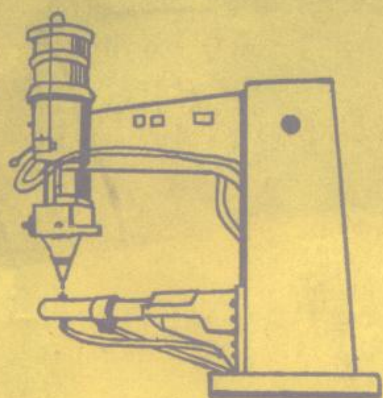
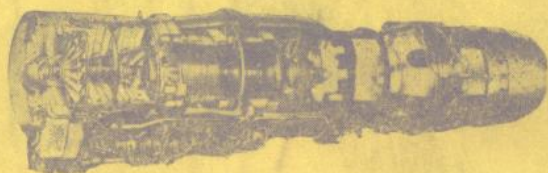




栗 祐 主 编

点焊缝焊质量的控制

刘 培 基 编 著



国防工业出版社



77.741
857

机械制造实用新技术丛书之八

点焊缝焊质量的控制

栗 枯 主编

刘培基 编著

国防工业出版社

DT57/20
内 容 简 介

点焊、缝焊是一种重要的电阻焊方法，由于影响其质量稳定的因素甚多且无实用的方法可用来检查内部熔核的尺寸，因此，如何加强点、缝焊质量的全面管理和控制，以确保焊接质量的稳定，是电阻焊的一个突出问题。

本书在引进技术的基础上，结合生产实践，阐述了点焊、缝焊的质量控制内容，并系统地介绍了材料及其焊接性、焊前清理、电极和滚盘、工艺流程、焊接规范参数、设备及其控制、焊接质量检验等内容。

本书可供从事焊接技术工作的工程技术人员和生产工人阅读，也可作为大专院校焊接专业师生的参考资料。

点焊缝焊质量的控制

机械制造实用新技术丛书之八

（主 编 刘培基 编著

责任编辑 宋桂珍

国防工业出版社

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印张 4 103千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数：00,001—13,500册

统一书号：15034·2848 定价：0.80元

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由粟祐同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等高级工程师提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张

汉生等同志。

自五十年代以来，点焊、缝焊工艺在我国获得了大量的应用，但往往由于忽视生产中各个因素、环节和参数的控制，因此在焊接质量上存在着一定的问题。本书就材料、设备、人员、工艺和环境等方面介绍如何稳定点焊、缝焊质量的实践经验。希望本书的出版能促进我国点焊、缝焊生产的质量提高。

本书由刘培基编著，唐宏霞和姜仁忠审校，王桂香绘图，栗祜终审定稿。在本书编写过程中，罗亚平、李瑞珍、宗友光、张克联和闵佩璋提供了宝贵的资料。对于本书编写和出版中给予支持和帮助的同志，在此表示衷心感谢。

作者于西安
国营红旗机械厂

目 录

绪论	1
一、点焊、缝焊的质量控制	3
(一) 质量控制的重要性	3
(二) 质量控制的做法	4
(三) 质量控制的内容	5
二、航空材料及其焊接性	10
(一) 低碳钢	13
(二) 低合金钢	14
(三) 不锈钢	16
(四) 耐热合金	20
(五) 铝合金	27
(六) 钛合金	29
三、焊前准备	32
(一) 焊前清理	32
(二) 电极、滚盘	35
(三) 工艺试片及腐蚀液	43
四、焊接工艺	47
(一) 焊接循环、符号及焊缝分类	47
(二) 焊接组合件的一般工艺流程	50
(三) 焊接参数的选择与控制	58
(四) 夹具	74
(五) 点、缝焊接头形式及典型零件工艺分析	81
五、点、缝焊设备	90
(一) 国内外点、缝焊设备对比	90
(二) 英国的点、缝焊设备	91
(三) CVR/2 自动控制	101

(四) 电流反馈控制特点	103
(五) 焊机的鉴定与验收	104
六、焊接程序控制与检验	108
(一) 焊接程序控制	108
(二) 常见缺陷产生的原因及其对接头质量的影响	111
(三) 检验的方法和内容	114
(四) 质量验收标准	117

绪 论

对工件施加压力，利用电流通过工件接触面和邻近区域所产生的电阻热来加热金属的焊接方法称为电阻焊。电阻焊的种类很多，按接头形式和工艺方法的分类见图 8-1。

与熔焊相比，电阻焊有如下一些特点：

(1) 冶金过程简单。熔核被塑性环包围，不受外界空气的影响，熔核内不易产生冶金缺陷。

(2) 热影响区小，焊接变形与应力小，一般焊后无须安排校形和热处理工序。

(3) 不需要焊丝、焊条等填充金属；也不需要氩气、氧气、乙炔、焊剂等一类辅助材料，成本低。

(4) 由于加热时间短、焊接速度快，因此生产率高。

(5) 操作简单。易于实现机械化、自动化。

(6) 目前生产上尚无实用的无损检验方法，焊接内部质量仍然靠常规的工艺试件及破坏性试验方法来保证。

四十年代以来，电阻焊在航空、航天、汽车和拖拉机、铁道、石油、电真空器件等制造业中，得到了广泛的应用。电阻焊在航空工业、特别是在航空发动机制造中是重要的焊接工艺之一，无论是点焊、缝焊以及闪光对焊，都占有一定的比重，其中尤以点焊、缝焊为多。

现代航空发动机主要的点焊、缝焊组件有：进气整流罩、进

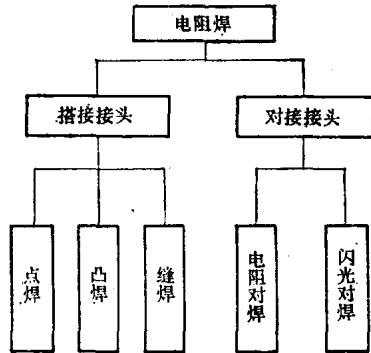


图8-1 电阻焊的分类

气导流叶片、火焰筒、高压涡轮轴承支座、高压推力轴承座、排气混合器、加力燃烧室等。涉及的材料包括不锈钢、铝合金、钛合金，以及一些耐热镍基和钴基合金。点焊、缝焊的工作量也很大，例如英国斯贝发动机加力燃烧室的壳体和导轨组件上就有18条周向焊缝（组件直径约1米）。

由于现代新型航空发动机大量采用薄壁焊接结构及新研制的合金材料，而在发动机某些关键部位或高应力部位采用了电阻焊连接工艺。因此，电阻焊的质量控制也日益严格。

根据电源情况，在航空工业中，应用最多的是工频交流焊接（图 8-2 a），铝合金一类零件则采用电容储能焊接（图 8-2 b）或直流脉冲焊接（图 8-2 c）。近年来发展的次级整流的直流电源（图 8-2 d），具有节省能源、功率因数高、对焊件及夹具的磁性无限制、焊接材料广、焊接质量高等优点，使用者日益增多。同时，针对单相焊机功率供应不平衡的弱点，又发展了三相交流焊机、三相次级整流焊机。

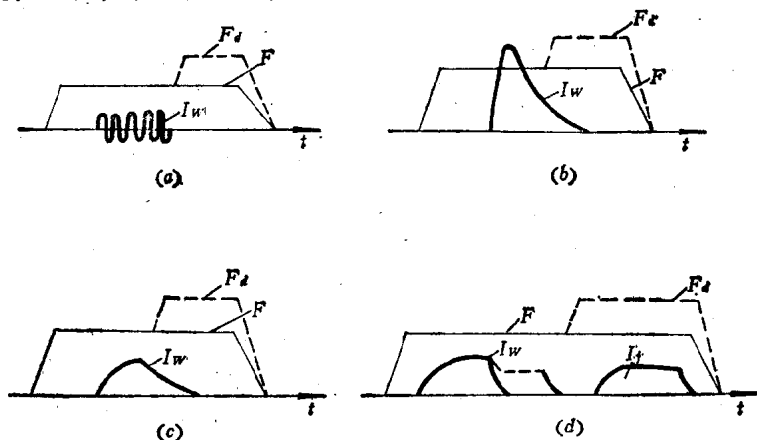


图8-2 电阻焊所用的电源类别

(a) 工频交流；(b) 电容储能；(c) 直流脉冲；(d) 次级整流。

F —电极压力； F_d —锻压力； I_w —焊接电流； I_f —附加电流。

在点焊和缝焊生产中，要保证产品质量，主要应重视并确保以下四个基本环节：

8210517

- (1) 精心设计电极并严格控制电极端头尺寸。
- (2) 选用合理的零组件装配间隙。
- (3) 在焊接零件的整个过程中, 严格遵循焊前、中间和终结试验的程序要求。
- (4) 采用能精确控制压力、电流和通电时间的焊机。

当然, 还得有一整套科学的技术管理制度, 在人员、设备、材料、工艺、环境等各个方面实行全面质量管理, 才能达到控制焊接质量的目的。本书将针对我国在电阻焊生产中的薄弱环节, 结合国外电阻焊生产的特点, 讨论目前国内外稳定点、缝焊质量的途径。

一、点焊、缝焊的质量控制

(一) 质量控制的重要性

点焊、缝焊工艺的特点是大电流、短时间, 其温度场分布比较陡。通过焊接区电阻加热所产生的热量, 既要保证板材间贴合面熔化, 又不允许电极接触面的温度过高。加热不足, 会造成未焊透或粘焊; 加热过强, 又会引起飞溅、粘电极、压痕过深、过热及过烧等缺陷。因此, 需要特定精确的温度场来焊接, 这一点是与熔焊截然不同的。焊点的加热程度正比于焊接电流、焊接区域的电阻以及焊接时间, 并且熔核的形成和冷却始终是在电极压力的作用下完成的, 也就是说, 电极压力和电极接触面积影响着焊接加热规范。同时, 电阻焊的质量又受网路电压、气压等外界因素变化的影响, 存在着一定程度的波动。这样就降低了点焊、缝焊结构使用的可靠性。因此, 质量控制在点焊、缝焊生产整个过程中占据十分突出的地位。近年来, 先进的技术控制应用(监控、自动控制及自动调整), 在一定程度上改善了点、缝焊质量的稳定性。然而, 另一个更重要的方面却往往被忽视。那就是对

于生产中影响焊接质量的主要因素的全面控制。这些主要因素包括：设备、人员、材料、电极滚盘、工艺试片、表面清理、规范参数、焊接程序、检验程序、工装夹具及环境治安等。它们涉及到许多基础的焊接技术文件，通称为工艺软件，如焊接说明书、焊缝的分类、材料说明书、焊接参数卡、焊接质量检验标准、设备的鉴定、使用与维护制度、焊工考核说明书等。正是因为忽视了这些基础性的工作，往往造成了现场管理混乱以及各种质量隐患。例如，工艺试片混料、终结试片不合格、开焊、焊缝密封性不良等。因此，必须建立、健全基础的焊接技术文件，并有相应的国家、部门和企业标准。通过制定和认真实施这些焊接技术文件，才有可能建立良好的有条不紊的生产秩序，从而对电阻焊接质量进行有效的技术控制。

（二）质量控制的做法

焊接质量的可靠性是指焊接组合件在规定时间内、规定条件下，按特定功能进行工作，并且不会因焊接缺陷产生故障。由于在电阻焊生产中尚无实用的无损检验方法，焊点（缝）的内部质量（熔核大小）很难确定。所以，在点、缝焊常规生产时需要进行焊前、中间和终结试验以及各种破坏性试验，以确定其所代表的一批零件是否符合验收标准，从而来确保焊接质量的可靠性。从另一方面看来，影响点、缝焊焊接质量的因素很多，而点、缝焊的熔核又是在极短的时间内（通常为 $1/6 \sim 1/2$ 秒）形成的，要在这样短的时间内对经常处于变化状态的多种因素实行综合反馈，在目前技术条件下很难达到控制焊接质量的目的。所以，电阻焊生产只能是从各个环节、各个因素、各个参数分别进行控制。

因此，点、缝焊质量控制的基本做法应当是：

（1）根据零件的材料和结构特点，制定相应的焊接参数卡。生产中严格按照审批过的焊接参数卡来焊接，不得任意改变。

（2）对于现场使用的设备、电极、工装和仪器，都应有严格的标准、评定方法、定期校验和鉴定制度。

(3) 通过制作工艺试片或代表性试验件等办法, 进行焊点(缝)内部质量的鉴定, 并以此来代表同一批零件的质量。

(4) 确保焊工的操作能力处于良好状态, 定期进行技术考核和身体检查。

(5) 执行严格的工艺纪律和检验制度。

(三) 质量控制的内容

点、缝焊质量控制的内容是十分广泛的, 主要有以下几个方面:

1. 监控、自动控制和自动调整装置的应用

监控、自动控制和自动调整装置均属于技术上的质量控制。监控装置可在焊接过程中指出焊点是否合格; 而自动控制和自动调整装置可在焊接过程中施加影响, 使其成为合格的焊点。

自动控制是将过程的某个参数的实际值与标准值相比较, 发生偏差时由控制系统予以补偿, 尽量使该参数接近或等于标准值, 而对焊接结果不予过问。这种系统又称为开环调整系统(见图 8-3 a)。如电源电压补偿、电流反馈等就属于自动控制。

自动调整是将能够反映焊接结果的某个参数取出与标准值相比较, 发生偏差时由控制系统自动改变规范参数, 使焊接结果符合规定要求。这种系统又称为闭环调整系统(见图 8-3 b)。电极位移和电极两端电压参数, 则可作为监控或自动调整。目前国内、外研究的这类参数, 还有焊接功率(或能量)、动态电阻、对超声波反射能力、核心周围温度或红外线辐射能力等。

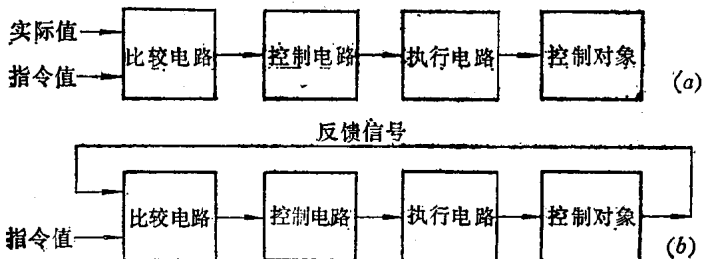


图8-3 自动控制与自动调整系统方框图

(a) 自动控制; (b) 自动调整。

在众多的影响点、缝焊质量的因素中，绝不能设想应用一种万能的监控方法，来控制最终的焊接质量。就目前电阻焊发展的水平来看，还应当是破坏性试验（工艺试件和抽查零件试验）、无损探伤和质量监控等各种方法的联合应用，互为补充，方能确保焊接质量的稳定。

2. 接头设计

接头设计也是一个很重要的因素。接头设计时，除了要计算焊点或焊缝的最小许用强度外，还要参考有关资料或手册，以便正确选择焊点直径、焊缝宽度、搭接宽度、点距及边距等。材料的厚度比不应相差太悬殊，否则会引起熔核偏移。异种材料的组合要考虑它们的焊接性以及是否会产生脆性的金属间化合物。同时焊缝不能位于刚性较大的部位，零件结构形状的开敞性要好，以尽量少采用或不采用弯头电极、延伸滚轮或其他特殊电极和滚盘。所有这一切均不能稍有疏忽，否则就会给焊接工艺带来困难，因此而影响焊接质量的稳定。

3. 设备的鉴定、使用、维护和修理

点、缝焊机是从事电阻焊生产的主要工具。“工欲善其事，必先利其器”，只有加强设备管理，使设备随时处于良好的技术状态，才能够确保点、缝焊生产的正常进行。设备的技术管理内容包括安装、调试、鉴定、使用、维护、修理和技术改造等许多方面。

设备的性能指标必须满足焊接工艺的要求。因此对准备使用的焊机、工艺装备和检测仪器均要进行认真的鉴定，以考核其是否能够投入使用。现代工业发达国家对点、缝焊机的鉴定十分严格，不但要用示波器观察并记录时间、焊接电流的波形、幅值以及焊接压力（编制标准波形图），还要进行焊点（缝）的一致性试验（包括该设备投入使用后所焊接材料的最大和最小厚度）。一般点焊机鉴定为105片点焊试样，其中100片剪切试验；5片金相检查。缝焊机鉴定为25片缝焊试样，其中20片剪切试验；5片金相试验。

在使用点、缝焊机过程中，由于电路、机械传动、气路、水路等系统不断运转，必然会产生技术状况的不断变化。因此，必须加强设备的维护和修理。用维护不良的焊机生产会产生各种不允许的焊接缺陷。有时，虽然也能焊出合格的试片和零件，但总的来说焊接质量很不均匀，在产品使用过程中有可能造成故障。维护环节包括清洁、润滑、紧固、调整、开机生产前的检查以及定期检查等工作。目前，普遍对缝焊机滚动轴承的润滑十分重视，例如英国菲特拉尔焊机公司规定，缝焊机的滚动轴承润滑必须确保每焊接4小时添加一次高质量的‘Rocal Metalflo 1204’石墨润滑油。

焊机的定期检查具有预防性维护的性质，它包括二次回路直流电阻（简称：二次回路电阻）、焊接电流、焊接时间、休止时间以及电极压力等参数是否符合技术文件的规定要求。通过检查这些项目可以全面掌握焊机的技术性能，及时更换损坏的元件，并为定期修理提供原始资料。

修理分为小修、中修和大修三种。工厂企业的机动部门应在点、缝焊机修理规程中明确规定中、大修工作的计划日期和修理内容。中修或大修后的焊机在投产使用前，必须重新鉴定，并对原先制定的焊接参数进行全面复查。必要时，应重新制定焊接参数。

由于焊机的性能对焊接质量有很大的影响，国外工厂一般每月都要用示波器对焊机的各个参数进行观察并记录，同时要用原先鉴定时的标准波形图校对，以保证焊机正常工作。

设备的维护和修理应当根据设备制造厂推荐的规程进行。这点很重要，因为设备制造厂是焊机的直接设计、制造单位，对焊机的性能、维护和修理内容最了解，因此由其来制定维修规程，比较合理。而我们往往不重视这点，焊机的维护和修理规程都由各使用企业自行编制。

随着现代工业的发展，常用的老型号的单相交流焊机已满足不了现代化大生产的要求，这是因为焊机的原设计性能指标比较

落后，往往又超期使用，且现场不注意维护和修理，因而老化特别严重。因此，有必要参照先进的点、缝焊机，对老设备加以改造。

4. 焊工的技术培训和定期考核

虽然点、缝焊的自动化程度较高，焊接操作比较简单，但由于影响焊接质量的因素较多，焊接参数的选择、调整以及实际操作技术的掌握仍然十分关键。焊工必须具备一定的理论和实际操作水平。所以，必须加强焊工和检验员的培训，并进行定期考核，以保证操作人员的技术水平。为此，应当根据各部门或企业的产品特点，编制部门或企业的焊工培训大纲和考核说明书，成立部门或企业的考工委员会，严格把关。首先应当经常教育焊工必须严格按照设计图纸、工艺规程、工艺说明书、焊接质量检验标准进行生产。在考核说明书中应当详细规定焊工、检验员考核的理论和实际操作项目。实际考核的试样必须经过低倍、撕破、 x 光检查并进行各种机械性能试验，来评定焊接接头的质量好坏。只有当焊工、检验员获得合格证后，方能允许从事合格证内规定的工种、材料和零件的焊接或检验。

5. 原材料与辅助材料

国外对原材料的控制较为严格。首先，不论是主、辅材料，都有国家或工厂标准。这些材料标准和说明书中，严格地规定了出厂要求、冶炼情况和制造方法、化学成分、杂质含量、供应状态、尺寸公差、缺陷检验项目（纯洁度、无损检查）、热处理制度、机械性能测试（拉力、冲击、硬度等）、检验或试验方法、金相组织、机械性能试样制备、实验室批准试验、批准的材料牌号和制造厂等。这一系列的要求都有一整套严密的程序加以控制，材料的供应厂商和使用者都要严格执行。

一般，主、辅材料都实行定点供应。定点前要反复了解供应厂的生产条件、技术水平、质量管理等情况，并经过多次试验验证确认已符合要求，才能定点。定点以后，要经常定期检查其质量情况。如果变更定点，要重新考核检验。

对原材料实行严格管理，防止混料或混批。除设置各种制度之外，每种材料都应有相应的牌号、标准和材料编码。一个牌号是化学成分基本相同的一类材料的通称，而具体的半成品状态、热处理状态则由材料编码来决定。这些由几个字母组成的编码，可以将材料牌号、标准、形状及最终热处理状态表示出来。材料牌号、材料标准和材料编码三要素互为补充，广泛应用在技术文件和现场中，便于对原材料的识别。由于对原材料加以控制，不但杜绝了混料或混批现象，而且还避免了因原材料化学成分及机械性能的问题而引起的焊接条件变化。

6. 工艺软件

工艺软件包括工艺规程、焊缝分类、焊接说明书以及质量检验标准等。

国外一般按照焊接接头的工作条件和可靠性要求，将焊缝分成A、B、C三级（或1、2、3类）。根据不同的焊缝等级，对焊前清理、焊机性能鉴定、焊接质量检验方法、焊接缺陷标准、接头机械性能标准等都作了不同的具体规定，严、宽区别对待。实践证明，这种对焊缝分类的方法不但能更有效地确保高等级焊缝质量的稳定性，而且能提高低等级焊缝的生产率及经济效益。

在工艺规程上合理地安排点、缝焊组合件的工艺流程并采用焊接符号标准，使技术图纸上的焊缝更明晰化，一目了然。如电阻焊的焊接符号可表示下列内容：焊接方法、焊缝类别、焊点点数或间距以及是否是周向焊缝等。此外，生产中还制定有焊接说明书和焊接质量检验标准。电阻焊工艺说明书的一个重要特点是明确规定了生产过程中的程序控制，对起始、中间和终结试片，都有详细的规定和要求。选择焊接参数的原则、制定的方法和程序、允许调整的范围，也都有详细的阐述和规定。作为零组件焊接质量验收依据的焊接质量检验标准，规定了允许的或不允许的表面或内部的焊接缺陷。所有这些工艺软件随着产品要求和技术的发展，应及时加以更改和补充，以适应现场生产需要，达到质量控制目的。

7. 电极、滚盘及各类工艺装备

电极材料系列化、规格化十分重要。国外一般按 RWMA[●] 的组别, 将电极材料分成 1 至 13 类, 并明确规定各类的用途。在焊接时, 电极端头尺寸的控制十分严格, 不允许焊工任意锉修电极, 生产中靠及时更换电极来保证电极端头尺寸的稳定。同时, 还大量采用装配定位焊夹具、焊接引导套、焊接夹具、型架及支承架装置等, 以保证零组件的装配尺寸、焊缝轨迹、焊件不倾斜并减轻焊工的劳动强度。国外有的工厂采用组合夹具, 兼有装配定位焊、正式焊接、校正和检验夹具的功能, 只需简单调整夹具的辅助垫块, 即可改变夹具的功能。

8. 环境保护

随着现代化工业生产的发展, 环境保护的重要性日益突出, 焊接工作场地的环境保护也日益受到重视。焊接环境保护既有利于从事焊接的人员身体健康, 还可以使零件和设备免于污染。在新型的焊机设计上, 已经综合考虑设置保护装置、消音装置和报警装置。

二、航空材料及其焊接性

材料的焊接性是定性地评价某一合金材料的焊接工艺性能、产生焊接冶金缺陷的倾向性以及焊接接头的机械性能等等。

评定电阻焊的焊接性, 必须注意以下几个问题:

(1) 点、缝焊时产生的熔核被塑性环包围、与外界空气基本不接触, 因此无氧化倾向。例如: 钛合金采用钨极氩弧焊时, 正、反面必进行氩气保护, 否则就会产生焊缝氧化; 而钛合金的点、缝焊就不存在熔核氧化问题。

● RWMA 美国电阻焊机制造者协会 (Resistance Welder Manufacture's Association)