

焊工

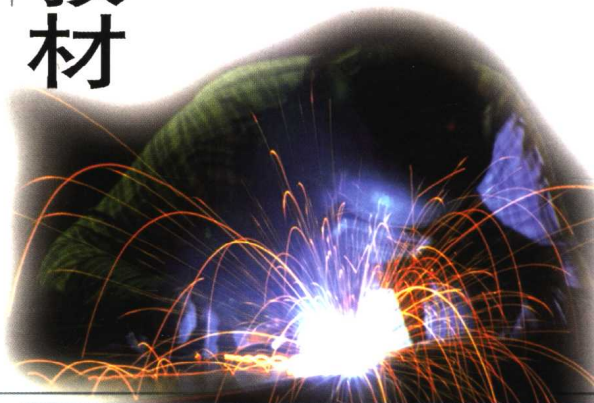
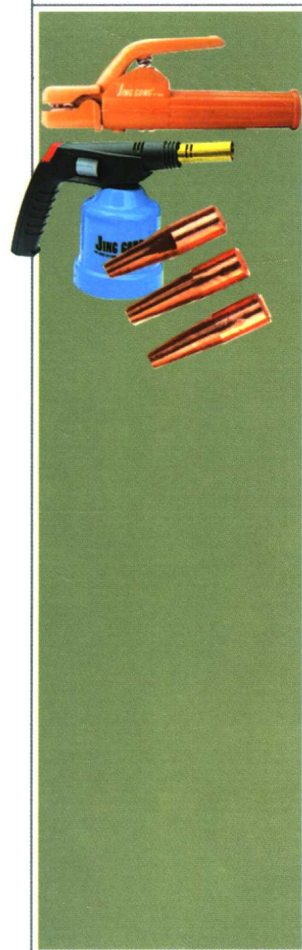
技工技术培训教材

张增学 编

广东科技出版社

HANGONG

— JIGONG JISHU
PEIXUN JIAOCAI



技工技术培训教材

焊 工

张增学 编

广东科技出版社

·广 州·

图书在版编目 (CIP) 数据

焊工/张增学编. —广州: 广东科技出版社,
2004.8
(技工技术培训教材)
ISBN 7-5359-3594-X

I. 焊… II. 张… III. 焊工—技术培训—教材
IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 038051 号

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

E - mail: gdkjzbb@21cn.com

http: //www.gdstp.com.cn

经 销: 广东新华发行集团

排 版: 广东科电有限公司

印 刷: 广东省肇庆新华印刷有限公司

(广东省肇庆市星湖大道 邮码: 526060)

规 格: 850mm×1 168mm 1/32 印张 12.25 字数 220 千

版 次: 2004 年 8 月第 1 版

2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~5 000 册

定 价: 22.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

目 录

第一章 焊工基础知识	1
第一节 焊接方法的分类及特点.....	1
第二节 焊接接头及焊缝形式.....	7
第三节 焊缝符号	19
第四节 焊件的清理	28
第五节 焊件的预热、消氢及热处理	31
第六节 焊接检验	43
第二章 常用弧焊电源	71
第一节 概述	71
第二节 常用弧焊变压器	91
第三节 直流弧焊电源.....	101
第四节 逆变弧焊电源.....	106
第五节 常用弧焊电源的选择和使用.....	114
第三章 手工电弧焊	132
第一节 基本操作技能.....	133
第二节 应用实例.....	150
第四章 埋弧自动焊	168
第一节 焊接材料.....	169
第二节 基本操作技能.....	181
第三节 埋弧自动焊的缺陷及其消除.....	203
第四节 应用实例.....	205
第五章 气体保护焊	214
第一节 概述	214
第二节 氩弧焊	220

第三节	二氧化碳气体保护焊	248
第六章	气焊与气割	272
第一节	气焊	272
第二节	气割	306
第七章	不锈钢的焊接工艺	322
第一节	焊接材料的选用	323
第二节	奥氏体不锈钢的焊接工艺	328
第三节	铁素体不锈钢的焊接工艺	338
第四节	马氏体不锈钢的焊接工艺	345
第八章	常用有色金属的焊接	349
第一节	铝及铝合金的焊接	349
第二节	铜及铜合金的焊接	361
第九章	焊接安全	376
第一节	电弧焊的安全操作规程	376
第二节	气焊（割）的安全操作规程	381

第一章 焊工基础知识

第一节 焊接方法的分类及特点

焊接是一种重要的金属加工工艺，随着科学技术的发展，已逐渐发展成为一门独立的学科，并广泛应用于机械制造、航空航天、化工、造船、建筑、电子技术、交通运输等工业部门。

用焊接方法不仅可以连接金属材料，如钢材、铝材、铜材、铅材、钛材等有色金属材料，还可以连接非金属材料，如塑料、陶瓷等。随科学技术的发展，甚至可以连接金属材料与非金属材料。

一、焊接技术的发展

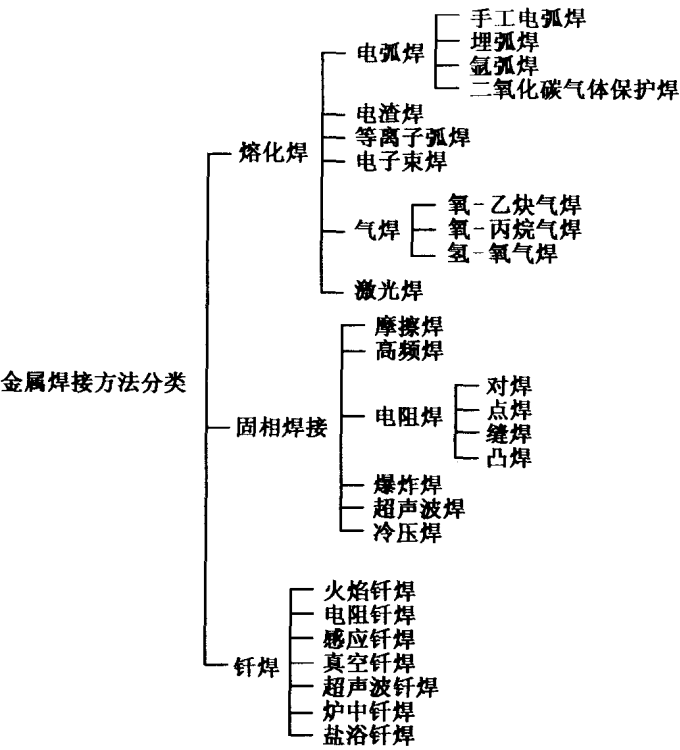
焊接技术是一种古老的技术，在我国具有极其悠久的历史。根据有关的资料介绍，秦代兵马俑出土的铜车马即是由多块部件焊接而成。

焊接技术作为一门具体的工业连接方式和加工方法，是 19 世纪末 20 世纪初发展起来的。最初由于它具有技术及经济上的优越性而发展很快。在 20 世纪 60 年代后期，随着工业技术的发展，焊接新能源的开发和焊接新工艺的广泛应用，达到了一个新的生产水平。除了生产率较高的埋弧自动焊以外，厚板结构的电渣焊，高效率的气电焊、真空电子束焊接、激光焊接、等离子焊接和切割等在各个工业部门得到了广泛应用。

随着科学技术的不断进步，新的焊接方法不断涌现。目前国内对外对焊接方法的分类，由于采用的角度不同而得到不同的分类结

果。常用的是根据焊接工艺中某几个主要的特征将焊接方法分为三个大类：熔化焊、固相焊和钎焊。然后根据其他特征分为若干小类。常见的焊接方法分类见表 1-1 所示。

表 1-1 常见的焊接方法分类表



和其他的连接方法相比较，焊接具有强度高、节省材料、减小结构质量、接头致密性良好、可简化加工与装配工序、生产率较高等优点。在工业生产中，金属的焊接，特别是钢材的焊接应用最为广泛。

近年来，随着电子技术及计算机技术的飞速发展，在焊接机械化及自动化方面也有了较大的发展。在世界上许多国家拥有了程序控制的自动焊接生产线，在汽车制造业、水下工程和核电站工程等项目，已经采用计算机控制的焊接机器人或遥控全位置焊接机进行焊接作业。

二、焊接过程的物理本质

两种或两种以上的材料（同种或异种），通过原子或分子之间的结合和扩散，造成永久性连接的工艺过程叫作焊接。由此可知，焊接与其他的联接方法不同。通过焊接被连接的材料不仅在宏观上建立了永久性的联系，而且在微观上建立了组织之间的内在联系。

从理论上讲，将两个被连接的固体金属表面靠近，当两者之间的距离达到 $0.3 \sim 0.5\text{nm}$ ，即可在其接触的表面上进行扩散、再结晶等物理化学过程，从而形成新的金属键，来达到焊接的目的。

实际上即使经过精加工处理的金属表面，也是凹凸不平的，同时金属表面还经常具有氧化膜、水和油类的吸附层，这些都会对金属表面的紧密接触产生不利影响。

在焊接过程中，为了克服各种阻碍金属表面紧密接触的不利因素，通常通过改进焊接工艺来进行：对被焊金属施加压力，以破坏连接表面上的氧化膜，使连接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，达到紧密接触；加热被焊金属的连接处，达到塑性状态或熔化状态，加速接触上氧化膜的破坏，降低金属变形的阻力，增加原子的热振动能，促进再结晶、扩散、化学反应、结晶过程的发展。

三、焊接方法的比较及选择

焊接方法是制定焊接结构制造工艺方案时首先应考虑的工艺要素。焊接方法的选择取决于焊件材料、对焊接接头的质量要求、焊

接作业的负荷、焊件的结构尺寸及壁厚、焊接作业的经济性以及焊接设备、焊接工艺装备的条件等因素。选择的原则是在保证焊件质量符合相应的质量标准以及满足产品的技术条件要求的前提下，尽可能地提高焊接作业效率，降低生产成本，以获得最大的经济效益。

1. 气焊

气焊是利用气体火焰作为热源，熔化母材和填充金属的一种焊接方法。常用的是氧-乙炔，近年来液化气和丙烷燃气的焊接也迅速发展起来。氧-乙炔与丙烷、氧化焰的焰芯温度分别为3 150℃和2 800℃，能够熔化工程上常用的各种金属材料。

可燃气体火焰的特点是热量不集中、加热区宽、加热速度慢，因而气焊焊接有效率低、焊接变形大、焊缝和热影响区晶粒粗大和接头性能低的缺点。但在焊接需要预热和后热的金属材料，如铸铁、铝及其合金、铜及其合金时，气焊就具有优势。此外，气焊火焰由于温度低，易于焊接薄板及薄壁焊件，能适应各种不同位置的焊接以及单面焊接双面成型的工艺。气焊设备简单，成本较低，无需电源，使用灵活，可在各种工况下焊接。

气焊的效率低，焊接接头质量相对较差，不便于实现机械化及自动化生产，因此，气焊目前主要应用于单件小批量生产、对于焊接接头质量无严格要求的焊件、无电源的施工现场以及焊前需要预热和焊后需要后热的某一些材料的焊接等场合。

2. 手工电弧焊

手工电弧焊是利用手工操纵焊条进行焊接作业的一种电弧焊接方法。由于电弧柱的温度 $>5\,000^{\circ}\text{C}$ ，热量集中，其热效率远远高于气焊。随焊条生产工艺方法的改进，优质焊条的投入使用，手工电弧焊的焊接接头质量已经能够满足较高的现代焊接工程的需要。手工电弧焊具有设备简单、易于操作、工艺适应性较强的优点。

手工电弧焊存在的问题主要是焊材的利用率较低，熔敷率较低，难以实现机械化及自动化，操作者的劳动强度大，职业病发病

率高等。致使在许多应用领域内有逐渐被经济性更好的熔化极气体保护焊和埋弧焊所取代的趋势。

3. 埋弧焊

埋弧焊是利用焊剂层下在焊丝端与焊件之间燃烧的电弧熔化母材金属和焊丝金属，而形成焊缝的一种电弧焊接方法。埋弧焊有自动焊和半自动焊两种不同的焊接方法。半自动埋弧焊由于焊枪笨重，焊丝输送准确率低等缺陷，而逐渐在实践中被自动埋弧焊所取代。

埋弧焊具有焊丝熔敷率高和熔深大的特点，可采用 1000A 以上的焊接电流开 I 形坡口一次焊透 20mm 的对接接头，厚度 5 ~ 6mm 薄板的对接焊缝和角接焊缝的埋弧焊的焊接速度可达到 > 60m/h，焊接厚度 > 20mm 的接头时，需开不同形式的坡口，最大焊接厚度可达 350mm。

埋弧焊接时，焊接熔池受到焊剂层的物理隔绝保护作用，大气中的氧、氮等有害气体不易侵入焊接区域，同时，熔池金属在高温下与液态熔渣产生脱氧和渗合金等冶金反应，能够提高焊缝的力学性能及改善焊缝区的金属化学成分。埋弧焊便于实现机械化及自动化，且无弧光刺激，劳动条件好。

埋弧焊较适宜于平焊位置的焊接，对于其他的焊接位置，则必须采取特殊的保护措施才能进行焊接作业，且焊接过程中观察不到电弧的确切位置，焊丝对准焊缝的调节中不易对准，偏差出现较大。

4. 熔化极气体保护电弧焊

熔化极气体保护电弧焊是利用外加气体作为电弧介质，并保护电弧和焊接区的一种电弧焊接方法。按照所用焊丝种类，分为实心焊丝气体保护焊和药芯焊丝气体保护焊；按照保护气体的成分，分为纯 CO_2 气体保护焊、氧化性混合气体保护焊和惰性气体保护焊；按照所使用的电流的种类，分为直流电弧熔化极气体保护焊和脉冲电弧熔化极气体保护焊。

熔化极气体保护焊是一种高效、优质、低成本的焊接方法，设备简单、操作方便、焊接区域便于观察，易于实现机械化及自动化，且能在任何位置进行焊接作业。其不利因素主要是焊接区域的保护气体容易受到不良风力的干扰，在野外进行焊接作业时，必须设立保护气体的屏障，防止自然风力进入焊接区域。

纯 CO_2 气体保护焊的优点是，焊接变形小，焊接热影响区窄，以短路过渡方式焊接薄板焊接质量优良，且成本低廉。其缺点是，焊缝成形欠佳，焊接飞溅较大。按不同比例配比的 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 混合气体保护焊基本上克服了纯 CO_2 气体保护焊的缺点，焊缝成型得到改善，焊接飞溅也减少；但电弧的热量增大，焊薄板时热影响区较宽，焊接变形较大，且焊接成本高，焊枪寿命缩短。因此，在焊接 5mm 以下的薄板时，应选择纯 CO_2 气体保护焊，而不应单纯追求焊缝成型美观，而选择混合气体保护焊。同理，采用实心焊丝 CO_2 气体保护焊或混合气体保护焊所焊接头性能，在已完全满足产品技术条件要求的情况下，就不必非得选用成本较高的药芯焊丝气体保护焊。对接头的力学性能和致密性提出较严格的要求时，则应优先选用易于保证焊缝质量的药芯焊丝气体保护焊。在难焊位置焊接或特殊形式接头的焊接，且要求焊接过程相当稳定以保证焊缝高质量的情况下，应当选用脉冲电弧熔化极气体保护焊。

5. 钨极氩弧焊

钨极氩弧焊是一种以惰性气体作为保护气体，以钨极作为不熔化电极的一种电弧焊方法，它利用钨极与焊件之间的电弧熔化母材金属和填充丝，形成焊接熔池。在焊接过程中，填充焊丝可手工或用独立的送丝机构送入熔池，惰性保护气体可采用氩、氦、氩-氦及氩-氢混合气体。最常用的惰性气体是氩气。

钨极氩弧焊具有以下优点：①惰性气体不会与任何金属发生化学反应，熔池液态金属几乎不发生冶金变化，可焊接各种钢材和合金；②焊接电弧稳定性好，即使在低电流下（20~30A），电弧仍能稳定燃烧，特别适用于薄壁焊件和难焊位置的焊接；③电弧热量集

中，熔池金属无氧化还原反应，表面张力较大，是完成单面焊双面成型打底焊的理想方法之一。

钨极氩弧焊具有效率低，不宜用于厚壁焊件，成本较高等缺点。

钨极氩弧焊可用直流电源或交流电源。采用直流电时可焊接碳钢、低合金钢不锈钢、耐热耐蚀合金、钛及其合金、镍及其合金以及铜及其合金等。采用交流电时，可焊接铝及铝合金和镁合金等。

第二节 焊接接头及焊缝形式

通过焊接方法将两个被焊件连接在一起，相连接的地方称为焊接接头。焊接接头由焊缝、熔合区和热影响区组成。焊缝是指焊件经过焊接之后所形成的结合部分；热影响区是指焊件受热的影响，但未熔化时发生金相组织和力学性能变化的区域；熔合区则指由焊缝向热影响区过渡的区域。为了保证焊缝可靠熔透和成型良好、熔池具有良好的结晶条件，在焊接作业开始前，将焊件的待焊接部位加工成一定几何形状的沟槽，称为开坡口。

一、焊接接头形式

由于结构形状、工件厚度以及对接头质量的要求不同，焊接接头及坡口形式也就不同，主要有以下几种。

1. 对接接头

两焊件端面相对平行的接头称为对接接头。其受力较好，应力集中程度较小，是各种焊接结构中采用最多的一种接头形式。接头的坡口形式很多，常用的见图 1-1 所示。

1) I 形坡口（见图 1-1a）。一般适用于厚度 $< 6\text{mm}$ 钢板的对接。采用单面焊或双面焊即可焊透，为了使电弧能深入金属进行加热，

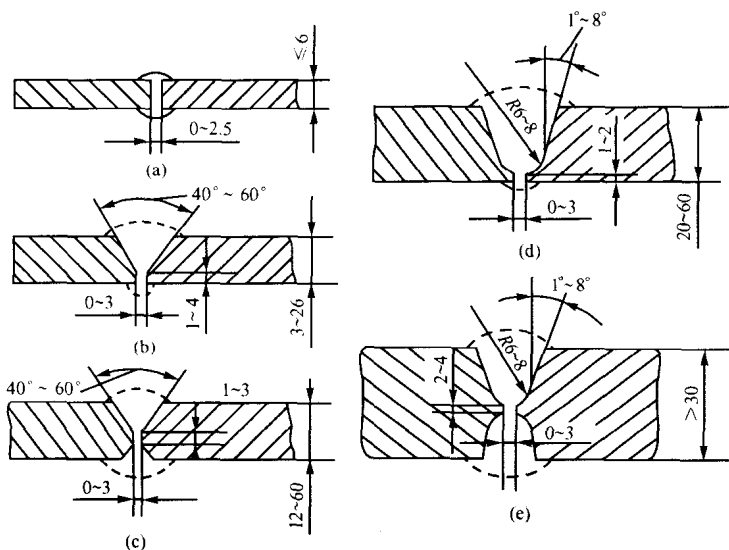


图 1-1 对接接头

- (a) I 形坡口；(b) Y 形坡口；(c) 双 Y 形坡口；(d) 带钝边 U 形坡口；
(e) 带钝边双 U 形坡口

保证焊透，接边之间可留 0 ~ 2.5mm 间隙。被焊工件较厚时，间隙也需相应增大，否则可能引起未焊透。

这种接头的接边制备和装配较方便，需用焊条量少，焊接生产率较高。

2) Y 形坡口 (见图 1-1b)。适用于板厚为 3 ~ 26mm 的焊件焊接。

3) 双 Y 形坡口 (见图 1-1c)。适用于板厚 12 ~ 60mm 的焊件焊接。

4) 带钝边 U 形坡口 (见图 1-1d)。适用于板厚 20 ~ 60mm 的焊件焊接。

5) 带钝边双 U 形坡口 (见图 1-1e)。适用于板厚 > 30mm 的焊

件焊接。

各种坡口的坡口角度、根部间隙、钝边（接边直边部分高度）、根部半径 R 等尺寸见图 1-1 所示。

坡口是用来使电弧能沿板厚熔入一定的深度，保证接头根部焊透、余高不过高，并获得良好的焊缝成型和便于清渣。但坡口角度增大，会增加填充金属量，使焊接生产率降低。钝边的作用主要是防止烧穿，但钝边尺寸不能过大，要保证底层焊缝能焊透。间隙也是为了保证根部焊透，并要求装配间隙沿接边均匀一致。对于合金钢而言，开坡口的目的有时还为了调节母材金属与填充金属的比例，以控制焊缝的化学成分。

不同厚度的焊件对接时，如果两焊件厚度差 $(\delta - \delta_1)$ 不超过表 1-2 规定，则接头的基本形式和尺寸应按较厚的焊件选取。如果 $(\delta - \delta_1)$ 超过表中所规定的值时，则应在较厚的焊件上作单面或双面削薄，如图 1-2 所示。

表 1-2 不同壁厚焊件对接时允许不作削薄的厚度差 (mm)

较薄焊件的厚度 δ_1	$\geq 2 \sim 5$	$> 5 \sim 9$	$> 9 \sim 12$	> 12
允许厚度差 $\delta - \delta_1$	1	2	3	4

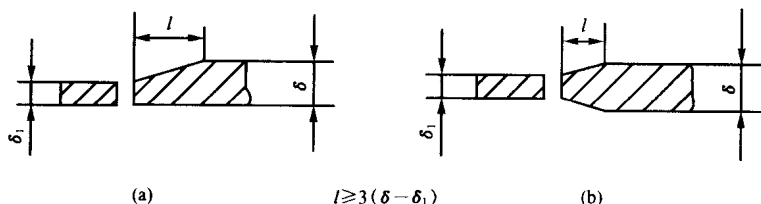


图 1-2 不同厚度焊件的对接

(a) 单面削薄；(b) 双面削薄

选择坡口的形式时，主要考虑以下问题：

- 1) 是否能够保证工件焊透和便于焊接操作；
- 2) 坡口的形状是否容易加工；
- 3) 是否能够提高焊接生产率或者节省焊条；
- 4) 焊接之后的工件的变形应尽可能小；
- 5) 是否能够适当地调整焊接金属的化学成分。

在焊件厚度相同时，双面坡口比单面坡口、U形坡口比V形坡口、双U形坡口比双V形坡口节省焊条，焊后产生的角变形小。但U形和双U形坡口加工较困难，一般焊接重要的焊件时采用。

2. 卷边接头

通常用于厚度为1~2mm的薄板焊件的焊接。焊前将接头边缘用弯板机或手工进行卷边，焊接时可不加填充金属，靠电弧熔化卷边，待金属凝固后即形成焊缝。见图1-3所示。

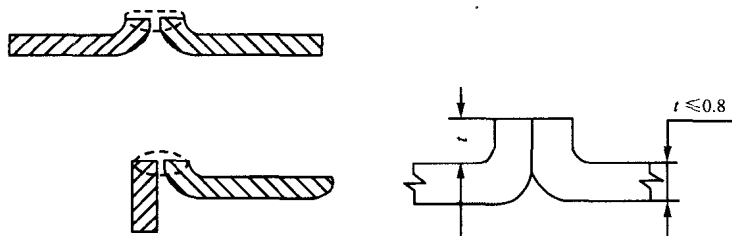


图1-3 卷边接头

卷边接头的特点是接边的制备和装配方便，生产率高，但承载能力低，只能用于载荷较小的薄壳结构。

3. T形接头

两个焊件按T字形进行结合的接头称为T形接头。T形接头可开I形、带钝边单边V形、带钝边双单边V形以及带钝边双J形坡口等形式。见图1-4所示。

T形接头焊接焊件厚度在2~30mm时，可采用I形坡口，不需焊透。当立板较厚而又需焊透时，应开其他形式的坡口。

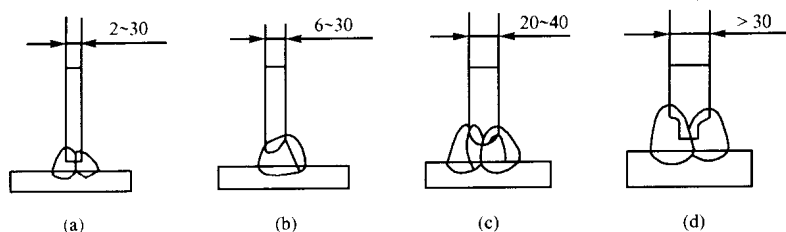


图 1-4 T形接头

- (a) I形坡口；(b) 带钝边单边 V 形坡口；(c) 带钝边双单边 V 形坡口；
(d) 带钝边双 J 形坡口

4. 角接接头

角接接头是在两个焊件的端部组成 $30^\circ \sim 150^\circ$ 角度的连接接头。同样根据焊件厚度和强度要求可分为 I 形坡口的平接或错接，带钝边的单边 V 形和双单边 V 形、Y 形坡口等形式。见图 1-5 所示。

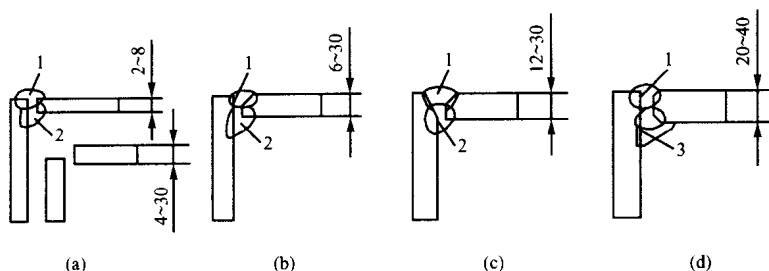


图 1-5 角接接头

- (a) I 形坡口（平接和错接）；(b) 带钝边单边 V 形坡口；(c) Y 形坡口；
(d) 带钝边双单边 V 形坡口
1—对接焊缝；2—角焊缝；3—组合焊缝

5. 搭接接头

两焊件部分搭叠，沿着一焊件或两个焊件的边缘进行焊接，或

在上面一个焊件上打孔，采用塞焊方式把两个焊件焊接在一起，如图 1-6 所示，图中 i 、 l 和塞焊点间距根据设计确定。这种接头均称为搭接接头。

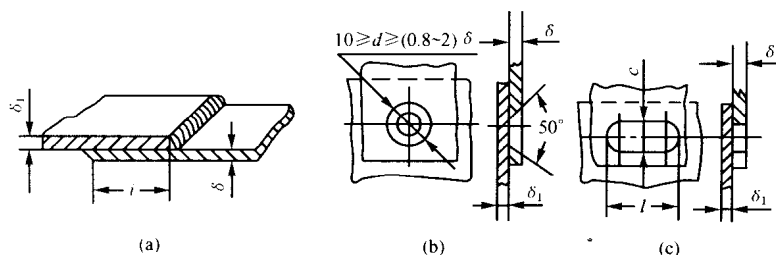


图 1-6 搭接接头

(a) 1 形坡口， $\delta = 2 \sim 30$ ；(b) 圆孔塞焊， $\delta > 2$ ；(c) 长孔塞焊， $\delta > 2$

搭接接头消耗钢板较多，增加了结构的自重，在受外力作用时，因两工件不在同一平面上，能产生很大的力矩，使焊缝应力复杂，所以接头承载能力低，在结构设计中应尽量避免采用搭接接头。

碳钢和低合金钢焊接接头的坡口形式和坡口尺寸可查阅国家标准 GB985-88。坡口形式和尺寸确定后，其加工精度对接头的焊接质量也有一定影响，故设计时需加以规定。表 1-3 列出了手弧焊坡口主要尺寸的允许偏差，坡口尺寸大时可选较大值。

焊缝按连接形式一般可分为对接焊缝、角焊缝、端接焊缝和塞焊缝等，最常见的是前两种。在焊件的坡口面间（图 1-1）或坡口面与另一焊件表面间焊接的焊缝 [图 1-5 (b)、(d) 中的 1] 是对接焊缝。角焊缝则是沿两直交或近直交焊件的交线所焊接的焊缝 [如图 1-4 (a) 和图 1-5 中的 2]。图 1-4 (b)、(c)、(d) 和图 1-5 中的 3 所示为对接焊缝和角焊缝的组合焊缝。