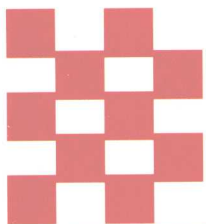


焊接结构

冷作 与

焊接技术入门

❖ 孙景荣 主编



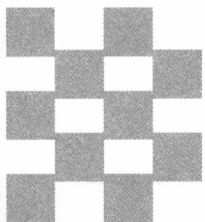
HANJIE JIEGOU
LENGZUO YU HANJIE JISHU RUMEN



化学工业出版社

焊接结构 冷作 与 焊接技术入门

※ 孙景荣 主编



HANJIE JIEGOU
LENGZUO YU HANJIE JISHU RUMEN



化学工业出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接结构冷作与焊接技术入门/孙景荣主编. —北京:
化学工业出版社, 2009. 3
ISBN 978-7-122-04609-3

I. 焊… II. 孙… III. 焊接结构-焊接工艺 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 004759 号

责任编辑: 周 红

文字编辑: 项 激

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 231 千字

2009 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书依据最新颁布的国家职业标准，并参照原《机械工人技术等级标准》及《国家职业技能鉴定规范》的基本要求，针对目前钢制焊接结构应用发展的实际情况，以及对焊接结构生产技术人才的需求而编写。本书适合从事钢制焊接结构制造的冷作和焊接技术工人阅读。通过阅读本书，能同时了解及掌握冷作和焊接两个工种（多面手）的基本操作技术，了解一般钢制焊接结构的生产全过程。

本书主要内容包括焊接结构概述，焊接应力与变形，冷作、焊接常用设备及工具，焊接结构作图、识图与计算，冷作放样、展开与备料，零件加工成形与装配，钢制结构的焊接，典型结构的装配与焊接，焊接结构产品检验等内容。全书包容了焊接产品生产冷作、焊接两个工种操作技术的全过程，基本上能满足掌握焊接钢结构生产技术的要求。

本书主要是针对国内中、小型钢制焊接结构生产企业的技术工人学习，以及在冷作、焊接工作中对实用数据进行查询和参考而编写的技术读本；同时也可供青工、农民工自学。广泛适用于从事各种钢制焊接结构生产的初学者和具有一定基本知识的初、中级技术工人，是一本集多工种知识于一体，跨工种的学习用书。

本书由孙景荣主编，李荣峰、刘文贤等参加编写及校对。由于书中内容涉及两个工种的生产操作技能和基本理论知识，编写难度较大，加之编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 焊接结构的焊接应力与变形	1
1.1 焊接结构概述	1
1.1.1 焊接结构的特点与分类	1
1.1.2 焊接结构的生产特点	3
1.2 焊接应力	4
1.2.1 焊接应力的特点	4
1.2.2 焊接残余应力	5
1.2.3 控制焊接残余应力的措施	7
1.2.4 消除焊接残余应力的方法	10
1.3 焊接变形	12
1.3.1 焊接变形对焊接结构的影响	12
1.3.2 影响焊接变形的因素	12
1.3.3 控制焊接变形的措施	16
1.3.4 焊接变形的矫正	19
1.4 焊接结构的脆性断裂	21
1.4.1 金属断裂的一般概念	21
1.4.2 焊接对缺口脆性的影响	26
1.4.3 冶金因素对缺口脆性的影响	29
1.4.4 焊接接头的韧性控制	31
第 2 章 常用焊接电源、夹具及冷作设备	38
2.1 电弧焊接电源	38

2.1.1	交流弧焊机	38
2.1.2	直流弧焊电源	43
2.1.3	脉冲弧焊电源	47
2.2	弧焊电源的选择	48
2.2.1	焊条电弧焊	48
2.2.2	埋弧焊	52
2.2.3	熔化极气体保护焊	52
2.2.4	钨极氩弧焊机	54
2.2.5	等离子弧焊及切割	54
2.2.6	药芯焊丝电弧焊	58
2.2.7	脉冲弧焊机	58
2.2.8	水下焊接与切割	58
2.2.9	电弧螺柱焊	60
2.3	冷作常用工具、量具及设备	60
2.3.1	冷作常用工具	60
2.3.2	冷作常用量具	63
2.3.3	冷作常用设备	64
2.4	焊接工装夹具	66
2.4.1	焊接工装夹具的分类	66
2.4.2	焊接工装夹具的特点及要求	66
2.4.3	定位器	67
2.4.4	夹具体	67
2.4.5	夹紧机构	69
2.4.6	组合夹具	86
2.4.7	专用夹具	87
第3章	结构作图、质量计算与识图	89
3.1	几何作图	89
3.1.1	线的划法	89
3.1.2	角及角的等分	91

3.1.3	圆弧划法、等分及连接·····	92
3.1.4	多边形的划法·····	94
3.1.5	椭圆的近似作法·····	98
3.2	金属材料的质量计算·····	98
3.2.1	法定计量单位及其换算·····	99
3.2.2	物体质量的计算·····	99
3.2.3	钢板质量的计算举例·····	100
3.2.4	型钢质量的计算·····	101
3.2.5	简单几何体的质量计算·····	102
3.3	焊接材料消耗量的计算·····	103
3.3.1	焊条消耗量计算·····	103
3.3.2	焊丝消耗量计算·····	106
3.3.3	焊剂消耗量计算·····	106
3.3.4	焊接材料消耗量的经验估算·····	106
3.4	焊接用气体消耗量的计算·····	109
3.5	电力消耗量的计算·····	112
3.6	焊接符号及标注方法·····	112
3.6.1	焊缝符号的标注及应用·····	112
3.6.2	焊缝符号在图样上的标注位置·····	117
3.7	冷作、焊接结构图样识读·····	118
3.7.1	冷作件装配基础知识·····	118
3.7.2	冷作结构图样的识读·····	120
3.7.3	简单装配图识读·····	121
3.7.4	焊接装配图识读·····	125
第4章	冷作放样、展开与备料·····	128
4.1	冷作放样·····	128
4.1.1	放样的基准选择·····	128
4.1.2	平面图形的放样·····	130
4.2	冷作展开·····	132

4.2.1	平行线法	133
4.2.2	放射线法	134
4.2.3	三角形法	136
4.3	样板制作	137
4.3.1	样板的种类	137
4.3.2	样板的制作与标注	138
4.3.3	样杆	141
4.3.4	型材样板	143
4.4	下料	143
4.4.1	冲裁下料	143
4.4.2	剪切下料	144
4.4.3	气割下料	144
4.5	钢材矫正	145
4.5.1	概述	145
4.5.2	钢材的矫正原理	147
4.5.3	钢材的矫正方法	147
4.5.4	手工矫正	147
4.5.5	机械矫正	149
4.6	火焰加热矫正法	150
4.6.1	概述	150
4.6.2	加热位置与温度	150
4.6.3	加热方式	151
4.6.4	加热的基本方法	152
第5章 零件的加工成形与装配		154
5.1	手工弯曲成形	154
5.1.1	弯曲	154
5.1.2	放边	156
5.1.3	收边	157
5.1.4	拔缘	157

5.2	机械压曲及卷制成形	159
5.2.1	板料压弯	161
5.2.2	卷弯成形	162
5.3	冷作构件的装配	167
5.3.1	装配定位	168
5.3.2	装配基准面的选择	169
5.3.3	装配工艺方法	169
5.3.4	定位装配及测量	171
5.4	典型冷作件的装配	171
5.4.1	圆筒形构件的对接装配	171
5.4.2	T形构件的装配	173
5.4.3	箱形构件的装配	175
第6章	钢制结构的焊接方法	176
6.1	焊条电弧焊	176
6.1.1	电焊的设备和材料	176
6.1.2	电焊工艺参数	184
6.1.3	电焊操作	186
6.1.4	焊条电弧焊常见缺陷及预防措施	193
6.2	手工钨极氩弧焊	194
6.2.1	氩弧焊概述	194
6.2.2	钨极氩弧焊工艺参数	195
6.2.3	钨极氩弧焊操作要点	198
6.3	CO ₂ 气体保护焊	200
6.3.1	CO ₂ 气体保护焊设备	200
6.3.2	CO ₂ 气体保护焊工艺参数	201
6.3.3	CO ₂ 气体保护焊操作	203
6.4	埋弧自动焊	204
6.4.1	埋弧自动焊的特点及应用	204
6.4.2	埋弧自动焊工艺参数	205

6.4.3	焊前准备	207
6.4.4	操作要领	208
6.4.5	埋弧自动焊常见焊接缺陷	209
6.5	气焊	209
6.5.1	气焊的焊接工艺参数	210
6.5.2	气焊火焰的调节	211
6.5.3	气焊基本操作技术	212
第7章	典型结构的装配与焊接	214
7.1	焊接结构装配与焊接的特点	214
7.2	各种结构件的装配、焊接顺序和方法	215
7.2.1	容器筒节的装配与焊接	215
7.2.2	型钢结构的装配与焊接	220
7.2.3	钢制管道的装配与焊接	226
7.3	列管式蒸发器的装配与焊接	230
7.3.1	蒸发器的结构特点	230
7.3.2	蒸发器所用材料	231
7.3.3	镍材的加工要点	232
7.3.4	镍材的焊接	233
7.3.5	蒸发加热器管束的连接	233
第8章	冷作、焊接结构质量检验	238
8.1	钢结构产品外观质量	238
8.2	焊缝的无损检验	240
8.3	焊接试板的力学性能试验	251
8.3.1	焊接试板的制备	251
8.3.2	拉伸试验	253
8.3.3	弯曲试验	254
8.3.4	冲击试验	256
8.3.5	试样复验	258

8.4 焊接接头的晶间腐蚀试验	258
8.4.1 不锈钢 10% (体积分数) 草酸浸蚀试验法 (GB 4334.1)	258
8.4.2 硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法 (GB 4334.2)	259
8.4.3 65%硝酸腐蚀试验方法 (GB 4334.3)	260
8.4.4 硝酸-氢氟酸腐蚀试验方法 (GB 4334.4)	261
8.4.5 硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法 (GB 4334.5)	261
8.5 焊接容器的致密性试验	262
8.5.1 耐压试验	262
8.5.2 致密性试验	263
参考文献	265

第 1 章

焊接结构的焊接应力与变形

1.1 焊接结构概述

1.1.1 焊接结构的特点与分类

(1) 焊接结构的优点

焊接结构之所以能有巨大的发展，是与焊接结构具有以下一系列的优点分不开的。

① 采用焊接结构可以减轻结构的重量，提高产品质量，特别是大型毛坯的质量（相对铸造毛坯）。结构接头的效能高，节省金属材料，节约基建资金。例如，12000kN 水压机，采用焊接结构后，主机重量减轻 20%~26%，上梁、活动横梁减轻 20%~40%，下梁减轻 50%，从而节省了费用，降低了成本。

② 焊接结构由于是连续焊接，连接厚度没有限制，并具有很好的气密性，这也是压力容器、储罐、船体等结构制造的必备条件。

③ 焊接结构多采用轧制金属材料，它的过载能力、承受冲击载荷能力强（与铸造结构相比）。对于复杂连接结构，比铆接简单得多，一般对接焊和角接焊就能满足各种焊接结构的要求。

④ 焊接结构可根据结构各部位在工作时的环境、所承受的载荷大小和特征，采用不同材料制造，并可以采用异种金属焊接或堆焊、喷焊制成，从而满足了结构使用性能的需要，又能降低制造成本。如厚壁加氢反应器的内壁，就是采用堆焊耐蚀层工艺制造的。航天器外壳防大气摩擦高温的材料是通过喷焊熔敷上去的。

⑤ 节省制造工时，节约资金。例如，一台自重 200000t 的油轮，

可在三个月的时间内下水。而同样的油轮采用铆接，要一年多才能下水。所以焊接结构具有一定的经济性，还具有成品率高的特点，焊接过程中，一旦出现焊接缺陷，修复比较容易，很少产生报废产品。

(2) 焊接结构存在的问题

① 焊接结构中存在焊接残余应力和变形。由于采用局部加热的焊接方法制造，就不可避免地会产生焊接应力和变形。焊接应力和变形不仅会影响结构的外形和尺寸，在一定条件下，还会影响结构的承载能力，如强度、刚度和稳定性等；给焊后的机械加工也带来一些困难，如尺寸的稳定性和加工精度等。

② 焊接过程会改变局部的材料性能，使结构中的性能不均匀。尤其是高强度钢、超高强度钢，例如，微合金控轧钢有优良的性能，但焊接时要求焊接过程洁净化和细晶粒化，焊接比较困难，容易导致焊接缺陷。虽然焊接缺陷大多能够修复，但一旦漏检或修复不当，就可能带来严重问题，如形成应力集中，加上性能不均匀，严重时会影响到结构的断裂行为，降低结构的承载能力。

③ 焊接结构是一个整体，因而刚度大，使之在焊接结构中易产生裂纹。由于焊接应力和变形、焊接缺陷、应力集中、收缩不均匀等，可导致焊接结构的脆性断裂和疲劳、应力腐蚀等，对破坏现象特别敏感。

(3) 焊接结构的分类

焊接结构很难用单一的方法进行分类，有时按结构的板材厚度分为薄板、中板和厚板结构；有时又按最终产品，分为飞行结构、油罐类结构、船体结构、建筑结构、运输车体等；按采用的材料，可分为钢焊结构、铝钛合金结构等。若按结构的工作特征以及结构的连接、设计分类，大致可分为以下几种。

① 梁、柱和桁架结构 工作在横向弯曲载荷下或纵向弯曲或压力下的结构称为梁或柱。由多种杆件被节点连接成承担梁或柱的载荷，而杆件都是主要工作在拉伸或压缩载荷下的结构称为桁架。作为梁的桁架分为上弦杆、下弦杆、腹杆（又分竖杆和斜杆），载荷作用在节点心上，从而使杆件成为只受拉（或压）力作用的二力杆。实际上，许多高耸结构，如输变电钢塔、电视塔等，都是桁架结构。

梁、柱和桁架结构是组成各类建筑钢结构的基础，如高层建筑钢结构、冶金厂房的钢结构（屋架、吊车梁、柱等）、海洋平台框架结构、各种起重机的金属结构等。用作建筑钢结构的梁、柱和桁架，常常在静载荷下工作，如屋顶桁架。而起重机的金属结构，包括桥梁和起重机桁架，则是在交变载荷下工作，受气候环境与温度的影响，这类结构容易发生脆性断裂和疲劳断裂破坏。

② 壳体结构 它是充分发挥焊接结构的密封特点，运用最广、用钢量最大的结构，包括焊接容器、储罐、各种锅炉、冶金设备、食品机械、水轮机的蜗壳等。这类设备大多用钢板冷、热加工成形后拼焊而成，要求焊缝致密。一些承受内压或外压的结构一旦焊缝失效，将会造成人员伤亡和重大经济损失。

③ 运输装备结构 这种结构大多承受动载，有很高的强度和刚度，安全性要求高，并且希望结构自身重量最小，如汽车结构、铁路车体结构等。

(4) 复合结构及机械零件 这类结构或零件是机械结构的一部分，需要满足不同的性能要求。其工作载荷常是冲击或交变载荷。此外，还常要求有耐磨、耐蚀、耐高温等特殊性能。有些结构在加工后即可使用，如挖掘机的焊接铲斗等；有的则要在焊后进行精加工，如鼓筒、汽轮发电机转子、60000t 水压机的立柱、梁、工作缸等。

1.1.2 焊接结构的生产特点

焊接生产过程是指采用焊接的工艺方法，把毛坯、零件和部件连接起来，是制成焊接结构产品的过程。各种焊接结构都是焊接生产的产品，有许多是最终的制成品，如大型球罐、桥梁、加氢反应器、尿素合成塔等；更多的则是主要部件或零件，如焊接船体、工业锅炉、起重机的金属结构、内燃机的机体等。

在工厂中负担焊接生产的车间，如金属结构车间、备料车间、装焊车间都是结构生产的主要车间。此外，焊接生产在工程建设、工程施工中也是最重要的生产环节，如在石油化工企业的建设中，焊接工作量占据总工作量的 1/3；我国西气东输的管线工程，采用

了 X70 钢管, 干线总长约 4000km, 管道直径 1016mm, 壁厚 14.6~26.2mm, 仅焊接接头就有 40 万个, 这还没有计算各种附属设施、闸阀门、加温装置等的焊接接头。可见, 随着焊接结构和焊接生产的发展, 焊接工艺水平在工业生产中占有越来越重要的地位, 焊接生产工艺是加快基础建设、保证和提高工程质量的重要措施。

1.2 焊接应力

焊接应力是由于焊接的热作用, 在构件焊接接头区域形成的局部内应力。它包括焊接过程中的温度应力(又称热应力)和接头形成后的残余应力。

1.2.1 焊接应力的特点

焊接应力属于内应力, 是在没有外部载荷作用下存在于焊件接头区内部的应力。它有如下特点。

(1) 自平衡性 即在应力存在范围内, 任一截面上的内载荷正负之和为零, 如图 1-1 所示。

(2) 方向复杂 一般来说, 焊接应力在接头区域的方向不是一致的, 且指向也不规则。

(3) 难于精确测量 由于焊接应力产生及存在的复杂性, 就目前的测量水平, 还不能准确地测量出应力的大小、方向及存在范围的尺寸, 所有测量手段只能得到定性或相对定量的结果, 同时也没有一种方法能进行精确的计算。

内应力按其作用的时间可分为瞬时应力和残余应力。瞬时应力是随时间而变化的, 如由于温度差异而引起的热应力, 是由于构件受热的不均匀膨胀变形或收缩变形不一致, 以及金属组织的转变引起的体积变化导致内部金属组织相互约束而产生的内应力, 是瞬时应力。然而, 当物体温度恢复到原始的均匀状态后, 构件中仍然存在应力, 这种应力就称为残余应力。

综上所述, 在焊接生产中, 焊接应力和残余变形是不可避免

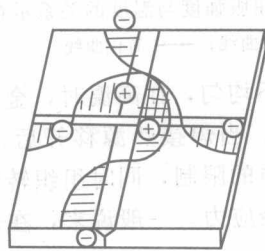
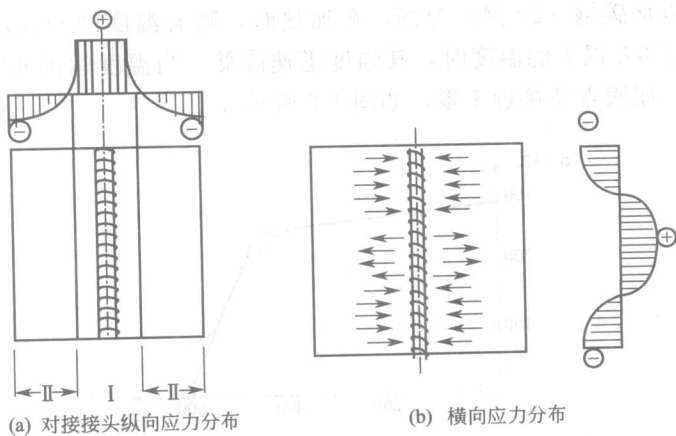


图 1-1 焊接残余应力分布示意图

I—拉应力区；II—压应力区

的。焊接过程结束，焊件冷却后，残余在焊件内部的内应力，即焊接残余应力，往往是造成裂纹破坏的直接原因，同时也降低了结构的承载能力和使用寿命。

焊接后产生的变形，即焊接残余变形，会造成焊件尺寸、形状的变化，给正常的焊接生产带来一定的困难。因此，在焊接生产中的一项重要任务，就是控制焊接残余应力和焊接残余变形。

1.2.2 焊接残余应力

焊接时，不均匀的加热与冷却是产生焊接残余应力的主要原

因。以低碳钢（20 钢）为例，在加热时，随着温度的升高，特别是在 300℃ 以上的温度时，其强度迅速降低。当温度达到 600℃ 左右时，屈服点便接近于零，如图 1-2 所示。

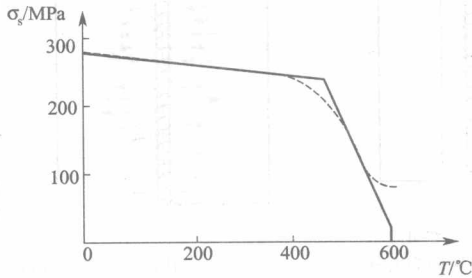


图 1-2 低碳钢屈服强度与温度的关系示意
---- 实测曲线；—— 简化曲线

焊接过程中由于加热的不均匀，在高温时，金属在屈服点为零的情况下处于自由变形状态。当焊接热源移开后，金属恢复强度时，其收缩变形受到周围金属的限制，同时组织转变过程中又发生体积变化，从而产生焊接残余应力。一般说来，在焊接条件下，主要存在以下几种应力。

① 温度应力。温度应力又称热应力，它是由于金属受热不均匀，各处变形不一致且相互约束而产生的应力。焊接过程中温度应力是不断变化的，峰值一般都达到屈服点，因此必然发生塑性变形。焊接结束冷却后，也必然有残余应力保留下来。

② 组织应力。焊接过程中，金属组织进行相变时，将产生体积变化，这主要是由于组织具有不同的物理性能（表 1-1），当焊缝金属从高温冷却，奥氏体分解时产生的铁素体、珠光体、马氏体等都会产生体积的膨胀，转变后的这些组织都具有较小的线胀系数。奥氏体分解产生的体积膨胀并不是在自由状态下进行的，而是受周围金属的约束作用，结果产生了应力。

对于低碳钢和一些低合金高强度钢焊后冷却时，奥氏体分解为珠光体和贝氏体的温度较高（低碳钢的相变点为 723℃），此时金属