

实用 焊接技术

SHIYONG
HANJIE JISHU

——焊接方法工艺、质量控制、
技能技巧与考证竞赛

邱葭菲 蔡郴英 ◎ 编著



湖南科学技术出版社

实用 焊接技术

SHIYONG
HANJIE JISHU

——焊接方法工艺、质量控制、
技能技巧与考证竞赛



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

实用焊接技术——焊接方法工艺、质量控制、技能技巧与
考证竞赛/ 邱葭菲, 蔡郴英编著. — 长沙: 湖南科学技术
出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-5357-6350-1

I. ①实… II. ①邱… ②蔡… III. ①焊接—基本知
识 IV. ①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 147122 号

实用焊接技术

——焊接方法工艺、质量控制、技能技巧与考证竞赛

编 著: 邱葭菲 蔡郴英

责任编辑: 杨 林 龚绍石

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

印 刷: 长沙瑞和印务有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市井湾路 4 号

邮 编: 410004

出版日期: 2010 年 10 月第 1 版第 1 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 48.75

插 页: 4

字 数: 1560000

书 号: ISBN 978-7-5357-6350-1

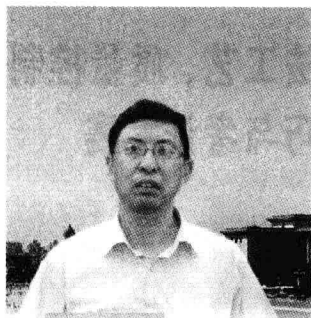
定 价: 98.00 元

(版权所有·翻印必究)

实用 焊接技术

SHIYONG
HANJIE JISHU

作者简介



邱葭菲 男,浙江机电职业技术学院教授、高级技师、全国高校教学名师、全国优秀教师。发表专业论文40余篇,编著、主编教材14部;主持国家、省市科研课题12项;获国家、省市各种奖励约30项。兼任国家教学成果奖评审专家、国家精品课程评审专家。

前 言

我国高校 1997 年进行专业调整,将原本不多高校开设的焊接专业与铸造专业、锻压专业合并为材料成型与控制工程专业,致使焊接技术人才输出数量减少。而随着工业的快速发展,焊接技术的应用却日趋广泛,全国每年钢产量的 45% 要经过焊接加工成为产品,故对焊接人才的需求日益增加。据调查,这种需求矛盾使目前很多中小企业甚至一些以焊接为主导工艺的大型企业,连专科学历的焊接毕业生都一个难求。

据统计,目前在企业特别是中小企业中从事焊接技术工作(焊接工艺设计、焊接工艺编制、焊接检验及焊接操作技能等)的人员主要来自两个方面:一是经过材料成型与控制工程专业学习的毕业生,其特点是专业学时短,缺乏就业前专业培训及相关经验;二是由其他专业的技术人员转行而来,他们虽有一定的工作经历,但缺乏系统焊接理论的学习及实践经验。这些技术人员的加入虽然暂时满足了企业的用人需要,但工作质量却不令人满意。国内外有关资料表明,在焊接结构如锅炉、压力容器等的失效事故中,焊缝是主要的失效源,而焊缝质量的低劣则是事故的重要原因,焊接工艺不当、焊接技能水平不高,又是焊缝质量低劣的主要因素。

因此编著一本难度适中、针对性强、实用性强,包括焊接基本理论及应用、焊接工艺设计技巧、焊接基本技能与技巧及焊接质量控制等内容的专业工具书是当前焊接生产及其应用的迫切需要,是满足生产一线技术人员(含高技能人员)的实际需要。本书就是在这种形势下,根据作者多年的研究成果及实践经验编著而成。

本书的特点是突出实践性和应用性,具有科学性、可靠性与先进性,具体体现在以下几个方面:

1. 集教科书与工程手册于一体

本书的编撰以应用性为原则,简化基础理论,既可作为一本通俗易懂的教科书、参考书,又收录了大量生产实际中的经验数据及实例资料,是一本实用的工程手册和工具书。编排方式新颖,按原理—工艺—技能技巧—应用实例方式编排,易学易查。

2. 集基础理论与应用实践于一体

目前市面上焊接书籍不少,但大多以介绍理论知识为主,而对理论的应用实践偏少。本书在编著过程中,特别注意理论与应用实践的結合,书中对每种焊接方法、常用金属材料、工艺设计、质量手册等都精选了大量的有价值的应用实例,针对性强,指导意义明显,这是本书的又一特点。

3. 集理论知识与技能技巧于一体

本书不仅系统地介绍了焊接基础理论知识,还着重介绍了常用焊接、切割方法的操作技能及操作技巧,强调理论对实践的指导,对生产一线的技术人员及操作工人具有较好的指导作用。

4. 集国家职业标准与技能鉴定及技能竞赛于一体

紧密联系焊工国家职业标准,书中详细介绍了焊工职业技能鉴定的方式方法、要求等内容,并且以全国职工职业技能大赛焊工比赛为例介绍了焊工比赛的要求、方式并选编了

部分比赛试题及评分标准，同时还提供了全国职工职业技能大赛焊工比赛的试题库，对焊工的技能鉴定与技能竞赛，具有较好的指导意义。

本书分四篇，共 28 章组成。第一篇介绍焊接、切割方法与技术，包括焊接、切割方法概述、焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护电弧焊、钨极惰性气体保护焊（TIG 焊）、气焊与气割、等离子弧焊及切割、电阻焊、其他焊接、切割方法与技术 9 章；第二篇介绍焊接冶金与金属材料焊接，包括焊缝的形成与性能、熔合区和焊接热影响区、焊接化学冶金过程、金属的焊接性及非合金钢的焊接、合金钢的焊接、异种钢的焊接、铸铁及有色金属的焊接 7 章；第三篇介绍焊接工艺设计与质量控制，包括焊接生产的备料工艺、焊接生产的装配工艺、焊接接头设计技巧、焊接工艺制定与评定、焊接变形应力及控制、焊接缺陷及控制、焊接质量控制 7 章；第四篇介绍焊接技能技巧与技能竞赛，包括焊条电弧焊操作技能技巧、二氧化碳焊操作技能技巧、TIG 焊操作技能技巧、其他焊接切割方法技能技巧及焊工技能鉴定与技能竞赛 5 章。

本书由浙江机电职业技术学院邱葭菲和蔡郴英编著，邱葭菲编著绪论、第一篇、第二篇、第三篇和第四篇的第二十八章，蔡郴英编著第四篇的第二十四、第二十五、第二十六、第二十七章。

本书在编著过程中，参阅了国内外出版的有关书籍和资料，得到了许多教授、专家，特别是很多企业的工程技术人员和高技能人员的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，书中如有疏漏和错误，恳请有关专家和广大读者批评指正。

编著者

2010 年 6 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 焊接、切割方法与技术

第一章 焊接、切割方法概述	11
第一节 焊接、切割方法的分类	11
第二节 焊接、切割方法的热源	16
第三节 焊接、切割方法的安全技术	26
第四节 焊接、切割方法的劳动保护	30
第二章 焊条电弧焊	32
第一节 焊条电弧焊的原理及特点	32
第二节 焊条电弧焊设备及工具	33
第三节 焊条电弧焊焊接材料	44
第四节 焊条电弧焊工艺	61
第三章 埋弧焊	66
第一节 埋弧焊的原理及特点	66
第二节 埋弧焊设备	69
第三节 埋弧焊的焊接材料	82
第四节 埋弧焊工艺	89
第四章 熔化极气体保护电弧焊	99
第一节 熔化极气体保护焊的原理及特点	99
第二节 二氧化碳气体保护电弧焊	102
第三节 熔化极惰性气体保护电弧焊	116
第四节 熔化极活性气体保护电弧焊	118
第五节 药芯焊丝气体保护电弧焊	121
第五章 钨极惰性气体保护焊 (TIG 焊)	125
第一节 TIG 焊的原理及特点	125
第二节 TIG 焊的焊接材料	126
第三节 TIG 焊设备	128
第四节 TIG 焊工艺	134
第六章 气焊与气割	143
第一节 气体火焰	143
第二节 气焊	145

第三节 气割	155
第七章 等离子弧焊及切割	164
第一节 等离子弧	164
第二节 等离子弧切割	167
第三节 等离子弧焊接	173
第八章 电阻焊	183
第一节 电阻焊的原理及特点	183
第二节 电阻焊设备	186
第三节 常用电阻焊工艺	192
第九章 其他焊接、切割方法与技术	201
第一节 钎焊	201
第二节 电渣焊	207
第三节 碳弧气刨	211
第四节 螺柱焊	214
第五节 先进焊接方法与技术简介	218

第二篇 焊接冶金与金属材料焊接

第十章 焊缝的形成与性能	225
第一节 焊条、焊丝及母材的熔化	225
第二节 焊缝金属的一次结晶	232
第三节 焊缝金属的二次结晶	236
第四节 焊缝组织与性能的改善	239
第十一章 熔合区和焊接热影响区	242
第一节 焊接熔合区	242
第二节 焊接热循环	243
第三节 焊接热影响区	245
第十二章 焊接化学冶金过程	256
第一节 焊接化学冶金的特殊性	256
第二节 焊接区内的气体和焊接熔渣	260
第三节 焊接区气体、熔渣与焊缝金属的作用	267
第四节 焊缝金属的合金化	282
第十三章 金属的焊接性及非合金钢的焊接	285
第一节 金属的焊接性及评定	285
第二节 非合金钢（碳钢）的焊接	293
第十四章 合金钢的焊接	298
第一节 低合金高强钢的焊接	298

第二节	耐热钢及低温钢的焊接	314
第三节	不锈钢的焊接	324
第十五章	异种钢的焊接	340
第一节	异种钢接头及成分和组织	340
第二节	异种钢的焊接工艺	344
第三节	低碳钢与低合金高强钢的焊接	346
第四节	珠光体钢与奥氏体钢的焊接	348
第五节	不锈复合钢板的焊接	354
第十六章	铸铁及有色金属的焊接	359
第一节	铸铁的焊接	359
第二节	铝及铝合金的焊接	372
第三节	铜及铜合金的焊接	378
第四节	钛及钛合金的焊接	385
 第三篇 焊接工艺设计与质量控制		
第十七章	焊接生产的备料工艺	393
第一节	钢材的预处理	393
第二节	画线、放样与下料	403
第三节	弯曲与成形	426
第十八章	焊接生产装配工艺	438
第一节	焊接装配的方式、定位及测量	438
第二节	装配用常用工具与设备	443
第三节	焊接结构的装配方法	448
第十九章	焊接接头及其设计	457
第一节	焊接接头及其组成	457
第二节	焊接接头在图样中的表示法	467
第三节	焊接接头的工作应力及静载强度计算	476
第四节	焊接接头设计原则与技巧	485
第二十章	焊接工艺制定与评定	494
第一节	焊接工艺制定	494
第二节	焊接工艺评定	511
第二十一章	焊接变形、应力及控制	521
第一节	焊接变形和应力的形成	521
第二节	焊接残余变形	523
第三节	焊接残余应力	535

第二十二章 焊接缺陷及控制	540
第一节 焊接缺陷的分类及危害	540
第二节 焊缝气孔的控制	541
第三节 焊缝夹杂物的控制	548
第四节 焊接裂纹的控制	550
第五节 其他焊接缺陷的控制	569
第六节 焊缝返修的控制	573
第二十三章 焊接质量控制	576
第一节 焊接质量管理	576
第二节 焊接质量检验	592

第四篇 焊接技能技巧与技能竞赛

第二十四章 焊条电弧焊操作技能技巧	621
第一节 焊条电弧焊基本操作技能技巧	621
第二节 各种位置焊缝的操作技能技巧	626
第三节 板对接单面焊双面成形技能技巧	635
第四节 管对接单面焊双面成形技能技巧	645
第五节 管板单面焊双面成形技能技巧	650
第二十五章 二氧化碳焊操作技能技巧	656
第一节 二氧化碳焊基本操作技能与技巧	656
第二节 板对接单面焊双面成形技能技巧	658
第三节 管对接与管板单面焊双面成形技能技巧	663
第四节 药芯焊丝单面焊双面成形技能技巧	666
第二十六章 TIG 焊操作技能技巧	668
第一节 TIG 焊基本操作技能技巧	668
第二节 TIG 焊单面焊双面成形技能技巧	669
第二十七章 其他焊接、切割方法操作技能技巧	677
第一节 埋弧焊操作技能技巧	677
第二节 气焊、气割操作技能技巧	679
第三节 等离子弧焊与切割操作技能技巧	684
第四节 电阻点焊操作技能技巧	686
第五节 火焰钎焊操作技能技巧	688
第六节 碳弧气刨操作技能技巧	690
第二十八章 焊工技能鉴定与技能竞赛	692
第一节 焊工职业技能鉴定	692
第二节 焊工技能竞赛	709

绪 论

一、焊接的实质

在金属结构和机器制造中,经常需要将两个或两个以上的零件按一定形式和位置连接起来。根据这些连接方法的特点,可将其分为两大类:一类是可拆卸的连接方法,即不必毁坏零件就可以拆卸,如螺栓连接、键连接等,如图0-1所示;另一类是不可拆卸的,即永久性连接方法,其拆卸只有在毁坏零件后才能实现,主要有焊接、铆接等,如图0-2所示。

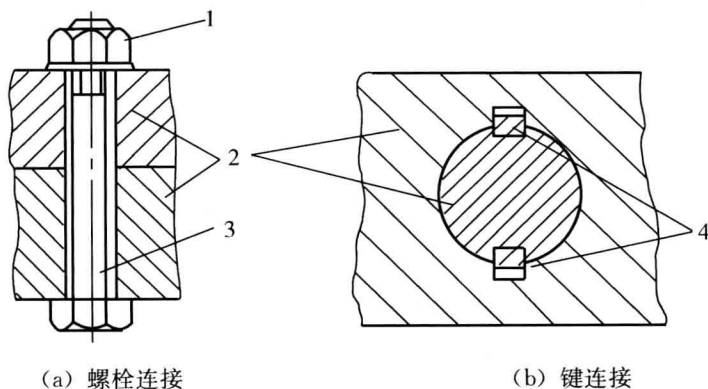


图0-1 可拆卸连接

1. 螺母 2. 零件 3. 螺栓 4. 键

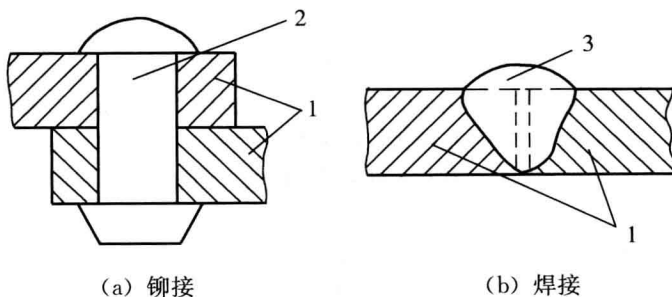


图0-2 不可拆卸连接

1. 零件 2. 铆钉 3. 焊缝

焊接就是通过加热或加压,或两者并用,使用或不使用填充材料,使焊件达到结合的一种加工工艺方法。

焊接与其他连接方法(如螺栓连接、键连接、铆接等)有实质性的区别。在宏观上,焊接的结合是不可拆卸的,即通过焊接方法连接的工件成为永久性的接头;在微观上,焊接的特点是在焊接件之间达成原子间的结合。对金属而言,就是在两焊接件之间建立了金属键。

图0-3所示为双原子相互作用力与距离的关系图。两个原子间的结合力的大小是两者之间的引力与斥力综合作用的结果,只有引力和斥力达到平衡,即合力为零时,两原子的相对位置才能固定。引力和

斥力的大小取决于原子间的距离，只有当原子间的距离与金属的晶格常数接近时，引力和斥力才有可能达到平衡而形成金属键。当原子间的距离远大于晶格常数时，它们之间的引力和斥力都接近于零，可以认为原子间没有力的作用；当两原子间逐渐接近，将同时有引力和斥力作用，直至原子间的距离为 r_A 时，合力表现为引力且最大，对于大多数金属来说， $r_A = (3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{ cm}$ ($3 \sim 5 \text{ \AA}$)，此时原子即可自动靠近而达到平衡位置。

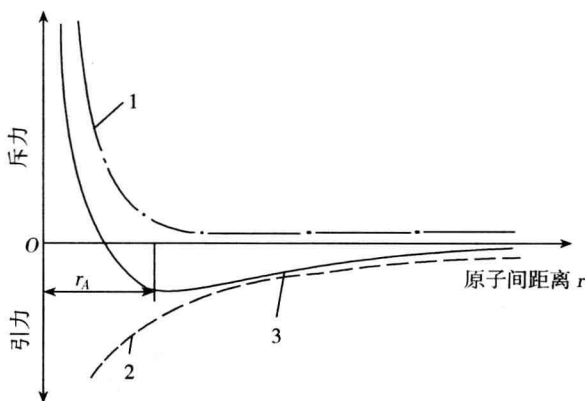


图 0-3 双原子相互作用力与距离的关系

1. 斥力 2. 引力 3. 合力

从理论上讲，焊接时当两个被焊的固体金属表面接近到相距 r_A 时，两侧原子就会产生最大引力，就可以在接触表面上进行扩散、再结晶等物理化学过程，并进一步靠近，最后原子间距离达到合力为零的平衡时，建立金属键，达到焊接的目的。

但实际上，在没有外加能量的条件下，要使两个分离的固体金属表面距离达到 r_A 是不可能的。这是因为即使经过精密机加工的金属表面，其表面粗糙度也远大于 r_A 值，加之金属表面一般还有氧化膜、油污和水分等吸附物也阻碍了金属表面的紧密接触。因此焊接时必须输入一定的能量才能克服阻碍金属表面紧密接触的各种因素，这就是金属焊接时必须采取加热、加压或两者并用的原因。

对焊件施加压力，可以破坏接触面的氧化膜，使连接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，当压力达到一定值时，两接触面原子间的距离可以接近 r_A 值，从而产生最大合力，最终建立金属键。

对焊件进行局部或整体加热，可使连接处达到塑性或熔化状态，从而破坏金属表面的氧化膜，减小变形阻力，加热还会增加原子的振动能，有利于再结晶、扩散、化学反应和结晶过程的进行，最终实现焊接。

必须指出的是，每一种金属实现焊接所需的最低能量是一定的，所需的加热温度和压力之间存在着一定的对应关系。图 0-4 所示为纯铁焊接时所需温度与压力的关系。从图中可以看出，焊接时加热的温度越高，所需的压力就越小。当加热温度低于 T_1 时，压力必须在 AB 以上（Ⅰ区）才能实现焊接，称为高压焊接区，实际生产中只有少数高塑性低强度金属才能在此条件下进行焊接；加热温度在 $T_1 \sim T_2$ 之间时，压力应在 BC 以上（Ⅱ区），称为压焊区或电阻焊区；当加热温度超过在 T_M 时，实现焊接所需的压力为零（Ⅲ区），称为熔焊区；在曲线 ABC 以下的区域（Ⅳ区），由于外加能量不足，是不能实现焊接的区域。其他金属材料焊接时温度与压力的关系与纯铁类似。

必须注意的是，还有一类焊接方法——钎焊，其利用液态钎料的毛细作用填充接头间隙和钎料润湿母材的作用虽然也能在宏观上形成不可拆卸的接头，但由于母材不熔化，一般不易形成共同晶粒。而对于熔焊和压焊，在焊件之间（母材和焊缝）都能形成共同的晶粒，这是钎焊在微观上与压焊或熔焊的本质区别。熔焊或压焊与钎焊的区别如图 0-5 所示。

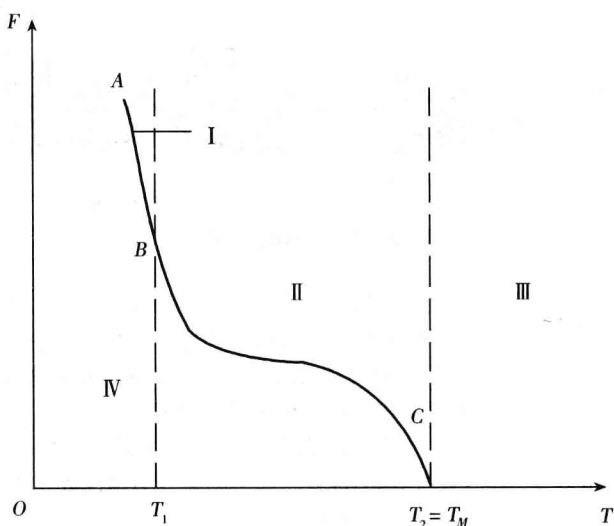


图 0-4 纯铁焊接时所需温度 T 与压力 F 的关系

I. 高压焊接区 II. 压焊区 III. 熔焊区 IV. 不能实现焊接区

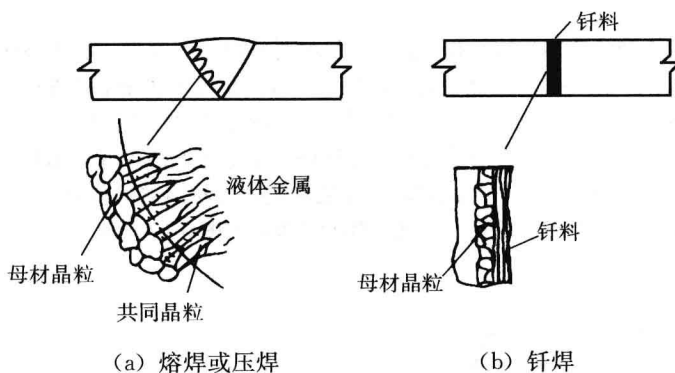


图 0-5 熔焊或压焊与钎焊的本质区别

二、焊接特点及焊接过程

1. 焊接的特点

焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方法。在许多工业部门的金属结构中，焊接几乎全部取代了铆接；在机械制造业中，不少过去一直用整铸、整锻方法生产的大型毛坯也改成了焊接结构，大大简化了生产工艺，降低了成本。目前世界各国年平均生产的焊接结构用钢已占钢产量的 45% 左右，焊接方法之所以能迅速地发展，是因为它本身具有一系列优点。

(1) 焊接与铆接相比，首先可以节省大量金属材料，减轻结构的重量。例如起重机采用焊接结构，其重量可以减轻 15%~20%，建筑钢结构可以减轻 10%~20%。其原因在于焊接结构不必钻铆钉孔，材料截面能得到充分利用，也不需要辅助材料，如图 0-6 所示。其次简化了加工与装配工序，焊接结构生产不需钻孔，画线的工作量较少，因此劳动生产率高。另外焊接设备一般也比铆接生产所需的大型设备（如多头钻床等）的投资低。焊接结构还具有比铆接结构更好的密封性，这是压力容器特别是高温、高压容器不可缺少的性能。焊接生产与铆接生产相比还具有劳动强度低、劳动条件好等优点。

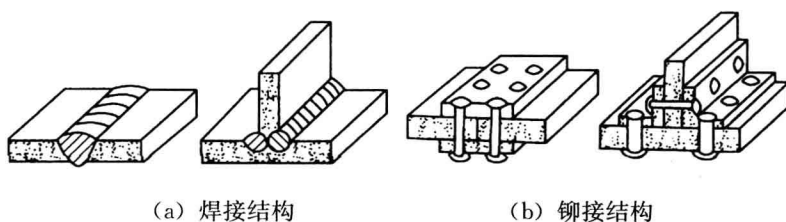


图 0-6 焊接与铆接比较

(2) 焊接与铸造相比, 首先它不需要制作木模和砂型, 也不需要专门熔炼、浇铸, 工序简单, 生产周期短, 对于单件和小批生产特别明显。其次, 焊接结构比铸件能节省材料。通常, 其重量比铸钢件轻 20%~30%, 比铸铁件轻 50%~60%, 这是因为焊接结构的截面可以按需要来选取, 不必像铸件那样因受工艺条件的限制而加大尺寸, 且不需要采用过多的肋板和过大的圆角。此外, 采用轧制材料的焊接结构材质一般比铸件好。即使不用轧制材料, 用小铸件拼焊成大件, 小铸件的质量也比大铸件容易保证。

(3) 焊接具有一些用别的工艺方法难以达到的优点, 如可根据受力情况和工作环境在不同的部位选用不同强度和不同耐磨、耐腐蚀、耐高温等性能的材料。

焊接也具有一些缺点: 如产生焊接应力与变形, 而焊接应力会削弱结构的承载能力, 焊接变形会影响结构形状和尺寸精度。焊缝中还会存在一定数量的缺陷, 焊接中还会产生有毒有害的物质等。这些都是焊接过程中需要注意的问题。

2. 焊接的一般过程

金属熔焊时, 被焊金属由于热的输入和传播, 一般都要经历如下过程: 加热→熔化→冶金反应→结晶→固态相变→形成接头。这些过程虽然很复杂, 但可归纳为互相联系和交错进行的 3 个阶段: 一是焊条、焊丝及母材的快速加热和局部熔化; 二是熔化金属、熔渣、气相之间进行一系列的化学冶金反应, 如金属的氧化、还原、脱硫、脱磷、渗合金等; 三是快速连续冷却下的焊缝金属的结晶和相变, 此时易产生偏析、夹杂、气孔及裂纹等缺陷。与此同时, 焊缝两侧的母材因热的传递也会受到焊接热的作用, 发生组织和性能变化, 形成焊接热影响区。金属熔焊的过程, 如图 0-7 所示。

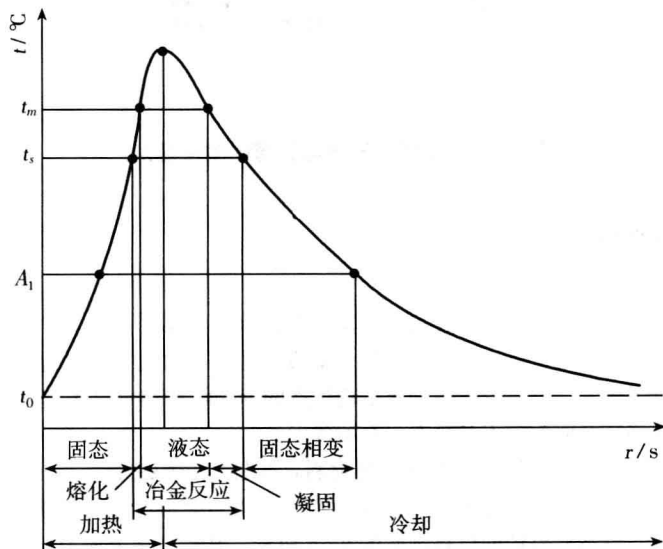


图 0-7 熔焊过程

t_m . 金属的熔化温度 t_s . 金属的结晶温度 t_0 . 初始温度 A_1 . 钢的 A_1 相变点

三、焊接生产工艺流程

焊接结构生产工艺流程,是根据生产任务的性质、产品的图纸、技术要求和工厂条件,运用焊接技术及相应的金属材料加工和保护技术、无损检测技术等来完成焊接结构产品的全部生产过程的各个工艺过程。由于焊接结构的技术要求、形状、尺寸和加工设备等条件的不同,使各个工艺过程有一定区别,但它们都有着大致相同的生产步骤,即:生产准备,备料加工,装配,焊接,质量检验和喷漆,验收,交货等过程,如图 0-8 所示。

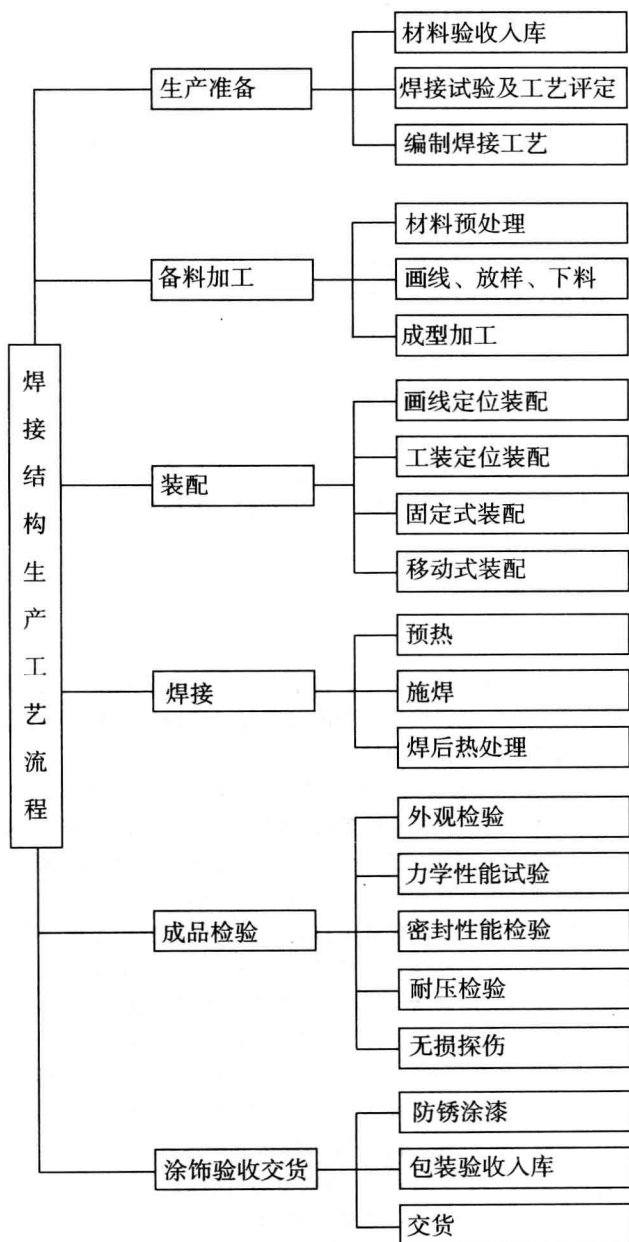


图 0-8 焊接结构生产工艺流程

1. 生产准备

为了提高焊接产品的生产效率和质量,保证生产过程的顺利进行,生产前需做好准备工作。生产准备包括:熟悉产品施工图纸和技术条件,材料的验收入库,焊接性试验及焊接工艺评定,确定焊接工艺等。

2. 备料加工

备料加工是结构材料在装配焊接前照工艺要求加工的过程。备料加工工艺包括:矫正,除锈,表面清理等预处理和画线,放样,下料,坡口制备及冷热成型加工(弯曲、冲压)等零件加工过程。预处理的目的是为零件加工提供合格的原材料,零件加工则是保证零件的质量,为装配焊接提供符合要求的装配焊接件。零件加工占焊接产品制造总工时的40%~60%。

3. 装配与焊接

装配是将加工好的零件,采用适当加工方法,按照产品图样的要求组装成产品结构的工艺过程(通常所说的铆工活),它占产品制造总工时的25%~35%。焊接则是将已装配好的结构,用规定的焊接方法和焊接工艺,使零件牢固连接成一个整体的工艺过程(通常所说的焊工活),它包括焊前预热,施焊和焊后热及焊后热处理等过程。

装配与焊接,是焊接结构生产中两个相互联系又有各自加工内容的生产工艺。对于一些比较复杂的焊接结构总是要经过多次焊接、装配的交叉过程才能完成,某些产品甚至还要在现场进行再次装配和焊接。装配与焊接在整个焊接结构制造过程中占有很重要的地位。

4. 质量检验与验收

焊接质量检验自始至终贯穿于焊接结构的制造过程中,包括焊前检验、焊接过程中的检验和焊后成品检验。完整的焊接质量检验能保证不合格的原材料不投产,不合格的零件不组装,不合格的组装不焊接,不合格的焊缝必返修,不合格的产品不出厂,层层把住质量关。通常所指的焊接质量检验主要是指焊后成品检验,主要有:外观检验,密封性检验,耐压检验,无损检验及力学性能试验等。检验验收合格的结构,经喷漆、包装后交给用户。

四、焊接技术的现状及其发展趋势

1. 焊接技术的现状

我国是世界上较早应用焊接方法的国家之一。古书上有这样的记载:“凡钎铁之法……小钎用白铜末,大钎则竭力挥槌而强合之……”这说明当时我国已掌握了用铜钎接和锻焊方法来连接铁类金属的技术,这也说明我国是一个具有悠久的焊接历史的国家。

近代焊接技术,是从1885年出现碳弧焊开始,直到20世纪40年代才形成较完整的焊接工艺方法体系。特别是20世纪40年代初期出现了优质电焊条后,焊接技术得到了一次飞跃发展。

现在世界上已有50余种焊接工艺方法应用于生产中,随着科学技术的不断发展,特别是计算机技术的应用与推广,使焊接技术特别是焊接自动化技术达到了一个崭新的阶段。各种新工艺方法,如多丝埋弧焊、窄间隙气体保护全位置焊、水下二氧化碳半自动焊、全位置脉冲等离子弧焊、异种金属的摩擦焊和数控切割设备及焊接机器人等,已广泛应用于船舶、车辆、航空、锅炉、电机、冶炼设备、石油化工机械、矿山机械、起重机械、建筑及国防等各个工业部门,并成功地完成了不少重大产品的焊接,如12000t水压机、世界最大最重的三峡电机定子座[直径22m,重量832t、图0-9(a)]、2008奥运主体育场“鸟巢”[图0-9(b)]及神舟系列太空飞船等。今天的焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类科学为一体的工程工艺学科,也使得焊接工艺操作正经历从手工到半自动化、自动化、智能化的过渡。表0-1为焊接方法的发展简史。

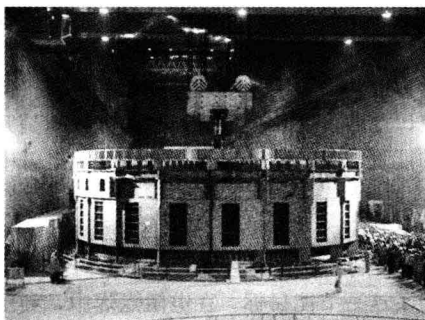
切割和焊接几乎是同时诞生的“孪生兄弟”,构成金属材料的一“裁”一“缝”,切割方法与焊接方法是相互促进、共同发展的,如气割与气焊,等离子弧切割与等离子弧焊接,激光切割与激光焊接等,因此焊接技术的发展进程也体现了切割方法及技术的发展进程。

表 0-1 焊接方法的发展简史

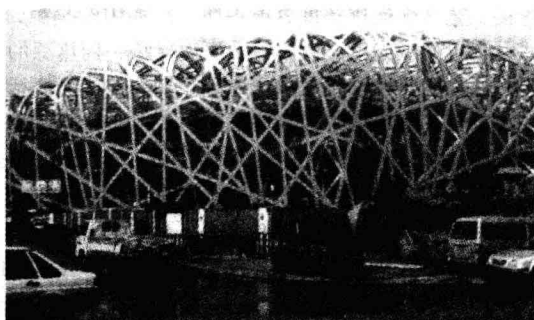
焊接方法	发明年代	发明国家	焊接方法	发明年代	发明国家
碳弧焊	1885	前苏联	冷压焊	1948	英 国
电阻焊	1886	美 国	高频电阻焊	1951	美 国
金属极电弧焊	1892	前苏联	电渣焊	1951	前苏联
热剂焊	1895	德 国	CO ₂ 气体保护电弧焊	1953	美 国
氧乙炔焊	1901	法 国	超声波焊	1956	美 国
金属喷镀	1909	瑞 士	电子束焊	1956	法 国
原子氢焊	1927	美 国	摩擦焊	1957	前苏联
高频感应焊	1928	美 国	等离子弧焊	1957	美 国
惰性气体保护电弧焊	1930	美 国	爆炸焊	1963	美 国
埋弧焊	1935	美 国	激光焊	1965	美 国

2. 焊接技术的新发展

如今,焊接技术又面临着新世纪的挑战。一方面,材料作为 21 世纪的支柱已显示出几个方面的变化趋势,即从黑色金属向有色金属变化,从金属材料向非金属材料变化,从结构材料向功能材料变化,从多维材料向低维材料变化,从单一材料向复合材料变化,新材料的连接必然要对焊接技术提出更高的要求。另一方面,先进制造技术的蓬勃发展,也对焊接技术的发展提出了越来越高的要求。



(a) 三峡电机定子座



(b) 北京奥运“鸟巢”

图 0-9 三峡电机定子座和北京奥运“鸟巢”

(1) 提高焊接、切割生产率,进行高效化焊接与切割

提高生产率的途径有三:第一,提高工件的焊接与切割速度。焊条电弧焊时使用纤维素焊条进行向下立焊可以提高焊接速度。熔化极气体保护焊中采用电流成型控制或多丝焊,能使焊接速度从 0.5m/min 提高到 1~6m/min。数控切割的应用使切割速度大大提高。第二,提高焊接熔敷率。焊条电弧焊中的铁粉焊条、重力焊条和躺焊焊条工艺,埋弧焊中的多丝焊、热丝焊均属此类,其效果显著。其熔敷效率甚至比焊条电弧焊大 100 倍以上。第三,减少坡口断面及熔敷金属量,近年来最突出的成就是窄间隙焊接。窄间隙焊接采用气体保护焊为基础,利用单丝、双丝或三丝进行焊接。无论接头厚度如何,均可采用对接形式。例如,钢板厚度由 50~300mm,间隙均可设计为 13mm 左右,因而所需熔敷金属量成数倍、数十倍地降低,从而大大提高生产率。电子束焊、等离子焊和激光焊时,可采用对接接头,且不用开坡口,因此是更理想的窄间隙焊接法,这是它受到广泛重视的重要原因之一。

(2) 提高准备车间的机械化、自动化水平