剪强度, 但在430℃的拉剪强度却严重的下降, 经120小时盐雾腐蚀后拉剪强度亦有所下降。用叠层状钛基钎料钎焊并随后扩散处理, 可以提高钎焊接头的拉剪强度和冲击韧性。如钎焊后在 920℃下扩散处理 3 小时, 拉剪强度从 ~ 30 公斤/毫米²增高到47公斤/毫米², 而冲击韧性从 0.29公斤·米/厘米²增高到3.94公斤·米/厘米²。

H—Ia—014—81

1Cr18Ni9Ti不锈钢板材中温真空钎焊的研究

(板材表面状态对钎料铺展性能的影响)

六二五所 吴希孟 张奕璋

1Cr18Ni9Ti 型不锈钢的中温 (750°—850℃) 真空钎焊是至今尚未圆满解决的一项课题。针对某些航空产品的需要, 我们就1Cr18Ni9Ti 不锈钢板材的中温真空钎焊开展了试验研究工作。考虑到钎料在母材表面上的润湿铺展是一种复杂的三元系统的界面行为, 钎料、母材 (表面化学成分及其状态)、真空中残余气氛之间的相互作用决定了钎料润湿铺展的可能性及程度, 因此, 必须综合地研究系统的各方面, 根据研究工作的进展, 本文仅限于讨论板材表面状态对钎料润湿铺展性能的影响。试验表明: 1、在控制真空气氛条件下 (真空度 $\leq 1 \times 10^{-4}$ 托、漏气率 $\leq 5 \times 10^{-4}$ 托·升/秒), 利用含锰的 $Ag-Cu$ 系钎料 (LQL-1) 可以成功地实现1Cr18Ni9Ti板材的中温钎焊。母材表面无需镀镍; 2、母材表面的微观形貌取决于表面的制备方法。在钎料能够就地润湿母材

表面的情况下，母材表面的微观形貌将明显地影响钎料的润湿铺展过程。具有不同微观形貌的母材表面，由于其表面力场的强度和分布不同，对液态钎料的毛细吸附能力不同，液态钎料的流动方式也不同。光亮冷轧的1Cr18Ni9Ti板材表面上分布着密集交错的晶界沟槽，它对液态钎料有强烈的毛细吸附作用，使液相成分沿晶界沟槽迅速向周围表面铺展。当液相成分填满晶界沟槽并形成液态表面膜时，液态钎料向外铺展。试验表明，含锰的Ag-Cu系钎料在这种表面上润湿指数最高。经过其它方法处理过的母材表面，其微观形貌均有较大的改变。扫描电镜观察表明，这些表面的真空面积减小，凸凹缺陷增多或某些处理方法带来的污染，均将不同程度地降低上述钎料在这些表面上的润湿指数。为此，在评价钎料的润湿铺展性能时，不应忽视母材表面状态的影响。

H-Ia-015-81

不 锈 钢 散 热 器 的 钎 焊

六 二 五 所 兰仕伟 冯金鏊

中国民航航修厂 郝玉民

不锈钢散热器主要是由散热元件——管组（990根管）、壳体和四个盖子组成。该散热器主体为列管式，采用银基钎料火焰钎焊。在分析原机散热器使用寿命低的原因基础上，我们对原散热器的主体结构做了改进——只采用了一个中间隔板，重要的是将散热元件——管组与中间隔板全部钎焊在一起。这种改进要求把散热器的主体进行整体加热钎焊。我们采用了炉中氩气保护钎焊法。针对流行的砂封钎焊容器使用寿命低，保护效果差等缺点，我们采用了自行设计的双层盖不锈钢钎焊容器。选择了能在纯氩气保护下进行自钎剂钎焊的Cu-31.5Mn-10Co钎料，代替了原散热器使用的银基钎料。试验研究表明，用Cu-31.5Mn-10Co钎料钎焊的1Cr18Ni9Ti 不锈钢接头有良好的拉剪强度（室温拉剪强度为22公斤/毫米²，400℃时拉剪强度为16.3公斤/毫米²）、良好的抗氧化性（经550℃氧化处理1000小时后氧化深度仅为0.04毫米）。该钎料对基体金属的溶蚀和合金化总共只有0.02毫米。该钎料对基体金属的机械性能影响很小。在上述性能试验的基础上，进行了散热器主体的钎焊。把Cu-31.5Mn-10Co钎料散剪成条状，用接触焊机把钎料条点焊在散热器主体的管组隔板的管孔间。将990根管装插到隔板管孔中。将组装好的散热器主体连同防止其下陷变形的石墨垫板一起放入双层盖钎焊容器中，通氩净化以后，将钎焊容器置入电炉中加热钎焊。钎焊规范是：钎焊温度1050℃，保温时间15分钟，氩气流量1.5米³/小时。钎焊后的散热器主体要进行打压检验，管组内腔打压12.6~14个大气压，外腔隙打压0.5~1个大气压，保持半小时不得泄漏。经长期飞行试验证明，结构和工艺方法改进后，可以显著提高不锈钢散热器的使用寿命。

命。 $\text{Cu}-31.5\text{Mn}-10\text{Co}$ 钎料可以代替银基钎料，能满足伊尔—62型机不锈钢散热器工作性能要求。

H—Ia—016—81

银 锂 合 金 包 复 不 锈 钢 的 复 合 钎 料

上海钢研所 朱守良 杨 泓

本钎料用 $18-8\text{Ti}$ 为基层，其正反面用 QA_{g} 钎料为复层，材料酸洗抛刷后装配，厚度比为 $1:8:1$ 。采用端部中心爆炸焊接法，基复比 $8-9$ ，药量： $1.2-1.4\text{g}/\text{cm}^2$ ，复成致密一体三金属板坯。经平整加工成各种规格板、片、带、箔复合钎料。尽管材质间特异性造成轧箔困难，但是表层银合金塑性好，像“润滑剂”有降低变形抗力作用。现已试制成 $0.1 \times 150\text{mm}$ 复合型极箔钎料。文中附实样、力学数据、金相组织照片。由于工艺简单，制备其他复合型钎料也可借鉴。本产品对钎焊较为理想，尤其能适应体小、量轻、温高、耐蚀、高效的散热器设计需要。此外，它可在 $850 \sim 940^\circ\text{C}$ 无钎剂，气保护或低真空条件下，对不锈钢、铁镍基高温合金钎焊。工作温度为 400°C 时，抗剪强度达 $8-10\text{kg}/\text{mm}^2$ ，而且低温组织的不锈钢，在钎焊温度下得到类似的固溶化处理，恢复其原来固有特性。同时钎焊过程中，本产品既当钎料连结，由于中层不锈钢不熔化，又可作器体腹板，起到分焊加固作用。因而，这样钎焊的散热器，具有工效高，质量好，成本低等优点。三金属复合钎料技术指标为：1、材料表面平直均匀，复层不得分层破损；2、复层厚度比为 10% 左右；3、工作温度为 400°C 以下，接头抗剪强度为 $8-10\text{kg}/\text{mm}^2$ 。

H—Ia—017—81

料 309 银 基 自 钎 焊 性 钎 料 研 制 总 结

上海有色金属焊接材料厂 郑瑶根 郑丽华 徐 琦

上 海 电 机 厂 钱杏春 徐诗社

汽轮发电机中空芯铜线的对接，过去是用料 363，配以钎剂 102 采用火焰钎焊，钎焊接头性能良好。但由于使用钎剂难免个别接头存在有钎剂的夹渣，另外由于结构的

关系钎好的接头又无法进行彻底清洗，故强腐蚀性钎剂的残留物给电机带来了极大的隐患。曾发现发电机运转十多年后出现钎剂夹渣造成接头漏水：30万KW双水内冷机组突然停机，会给国民经济造成极大的损失。如想彻底解决汽轮发电机中空芯铜线接头漏水问题，提出了自钎性钎料的研制。由于接头材料是紫铜，要求钎料熔点稍低，所以采用银铜共晶。根据抗拉强度试验证明加1%P较适合。为使试验工作接近于实际，进行模拟试验，试件形状与实际生产用的一样，采用悬臂梁振动试验。端部振幅为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5 \text{mm}$ ，频率为50赫芝，时间60小时，疲劳寿命为 7×10^8 ，均一次通过。钎着率均在80%以上，略比料303为好。间隙推差 $0.05 \sim 0.15 \text{mm}$ 。钎焊过程加热，只允许母材加热到钎料熔化温度后添加钎料，绝不可用火焰直接加热钎料，以免磷过早氧化。料309经模拟及60万KW发电机试用，具有良好的综合性能、物理性能，工艺性也较佳，自钎性好，完全可以代替料303钎焊紫铜，避免钎剂造成的隐患。

X
H—Ia—018—81

精密零件的氢气炉中钎焊

一〇一〇所 刁明富

本文主要叙述黄铜一类精密零件氢气炉中无钎剂钎焊的原理、工艺过程及应用情况。由于国内、国外好些资料都以为黄铜在氢气炉中采用无钎剂钎焊时，由于锌等挥发元素使钎焊发生困难而主张另加钎剂。本文专门就锌挥发、氢脆等问题进行了讨论，并通过工艺试验，采用专门的工艺手段，实现了钎焊，并成功地应用于多种微波器件焊接。此外，文中还对高、中、低碳钢等在氢气炉采用无钎剂钎焊情况作了简要介绍，提供一些数据。

H—Ia—019—81

QMn4 钎料对不锈钢钎焊薄壁导管疲劳断裂影响的探讨

哈工大 范富华 钱乙余 张瑞平 徐众信

上海新新机器厂 刁廷和

发动机不锈钢(1Cr18Ni9Ti)薄壁钎焊导管在试车或运行时所发生的疲劳断裂主要是由于发动机强烈振动所引起，同时与钎焊材料、钎焊工艺以及钎焊接头应力集中等

影响有关。本文着重研究QMn4钎料(Mn-Ni-Cu-Cr-Co)对导管疲劳断裂的影响。钎焊导管的钎料漫流区是产生疲劳断裂的薄弱环节。试验采用1Cr18Ni9Ti不锈钢平板漫流试件,进行冷弯及振动弯曲疲劳模拟试验,对比不同钎焊工艺(软规范、硬规范、正常规范)、不同钎料成分条件下(QMn1、QMn4、Cu基+Mn、M₁、H₆₂、Ag-Cu-Li),钎料漫流区的塑性及抗疲劳断裂性能。并通过金相分析及电镜微区分析等手段,着重讨论了钎料表面“发皱”、“起皮”现象以及钎料向母材晶界侵入所引起疲劳断裂的可能性及影响因素。试验表明,QMn4钎料钎焊1Cr18Ni9Ti不锈钢导管工艺性良好,严格掌握钎焊工艺规范,可以减少或避免钎料的晶界侵入,提高导管抗疲劳断裂能力。而在钎焊圆角及钎料漫流区进行碾压或喷丸表面强化处理后,尽管QMn4钎料塑性较差,也能显著地提高导管工作可靠性。

H-Ia-020-81

铝钎焊去除氧化膜机理研究的新方法

哈工大 陈定华 钱乙余 朱安生

铝钎焊时去除铝表面氧化膜是实现铝钎焊连接的关键。为了研究铝钎焊去膜机理,作者提出采用“区域加热熔去法”特制氧化铝膜,将氧化铝膜与各种类型的钎剂组元及钎剂相互作用,研究其作用机理;提出利用“红外加热显微观察钎焊过程装置”观察并记录钎剂与氧化铝膜、钎剂(钎料)在铝表面漫流等试验现象,为试验研究铝钎焊去膜机理提供了新的试验方法。区域加热熔去法是利用铝与氧化膜熔点相差大,相互不润湿的特点,用红外加热器对厚度为0.05毫米铝箔进行区域加热,造成铝箔上下表面氧化铝膜间的铝局部熔化,形成液-膜共存阶段,由于不均匀加热而产生的液态铝表面张力不均匀,促使液态铝向四周流离,铝箔局部上下表面氧化膜残留而制得。试验中采用红外摄像对制膜过程录象,并经微计算机处理,用伪着色法将成膜前各瞬时温度场在彩色电视屏上显示并照相,证明制膜过程的温度场是不均匀的,局部加热的中心部位温度最高。由此对成膜原理进行了初步分析。论文中还论述了这种特别氧化铝膜与常用铝钎剂组元相互作用的结果。红外加热显微观察钎焊过程装置是由红外加热器(带有溴钨灯的黄铜灯罩)及读数显微镜组成。红外加热器经聚焦后的加热温度可达1000℃以上。这种装置配以像机及电影机可以记录各种钎焊过程试验现象。