

钢结构工程实用技术丛书


钢结构 焊接操作技术与技巧

于贺 主编

新规范、新标准

技术与技巧相结合
疑难问题轻松解决

GANGJIEGOU
HANJIE CAOZUO JISHU
YU JIQIAO

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



钢结构工程实用技术丛书

钢结构焊接操作技术与技巧

于 贺 主编

机械工业出版社

本书包括焊接基础知识, 焊接材料、设备及焊接工艺, 焊条电弧焊的操作技术, CO₂气体保护焊的操作技术, 埋弧焊的操作技术, 电渣焊的操作技术, 栓焊的操作技术, 常见钢结构的焊接方法以及焊接缺陷分析与检验共九章内容, 注重理论联系实践, 集合焊接理论、技能、技术资料等各个方面的精华, 通过简洁明了的语言、丰富的图示展现给读者。

本书可供建筑钢结构电焊工现场查阅使用, 也可作为现场编制电焊技术交底的蓝本, 同时可为工程设计及生产技术人员提供指导, 或作为大专院校相关专业的教学辅导用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构焊接操作技术与技巧/于贺主编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 11
(钢结构工程实用技术丛书)

ISBN 978-7-111-47844-7

I. ①钢… II. ①于… III. ①钢结构—焊接工艺 IV. ①TG457. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 203981 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 闫云霞 责任编辑: 闫云霞 张丹丹

版式设计: 霍永明 责任校对: 纪敬

封面设计: 鞠杨 责任印制: 乔宇

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.75 印张 · 332 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-47844-7

定价: 44.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

编 委 会

主 编 于 贺

编 委 (按姓氏笔画)

白 彤 白雅君 刘 佳 刘济铭

毕婷婷 李大伟 杜思宇 单云峰

贾宏亮 郭俊成 梁力凡 梁竞涛

董克瑞 韩 笑

前 言

随着我国国民经济的全面发展，钢结构在建筑结构中应用的比例越来越高，尤其是在高层与超高层建筑、大跨度空间结构、桥梁结构等建筑物中开始大量采用钢结构或钢与混凝土组合结构，这些都为钢结构提供了广阔的发展空间。

为了适应钢结构工程发展的需要，国家对钢结构相关方面的标准规范进行了大范围的修改与制定，同时各种新技术、新材料、新工艺、新设备也在钢结构工程中得到了广泛应用，还有国外各种先进技术设备的引进，这些都对钢结构工程施工和管理人员提出了更高的要求。因此，我们组织相关专家、学者编写了本书。

《钢结构焊接操作技术与技巧》是钢结构设计和施工的重要内容，包括焊接基础知识，焊接材料、设备及焊接工艺，焊条电弧焊的操作技术，CO₂气体保护焊的操作技术等内容。书中注重理论联系实际，将钢结构焊接操作知识逐层分布、条理清晰地讲解给读者，帮助读者对整体知识框架能更加深入地理解和吸收。

本书可供建筑钢结构电焊工现场查阅使用，也可作为现场编制电焊技术交底的蓝本，同时可为工程设计及生产技术人员提供指导，或作为大专院校相关专业的教学辅导用书。

本书在编写过程中参阅和借鉴了许多优秀书籍、专著和文献资料，并得到了有关领导和专家的大力支持和帮助，在此一并表示深切的感谢。限于编者的学识和经验，书中难免存在疏漏或未尽之处，敬请有关专家和读者予以批评指正。

编 者

目 录

前言	
第 1 章 焊接基础知识	1
1.1 基本规定	1
1.2 焊接的特点及其分类	2
1.2.1 焊接加工的特点	2
1.2.2 焊接加工的分类	2
1.2.3 各种焊接方法的基本原理及用途	3
1.3 焊接母材	5
1.3.1 焊接母材类型	5
1.3.2 焊接母材要求	6
1.3.3 焊接母材表面清理	7
1.3.4 焊接母材预热	7
1.4 焊接接头	8
1.4.1 焊接接头的形式	8
1.4.2 焊接坡口的选取	10
1.4.3 焊接坡口的加工	11
1.5 焊缝的种类及其标注	11
1.5.1 焊缝的种类	11
1.5.2 焊缝的标注	12
第 2 章 焊接材料、设备及焊接工艺	17
2.1 焊接材料及其选用	17
2.1.1 基本要求	17
2.1.2 焊条	17
2.1.3 焊丝	35
2.1.4 焊剂	41
2.1.5 保护气体	48
2.1.6 焊接材料的管理	49
2.2 常用焊接设备	50
2.2.1 选用焊接设备的一般原则	50
2.2.2 电焊机型号的编制及型号的代表符号	51
2.2.3 电弧焊机	55
2.2.4 弧焊电源	56
2.3 焊接工艺技术要求	56
2.3.1 基本规定	56
2.3.2 焊接接头的装配要求	57
2.3.3 定位焊要求	58
2.3.4 焊接环境要求	58
2.3.5 预热与道间温度控制要求	59
2.3.6 焊后消氢热处理	60
2.3.7 焊后消除应力处理	60
2.3.8 引弧板、引出板和衬垫	60
2.3.9 焊接变形的控制	61
2.4 焊接工艺评定	61
2.4.1 基本规定	61
2.4.2 焊接工艺评定替代规则	62
2.4.3 重新进行工艺评定的规定	63
2.4.4 试件和检验试样的制备	65
2.4.5 试件和试样的试验与检验	68
2.4.6 免于焊接工艺评定	71
2.5 焊接补强与加固工艺	73
2.5.1 补强与加固要求	73
2.5.2 补强与加固方法	74
2.5.3 负荷状态下进行补强与加固	74
2.5.4 焊接修复或补强	74
2.5.5 焊缝的补强与加固	75
2.6 钢结构焊接工艺评定报告格式	75
第 3 章 焊条电弧焊的操作技术	89
3.1 电弧焊的过程	89
3.2 焊条电弧焊的焊接参数	91
3.3 焊条电弧焊坡口形式的选择	94
3.4 电弧焊的基本操作手法	99
3.4.1 引弧	99
3.4.2 运条	99
3.4.3 焊缝的起头、接头和收弧	100
3.4.4 定位焊缝的焊接	103
3.4.5 单面焊双面成形焊接技术	104
3.5 各种焊接位置的操作技巧	107
3.5.1 平焊操作技巧	107
3.5.2 立焊操作技巧	111
3.5.3 横焊操作技巧	114
3.5.4 仰焊操作技巧	118
3.6 电弧焊的操作技术	120

3.6.1 管材的焊接操作	120	6.1.1 电渣焊过程	172
3.6.2 板材的焊接操作	128	6.1.2 电渣焊的特点	172
3.6.3 管板的焊接操作	131	6.1.3 电渣焊的分类及应用范围	172
3.6.4 管道向下立焊的操作	133	6.2 电渣焊的工艺及设备	174
3.6.5 焊条电弧焊的补焊	135	6.2.1 电渣焊的工艺	174
3.7 焊条电弧焊的缺陷及防止措施	136	6.2.2 电渣焊的设备	174
3.8 电弧焊的安全防护措施	137	6.3 电渣焊的操作要点	176
第4章 CO₂气体保护焊的操作技术	139	6.3.1 焊前准备工作	176
4.1 CO ₂ 气体保护焊的过程	139	6.3.2 焊接操作要点	177
4.2 CO ₂ 气体保护焊的焊接参数	140	6.3.3 焊接施工注意事项	177
4.3 CO ₂ 气体保护焊坡口形式的选择	142	第7章 栓焊的操作技术	179
4.4 CO ₂ 气体保护焊的基本操作	146	7.1 栓焊简介	179
4.5 CO ₂ 气体保护焊的操作方法	148	7.1.1 栓焊定义	179
4.5.1 管材的焊接操作	148	7.1.2 栓焊焊接过程	179
4.5.2 板材的焊接操作	149	7.2 栓焊的材料及设备	180
4.5.3 管板的焊接操作	150	7.2.1 栓焊的材料	180
4.5.4 药芯焊丝的 CO ₂ 气体保护焊操作	151	7.2.2 拉弧式栓焊焊接设备	183
4.6 CO ₂ 气体保护焊常见缺陷及防止措施	154	7.3 栓焊的操作要点	184
4.7 CO ₂ 气体保护焊的安全防护措施	155	7.3.1 焊接准备工作	184
第5章 埋弧焊的操作技术	156	7.3.2 栓焊施工	185
5.1 埋弧焊简介	156	7.4 栓焊常见缺陷及防止措施	186
5.1.1 埋弧焊的过程	156	7.5 施工质量检查	188
5.1.2 埋弧焊的特点	156	7.5.1 一般规定	188
5.1.3 埋弧焊的应用范围	156	7.5.2 外观检查和现场抽样检查方法	188
5.2 埋弧焊的焊接参数	157	第8章 常见钢结构的焊接方法	190
5.3 埋弧焊坡口形式的选择	161	8.1 梁的焊接	190
5.4 埋弧焊的操作要点	165	8.2 支柱的焊接	191
5.4.1 对接直焊缝焊接操作要点	165	8.3 钢架的焊接	192
5.4.2 对接环缝焊接操作要点	169	第9章 焊接缺陷分析与检验	193
5.4.3 中、厚板的平板对接双面焊	169	9.1 焊接应力与变形的产生	193
5.5 埋弧焊常见缺陷及防止措施	170	9.2 焊接变形对钢结构的影响	194
第6章 电渣焊的操作技术	172	9.3 防止和减少焊接变形的措施	195
6.1 电渣焊简介	172	9.4 防止焊接残余应力的措施	199
		9.5 焊接变形的矫正	201
		9.6 焊缝的缺陷分析	204
		9.7 焊接检验内容与方法	209
		参考文献	213

第 1 章

焊接基础知识

1.1 基本规定

1) 钢结构工程焊接难度可根据表 1-1 分为 A、B、C、D 四个等级。钢材碳当量 (CEV) 应采用公式 (1-1)[⊖]计算。

$$CEV(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} (\%) \quad (1-1)$$

注意：本公式适用于非调质钢。

表 1-1 钢结构工程焊接难度等级

影响因素 焊接难度等级	板厚 t/mm	钢材分类	受力状态	钢材碳当量 CEV (%)
A (易)	≤30	I	一般静载拉、压	≤0.38
B (一般)	>30 ~ 60	II	静载且板厚方向受拉或间接动载	>0.38 ~ 0.45
C (较难)	>60 ~ 100	III	直接动载、抗震设防烈度等于 7 度	>0.45 ~ 0.50
D (难)	>100	IV	直接动载、抗震设防烈度大于或等于 8 度	>0.50

注：根据表中影响因素所处最难等级确定整体焊接难度。

2) 钢结构焊接工程设计、施工单位应具备与工程结构类型相应的资质。

3) 承担钢结构焊接工程的施工单位应符合下列规定：

① 具有相应的焊接质量管理体系和技术标准。

② 具有相应资格的焊接技术人员、焊接检验人员、无损检测人员、焊工、焊接热处理人员。

③ 具有与所承担的焊接工程相适应的焊接设备、检验和试验设备。

④ 检验仪器、仪表应经计量检定、校准合格且在有效期内。

⑤ 对承担焊接难度等级为 C 级和 D 级的施工单位，应具有焊接工艺实验室。

4) 钢结构焊接工程相关人员的资格应符合以下规定：

① 焊接技术人员应接受过专门的焊接技术培训，且具有一年以上焊接生产或施工实践经验。

② 焊接技术负责人除应满足①规定外，还应具有中级以上技术职称。承担焊接难度等

⊖ 公式中 C、Mn 等表示各元素的质量分数。

级为 C 级和 D 级焊接工程的施工单位，其焊接技术负责人应具有高级技术职称。

③ 焊接检验人员应接受过专门的技术培训，有一定的焊接实践经验和技术水平，并具有检验人员上岗资格证。

④ 无损检测人员必须由专业机构考核合格，其资格证应在有效期内，并按考核合格项目及权限从事无损检测和审核工作。承担焊接难度等级为 C 级和 D 级焊接工程的无损检测审核人员应具备现行国家标准（GB/T 9445—2008）《无损检测人员资格鉴定与认证》中的 3 级资格要求。

⑤ 焊工应按所从事钢结构的钢材种类、焊接节点形式、焊接方法、焊接位置等要求进行技术资格考试，并取得相应的资格证书，其施焊范围不得超越资格证书的规定。

⑥ 焊接热处理人员应具备相应的专业技术。用电加热设备加热时，其操作人员应经过专业培训。

5) 钢结构焊接工程相关人员的职责应符合下列规定：

① 焊接技术人员负责组织进行焊接工艺评定，编制焊接工艺方案及技术措施和焊接作业指导书或焊接工艺卡，处理施工过程中的焊接技术问题。

② 焊接检验人员负责对焊接作业进行全过程的检查和控制，出具检查报告。

③ 无损检测人员应按设计文件或相应规范规定的探伤方法及标准，对受检部位进行探伤，出具检测报告。

④ 焊工应按照焊接工艺文件的要求施焊。

⑤ 焊接热处理人员应按照热处理作业指导书及相应的操作规程进行作业。

6) 钢结构焊接工程相关人员的安全、健康及作业环境应遵守国家现行安全健康相关标准的规定。

1.2 焊接的特点及其分类

1.2.1 焊接加工的特点

焊接加工属于不可拆卸连接，是现代工业生产中主要的加工工艺之一。焊接结构具有节省金属材料、减轻结构质量、简化加工和装配工序、接头的密封性好、能承受高压、易实现机械化和自动化生产、缩短产品制造周期、提高产品质量和生产效率等优点。

当然，焊接也有缺点：第一，由于局部加热不均匀，容易引起焊件变形和产生内应力，焊后有时要作矫正处理，对重要构件还要进行焊后热处理，以消除内应力；第二，金属的内部组织在焊接后受到破坏，焊接热影响区塑性下降，硬度增大，容易产生裂纹；第三，某些焊接方法会产生强光或有害气体和烟尘，必须采取相应的劳保措施，以保护工人的身体健康。

1.2.2 焊接加工的分类

焊接方法按焊接过程的特点不同可分为三大类。

(1) 熔化焊 该类焊接方法的共同特点是，利用局部加热的方法，将焊件的接合处加热到熔化状态，互相融合，冷凝后彼此结合在一起。常见的电弧焊、气焊就属于这一类。

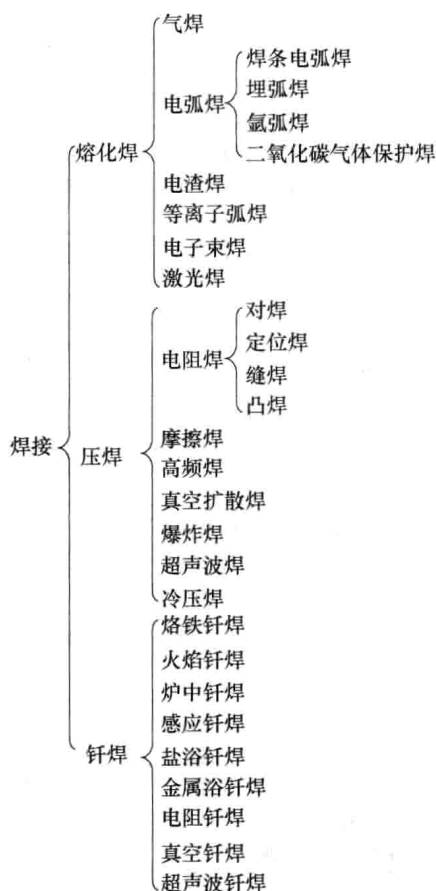
(2) 压焊 该类焊接方法的共同特点是，在焊接时不论加热与否，都施加一定的压力，使两个接合面紧密接触，促使原子间产生结合作用，以获得两个焊件的牢固连接。电阻焊、

摩擦焊就属于这一类。

(3) 钎焊 它与熔化焊有相似之处,也可获得牢固的连接,但两者之间有本质的区别。这种方法是将比焊件熔点低的钎料和焊件一同加热到高于钎料的熔点且低于焊件熔点的温度,使钎料熔化,利用液态钎料润湿焊件,填充接头间隙,并与焊件相互扩散,实现焊件彼此连接,如锡焊、铜焊等。

常用焊接方法的分类见表 1-2。

表 1-2 常用焊接方法的分类



1.2.3 各种焊接方法的基本原理及用途

各种焊接方法的基本原理及用途见表 1-3。

表 1-3 各种焊接方法的基本原理及用途

焊接方法	基本原理	用途
气焊	利用氧乙炔焰或其他气体火焰加热焊件,熔化钎料及焊件表面部分而达到焊接的目的。火焰温度约 3000℃	适用于焊接较薄工件,如铜、有色金属、铸铁、硬质合金及热塑性塑料等,连接强度不如电弧焊
焊条电弧焊	利用电弧作为热源熔化焊条和母材而形成焊缝的一种焊接方法	应用范围广。适于焊短小焊缝及全位置焊缝

(续)

焊接方法	基本原理	用途
埋弧焊	电弧在焊剂层下燃烧, 利用颗粒状焊剂作为金属熔池的覆盖层。焊剂靠近熔池处熔融并形成气包将空气隔绝, 使之不能侵入熔池, 焊丝自动送入焊接区, 焊缝质量好, 成形美观	适用于长焊缝焊接, 焊接电流大, 生产率高
气体保护电弧焊 (又称气电焊)	利用气体保护焊接区的电弧焊, 气体作为金属熔池的保护层将空气隔绝。采用的气体有惰性气体、还原性气体和氧化性气体	用于自动或手工焊接铝、钛、铜等有色金属及其合金; 氧化性气体保护电弧焊用于普通碳素钢及低合金钢材料的焊接
电渣焊	利用电流通过熔渣产生的电阻热来熔化母材和填充金属进行焊接。它的加热范围大, 对厚的焊件能一次焊成, 温度达 600 ~ 700℃	焊接大型和很厚的零部件 (厚度大于 5mm 的各种钢材), 也可进行电渣熔炼
等离子弧焊	利用气体在电弧内电离后, 再经过热收缩效应和磁收缩效应而产生的一束高温热源来进行熔化焊。等离子体能量密度大、温度高, 通常达 20000℃ 左右	可用于焊接不锈钢、高强度合金钢、耐热合金钢以及钛、铜及钛合金等, 并可焊接高熔点及高导热性金属
真空电子束焊	利用电子枪发射的高能电子束在真空中轰击焊件, 使电子的动能变为热能, 以达到熔化焊的目的	主要用于尖端技术方面的活泼金属、高熔点金属和高纯度金属的焊接
非真空电子束焊	利用电子枪发射高能电子束, 此电子束具有足够的能量密度, 能在大气中轰击焊件, 以达到熔化金属、形成焊缝的目的	适于焊接不锈钢等材料, 有时也焊接结构钢
激光焊	利用聚焦的激光束对工件焊缝进行加热熔化的焊接方法	适用于铝、铜、银、不锈钢、钨、钼等金属的焊接
电阻焊	利用电流通过焊件产生的电阻热并加压进行焊接的方法, 可分为定位焊、缝焊、对焊。定位焊、缝焊是把焊件加热到局部熔化状态同时加压, 对焊是把焊件加热到塑性状态或表面熔化状态同时加压	可焊接薄板、棒料。闪光对焊用于主要工件的焊接, 可焊异种金属 (铝-钢、铝-铜) $\phi 0.01 \sim \phi 20000\text{mm}$ 的棒材, 如刀具、钢筋、钢轨的焊接
摩擦焊	利用焊件之间摩擦产生的热量将接触区域加热到塑性状态, 然后加压形成接头的方法	用于焊接导热性好、易氧化的金属, 如有色金属及其合金, 异种金属、钢材, 热塑性塑料等
扩散焊	在一定的时间、温度或压力的作用下, 两种材料在相互接触的界面上发生扩散和连接的方法	能焊接弥散强化高温合金、纤维强化复合材料、非金属材料、难熔和活性金属材料
爆炸焊	以炸药爆炸为动力, 凭借高速倾斜碰撞, 使两异种 (或同种) 金属材料在高压下焊成一体的方法	制造复合板材
超声波焊	利用超声波的高频振动对工件接头进行局部加热和表面清理, 然后施加压力实现焊接的方法	定位焊和缝焊有色金属及其合金薄板、热塑性塑料

(续)

焊接方法	基本原理	用途
冷压焊	不加热, 只靠强大的压力, 使工件产生很大程度的塑性变形, 工件接触面上金属产生流动, 破坏了氧化膜, 并在强大压力作用下, 借助于扩散和再结晶过程使金属焊在一起的方法	主要用于导线焊接
钎焊	采用比母材熔点低材料作为填充金属, 利用加热使填充金属熔化, 母材不熔化, 借助液态填充金属与母材之间的毛细现象和扩散作用实现焊件连接的方法	一般用于焊接薄的、尺寸较小的工件, 如导线、蜂窝夹层、硬质合金刀具。可焊接各种金属

1.3 焊接母材

1.3.1 焊接母材类型

1. 热轧钢板

钢板分为薄钢板 (厚度 $\leq 4\text{mm}$) 和厚钢板 (厚度 $> 4\text{mm}$) 两种, 钢板的标注符号是“-(钢板截面代号) 宽度 \times 厚度 \times 长度”, 单位为“mm”, 也可仅用“-宽度 \times 厚度”或“-厚度”来表示。

2. 热轧型钢

常用的热轧型钢有角钢、槽钢、工字钢、H型钢和钢管等。

(1) 角钢 角钢包括等边和不等边角钢两种。角钢标注符号是“L (等边角钢代号) 边宽 \times 厚度 (等边角钢)”或“L 边宽 \times 短边宽 \times 厚度 (不等边角钢)”, 单位为“mm”。

(2) 槽钢 槽钢包括热轧普通槽钢和轻型槽钢两种。槽钢规格用槽钢符号 (普通槽钢和轻型槽钢的符号分别为“[”和“Q [”) 和截面高度 (单位为“cm”) 表示, 当腹板厚度不同时, 还要标注出腹板厚度类别符号 a、b、c, 从 a 到 c 厚度依次增大, 如 [20a、Q [20a。与普通槽钢截面高度相同的轻型槽钢的翼缘和腹板均较薄, 截面面积小, 但回转半径大, 质量相对较轻。

(3) 工字钢 工字钢包括普通工字钢和轻型工字钢两种。标注时用符号“I”和“Q I”表示, 如 I 50a、Q I 50a。

(4) H型钢 H型钢比工字钢的翼缘宽度大且为等厚度, 截面材料分布更为合理, 因而在截面面积相同的条件下, 其绕弱轴的抗弯刚度比工字钢大一倍以上, 绕强轴的抗弯能力也高于工字钢, 用钢量可比工字钢减少 10% ~ 30%。H型钢的翼缘等厚度, 便于与其他构件连接。H型钢可较方便地加工制成 T型钢和蜂窝梁等型材, 以满足工程的需要。根据 (GB/T 11263—2010)《热轧 H型钢和剖分 T型钢》的规定, 热轧 H型钢分为宽翼缘 H型钢、中翼缘 H型钢、窄翼缘 H型钢、薄壁 H型钢, 它们的代号分别为 HW、HM、HN、HT, 型号用“高度 (或高度的近似值) \times 宽度 (或宽度的近似值)”来表示。

(5) 钢管 钢结构中常用热轧无缝钢管和焊接钢管。用“ ϕ 外径 \times 壁厚”表示, 单位为“mm”。

3. 薄壁型钢

薄壁型钢一般由 1.5 ~ 6mm 厚的钢板冷弯加工而成，其截面形式和尺寸可按工程要求合理设计。与相同截面面积的热轧型钢相比，钢材用量可显著减少，但板壁较薄，对锈蚀影响较为敏感。

1.3.2 焊接母材要求

1. 材质证明与复验

1) 建筑钢结构用钢材及焊接填充材料的选用应符合设计图的要求，并应具有钢厂和焊接材料厂出具的质量证明书或检验报告；其化学成分、力学性能和其他质量要求必须符合国家现行标准的规定。当采用其他钢材和焊接材料替代设计选用的材料时，必须经原设计单位同意。

2) 钢材的成分、性能复验应符合国家现行有关工程质量验收标准的规定；大型、重型及特殊钢结构的主要焊缝采用的焊接填充材料，应按生产批号进行复验。复验应由国家技术监督部门认可的质量监督检测机构进行。

3) 钢结构工程中选用的新材料必须经过新产品鉴定。钢材应由生产厂家提供焊接性资料、指导性焊接参数、热加工和热处理工艺参数、相应钢材的焊接接头性能数据等资料；焊接材料应由生产厂家提供贮存资料及焊前烘焙参数、熔敷金属成分、性能鉴定资料及指导性施焊参数，经专家论证、评审和焊接工艺评定合格后，才可在工程中采用。

2. 材料缺陷

1) 焊接坡口边缘上钢材的夹层缺陷长度超过 25mm 时，应采用无损探伤检测其深度，如果深度不大于 6mm，应用机械方法清除；如果深度大于 6mm，应用机械方法清除后焊接填满；如果缺陷深度大于 25mm，应采用超声波探伤测定其尺寸，当单个缺陷面积 ($a \times d$) 或聚集缺陷的总面积不超过被切割钢材总面积 ($B \times L$) 的 4% 时为合格，否则该板不宜使用，如图 1-1 所示。

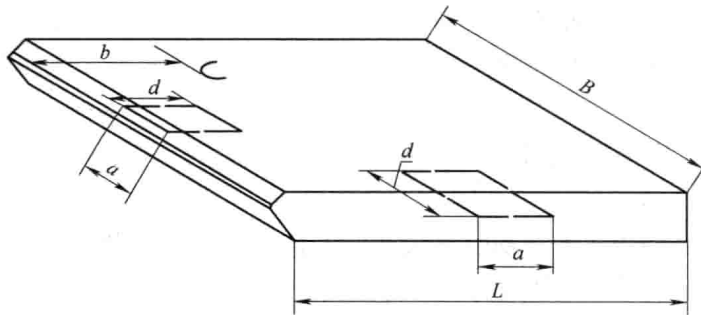


图 1-1 夹层缺陷

2) 钢材内部的夹层缺陷，其尺寸不超过 1) 的规定且位置离母材坡口表面距离 (b) 大于或等于 25mm 时不需要修补；如果该距离小于 25mm 则应修补。

3) 夹层缺陷是裂纹时，如裂纹深度超过 50mm 或累计长度超过板宽的 20%，则该钢板不宜使用。

3. 其他要求

钢板厚度方向性能级别为 Z15、Z25、Z35 时，相应的含硫量、断面收缩率应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 钢板厚度方向性能级别及其含硫量、断面收缩率

级 别	含硫量 $w(S) \leq$	断面收缩率 Z (%)	
		三个试样平均值不小于	单个试样值不小于
Z15	0.010%	15	10
Z25	0.007%	25	15
Z35	0.005%	35	25

1.3.3 焊接母材表面清理

焊前必须进行工件表面清理，以保证接头质量稳定。清理方法包括机械清理和化学清理两种。机械清理方法一般有喷砂、喷丸、抛光以及用砂布或钢丝刷等。不同的金属和合金，需采用不同的清理方法。

低碳钢和低合金钢在大气中的耐腐蚀能力较低。因此，这些金属在运输、存放和加工过程中常常用抗蚀油保护。如果涂油表面未被车间的脏物或其他不良导电材料污染，在电极的压力下，油膜很容易被挤开，不会影响接头质量。

钢的供货状态包括：热轧，未酸洗；热轧，酸洗并涂油；冷轧。未酸洗的热轧钢焊接时，必须用喷砂、喷丸，或者用化学腐蚀的方法清除氧化皮，可在硫酸及盐酸溶液中，或者采用磷化液浸泡或涂刷，除油、除锈、防腐效果较好。

有镀层的钢板，除了少数外，通常不用特殊清理就可以进行焊接，镀铝钢板则需要用钢丝刷或化学腐蚀剂清理。带有磷酸盐涂层的钢板，其表面电阻会很高，以致在地电极压力下焊接电流无法通过，只有采用较高的压力才能进行焊接。

1.3.4 焊接母材预热

1. 预热温度的确定方法

1) 根据焊接接头的坡口形式和实际尺寸、板厚及构件拘束条件确定预热温度。当焊接坡口角度及间隙增大时，应相应提高预热温度。

2) 根据熔敷金属的扩散氢含量确定预热温度。扩散氢含量高时应适当提高预热温度。当其他条件不变时，使用超低氢型焊条打底时预热温度可降低 25 ~ 50℃。如采用二氧化碳气体保护焊，当气体含水量符合标准（GB/T 4842—2006）《氩》的要求或使用富氩混合气体保护焊时，其熔敷金属扩散氢可视同低氢型焊条。

3) 根据焊接时热输入的大小确定预热温度。当其他条件不变时，热输入增大 5kJ/cm，预热温度可降低 25 ~ 50℃。电渣焊在环境温度为 0℃ 以上施焊时可不进行预热。

4) 根据接头热传导条件选择预热温度。在其他条件不变时，T 形接头应比对接接头的预热温度高 25 ~ 50℃。但 T 形接头两侧角焊缝同时施焊时应按对接接头确定预热温度。

5) 根据施焊环境温度确定预热温度。操作地点环境温度低于常温（但高于 0℃）时，应提高预热温度 15 ~ 25℃。

6) 焊接接头板厚不同时, 应按厚板确定预热温度; 焊接接头材质不同时, 按高强度、高碳当量的钢材确定预热温度。

2. 预热方法及层间温度的控制方法

1) 焊前预热及层间温度的保持宜采用电加热器、火焰加热器等加热, 并采用专用的仪器测量温度。

2) 焊接预热及层间温度的保持宜采用电加热器、火焰加热器及红外线等方法进行加热, 并采用专用的仪器测量温度。预热区在焊道两侧, 其宽度均大于焊件厚度的 1.5 倍, 且不应小于 100mm。温度测量点距离焊缝或焊道中心线应不小于 75mm。

3) 当要求进行焊后消氢处理时, 应符合以下规定:

① 消氢处理的加热温度应为 200 ~ 250℃, 保温时间应依据工件板厚按每 25mm 板厚不小于 0.5h, 且总保温时间不得小于 1h 的原则确定。达到保温时间后应缓冷至常温。

② 消氢处理的加热和测温方法按 2) 的规定执行。

4) 常用钢材焊接最低预热和层间温度要求见表 1-5; 如通过钢材焊接性试验和焊接工艺评定试验确定预热温度, 则焊接预热的最低温度可以低于表 1-5 的要求。层间温度的最大值宜控制在 230℃ 以下。

表 1-5 常用钢材焊接最低预热和层间温度要求

钢材牌号	接头中较厚部件的板厚 t /mm				
	$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 60$	$60 < t \leq 80$	$t > 80$
Q235、Q235GJ	—	—	60℃	80℃	100℃
Q345、Q345GJ Q390、Q390GJ	—	60℃	80℃	100℃	140℃
Q420、Q420GJ Q460、Q460GJ	60℃	80℃	100℃	120℃	140℃

注: 1. 接头附近母材温度低于 0℃ 时, 必须将接头处母材预热到 20℃ 以上。

2. 表中的最低预热温度适用于采用低氢焊条电弧焊、CO₂ 或富氩气体保护焊及埋弧焊等焊缝金属扩散氢较低的焊缝; 当采用非低氢焊接材料焊接时, 应相应提高预热温度 25 ~ 50℃。

3. 环境温度为常温 (20℃)。

5) 定位焊及焊缝返修处的预热温度应高于正常预热温度 50℃ 左右, 预热区域应适当加宽。

1.4 焊接接头

1.4.1 焊接接头的形式

钢结构焊接中, 由于焊件厚度、结构形状和使用条件的不同, 其焊接接头形式也不同。焊接接头形式主要有: 对接接头、搭接接头、T 形接头及角接接头。

(1) 对接接头 指对放在同一平面上的工件相对的两端进行焊接所形成的焊接接头。按坡口形式的不同, 主要包括:

1) 不开坡口的对接接头。一般在厚度 $t \leq 6\text{mm}$ 的钢板对接焊时采用, 如图 1-2a 所示。

2) V 形坡口对接接头。一般在厚度 $t = 6 \sim 26\text{mm}$ 的钢板对接焊时采用, 如图 1-2b 所示。

3) X形坡口对接接头。一般在厚度 $t = 12 \sim 26\text{mm}$ 的钢板对接焊时采用,如图 1-2c 所示。

4) U形坡口对接接头。一般在厚度 $t = 20 \sim 60\text{mm}$ 的钢板对接焊时采用,如图 1-2d 所示。

5) 双U形坡口对接接头。当材料厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 时采用,如图 1-2e 所示。

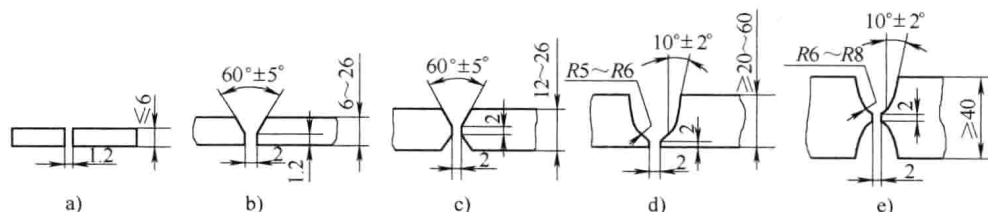


图 1-2 对接接头的不同坡口形式

a) 不开坡口 b) V形坡口 c) X形坡口
d) U形坡口 e) 双U形坡口

(2) 搭接接头 指对两个相互搭置的工件端部进行角焊而形成的焊接接头,如图 1-3 所示。

(3) T形接头(丁字接头) 指对两个相互垂直(或近似垂直)而形成T形的工件进行角焊而形成的焊接接头。

1) 不开坡口的T形接头。在钢板厚度不超过10mm及结构不重要的部位采用,如图 1-4a 所示。

2) 单面开V形坡口的T形接头。在垂直钢板厚度为4~15mm或无法进行双面焊接时的重要结构中采用,如图 1-4b 所示。

3) 双面开V形坡口的T形接头。在垂直钢板厚度超过8mm的重要结构中采用,如图 1-4c 所示。

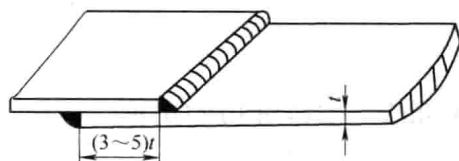


图 1-3 搭接接头

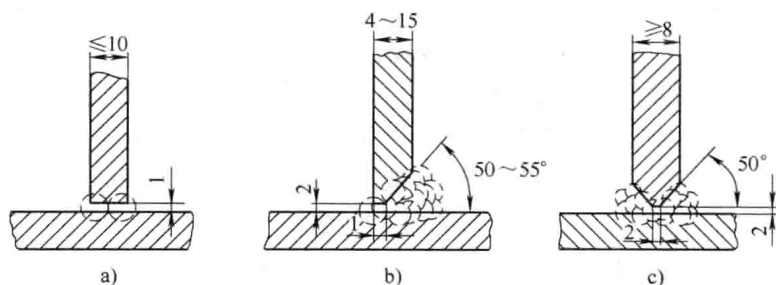


图 1-4 T形接头

a) 不开坡口 b) 单面开V形坡口 c) 双面开V形坡口

(4) 角接接头 指对相互成一定角度(通常为直角)的两工件端部进行角焊所形成的焊接接头,如图 1-5 所示。

(5) 卷边接头 卷边接头是对接接头的一种特殊形式。当焊接较薄工件时,可将工件卷边,在其端沿上焊接,这种接头形式称为卷边接头。卷边接头可分为卷边对接接头(图

1-6a) 和卷边端对接接头 (图 1-6b)。

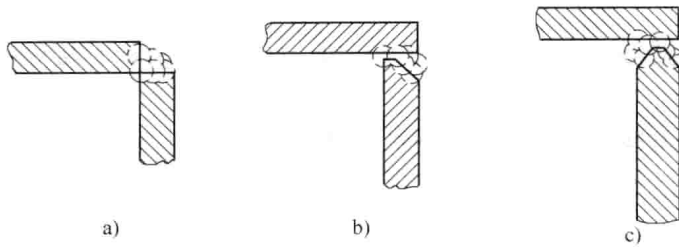


图 1-5 角接头

a) 形式一 b) 形式二 c) 形式三

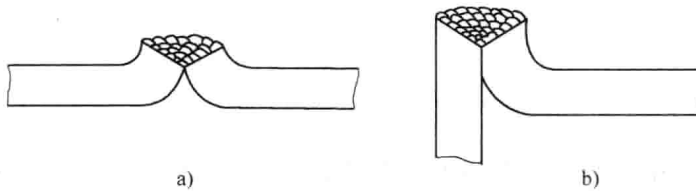


图 1-6 卷边接头

a) 卷边对接接头 b) 卷边端对接接头

1.4.2 焊接坡口的选取

在焊件上开坡口是为了保证焊缝根部焊透, 便于清除焊渣, 获得较好的焊缝成形。另外, 坡口具有调节母材和填充金属比例的作用。钝边可防止烧穿, 钝边尺寸要保证第一层焊缝能焊透。间隙也是为了保证焊缝根部能焊透。

选择坡口形式时, 主要考虑的因素为: 能保证焊缝焊透, 坡口形状容易加工, 尽可能提高生产率, 节省焊条, 焊后焊件变形尽可能小。

焊接厚度在 6mm 以下的钢板, 通常不开坡口, 但如果焊接的是重要结构, 当钢板厚度为 3mm 时就要求开坡口。钢板厚度为 6~26mm 时, 采用 V 形坡口, 这种坡口便于加工, 但焊后焊件容易变形。钢板厚度为 12~60mm 时, 可采用 X 形坡口, 这种坡口在同样厚度下, 能比 V 形坡口减少焊着金属量 1/2 左右, 焊件变形和内应力也比较小, 主要用于大厚度钢板及要求变形较小的结构。单 U 形和双 U 形坡口的焊着金属量更少, 焊后焊件产生的变形也小, 但这种坡口加工困难, 一般用于较重要的焊接结构。

对于不同厚度的板材的焊接, 如果厚度差 ($t-t_1$) 未超过表 1-6 的规定, 则焊接接头的基本形式与尺寸应按较厚板选取; 否则, 应在较厚的板上加工出单面或双面的斜边, 如图 1-7 所示。其削薄长度 $L \geq 3(t-t_1)$ 。

表 1-6 厚度差范围

(单位: mm)

较薄板的厚度	2~5	6~8	9~11	≥ 12
允许厚度差	1	2	3	4