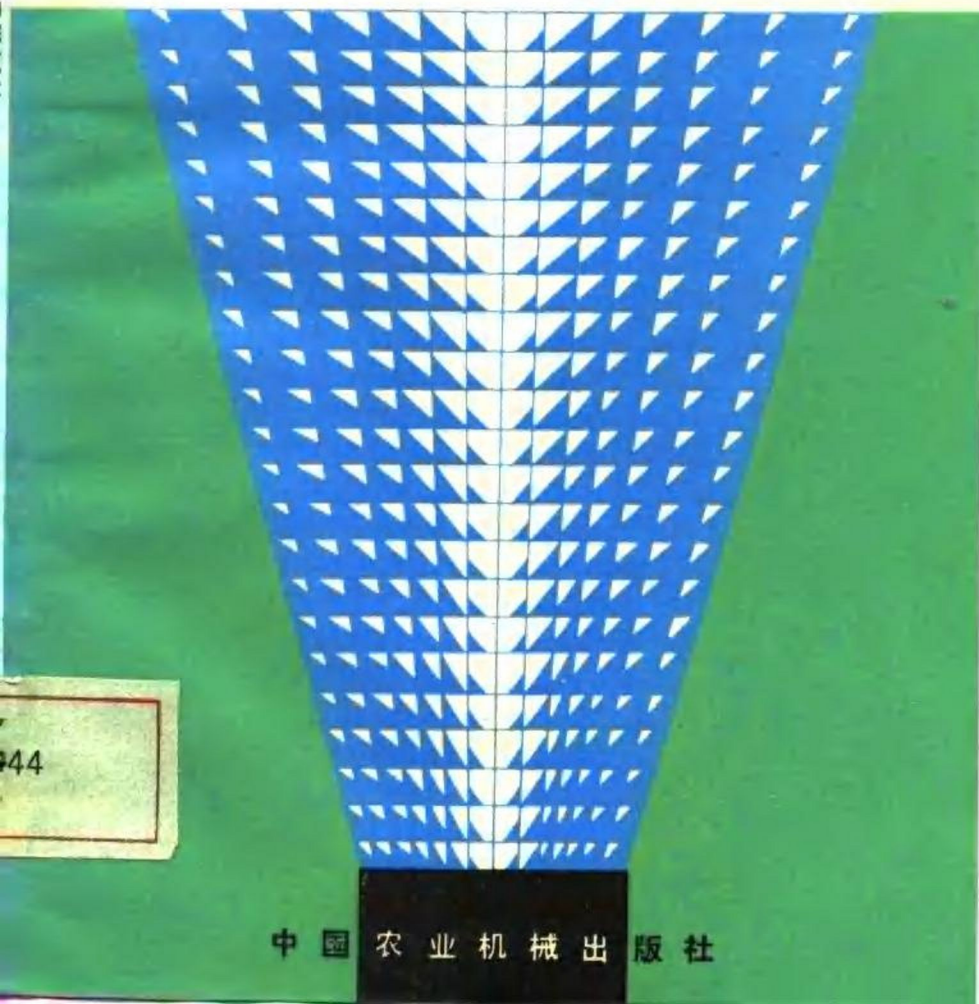


手工单面焊双面成形操作技术

——锅炉压力容器焊工考试指南——

刘廷贵 周玉林等编



中国农业机械出版社

前 言

手工单面焊双面成形工艺，是锅炉及压力容器制造、安装工程中经常采用的一种焊接工艺方法。同时，锅炉压力容器焊工的手工焊接考试，也要求进行单面焊双面成形的操作考试。为确保锅炉压力容器的焊接质量，提高焊工的技术素质，根据原国家劳动总局关于试行《锅炉压力容器焊工考试规则》的通知要求，我们继编写了《焊工培训指南—锅炉压力容器的焊接》一书之后，又编写了本书。希望它们能有助于做好焊工的培训和考试。

本书由刘廷贵、周玉林、门喜鹏、高雄一及苏跃祖同志等编写，顾钰熹、方仲元同志审稿。

在编写过程中，得到了兄弟单位及抚顺市劳动局和锅炉检验研究所有关领导的帮助和支持，在此表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，漏误之处敬请批评斧正。

编者

一九八五年十二月二十五日



目 录

前言

概述	1
一 低碳钢试件手工电弧焊	5
(一) 板状试件焊接工艺	5
(二) 管状试件焊接工艺	21
二 普通低合金钢试件手工电弧焊	35
(一) 焊前准备	35
(二) 焊接工艺	36
三 低碳钢和耐热合金钢试件氧-乙炔气焊	44
(一) 焊前准备	44
(二) 焊接工艺	45
四 耐热合金钢试件手工钨极氩弧焊	52
(一) 焊前准备	53
(二) 试件焊接	55
(三) 试件焊前预热及焊后热处理	59
五 常见焊接缺陷及防止措施	60
(一) 未焊透	60
(二) 未熔合	61
(三) 焊瘤	62
(四) 冷缩孔	62
(五) 气孔	63
(六) 夹渣	64
(七) 咬边	65
(八) 背面凹陷	65

(九) 焊道背面成形不良	66
附录一 焊工理论考试复习题及题解	68
(一) 焊工理论考试复习题	68
(二) 焊工理论考试试题解答	70
附录二 原国家劳动总局关于试行《锅炉压力容器 焊工考试规则》的通知	91
附录三 《锅炉压力容器焊工考试规则》问答	113

概 述

单面焊双面成形工艺，是先进的焊接工艺方法之一。它与双面焊相比，可省略翻转焊件及背面清焊根这一道工序，尤其适用于无法进行双面焊接的场合。因此，在锅炉制造、安装、承压管路的焊接、造船和机器制造中，这种工艺已得到广泛的应用。在对锅炉压力容器焊工的手工焊操作技能考试中，也要求通过单面焊接双面成形的考试。

单面焊接双面成形操作工艺的特点，就是将焊件开成单面坡口(如单面V形、单面U形坡口等)，只要在坡口面一侧进行焊接(背面不清根、不施焊)，就可同时在焊件坡口正、背两面形成一条贯通的焊道，而且背面的焊缝成形良好。

可以实现单面焊双面成形的焊接方法很多。许多自动化焊接方法，如埋弧自动焊、氩弧焊(包括熔化极和钨极氩弧自动焊)，二氧化碳气体保护焊、等离子弧焊等，只要焊接规范选择适当、焊件坡口尺寸等工艺参数选择适宜，背面可加或不加衬垫，都可进行单面焊接而获得良好的双面成形。

对于手工电弧焊、手工钨极氩弧焊、气焊等则不需要任何辅助衬垫，只要坡口尺寸适当、操作得法就可以实现良好的双面成形焊接。

最近，我国研制出一种单面焊接双面成形的粘接软垫。利用这种软垫，敷设(粘接)于焊件坡口背面进行平、立、横焊时，可减小操作上的难度，保证焊接质量，并可获得理想的背面成形焊缝。软垫材料有陶质、玻璃纤维、焊剂、金属材料

质四种，分别适用于手工电弧焊、埋弧自动焊、氩弧焊和二氧化碳气体保护焊等。这种软垫不仅适用于焊接低碳钢、普通低合金钢，而且还适用于焊接不锈钢，铜、铝及其合金。但是，对管子及管路的焊接却无法采用这种粘接软垫。

手工电弧焊单面焊接双面成形工艺，按照操作方法可分为连续电弧焊法和间断灭弧焊法。一种连续电弧焊法是，借助于手动电流调节器，两手同时操作，在引弧时采用的焊接电流稍大些(大于正常值)，然后再调节到正常的焊接电流，转为正常焊接。另一种连续电弧焊法，是在施焊中不调节电流，用同一焊接电流，连续(或挑弧)焊接。连续电弧焊接，难以获得良好的背面成形和焊接质量，在工程上或者焊工考试时，多采用间断灭弧焊法。间断灭弧焊法可选择的焊接规范参数范围较宽，电弧具有足够的穿透能力，它是利用调节电弧燃烧和熄灭的时间，控制熔池有利于操作和提高焊缝质量。

无论是连续电弧焊法还是间断灭弧焊法，按照电弧对坡口根部熔化作用机理又可分为渗透焊法和击穿焊法。采用渗透焊法焊接焊件是不利的，因为它容易使一部分接头在半熔化状态下连接在一起，甚至形成“冷接”，导致坡口根部没有真正熔合。因此，这种焊接方法无论是在焊工考试还是在实际工程上都不采用。击穿焊法是在焊接过程中依靠电弧的穿透能力，直接熔透坡口根部，并使每侧焊根熔化 $1.5\sim 2\text{mm}$ ，在熔池前沿造成一个大于装配间隙的熔孔。熔滴金属一部分过渡到焊缝根部及背面，与熔化的焊根共同组成熔池，大部分熔滴金属则熔敷在正面与母材金属混合形成正面焊道熔池。正面焊道熔池与背面焊道熔池互为一体，在电弧熄灭过程中结晶形成正、背面焊缝。由于焊缝背面不仅成形好，而且有

电弧气氛和熔渣的保护，有利于提高焊缝质量。所以，在生产中多采用击穿焊法。

击穿焊法在操作方法上可分为一点法、两点法及拉运法（或拉弧法），几种操作方法，如图1所示。对于碳钢和低合金钢，在引弧部位、引弧和灭弧方法以及运条动作上稍有区别。一点法适用于薄板、小直径管（如 $\phi 51 \times 3.5$ 或 $\phi 60 \times 3$ mm钢管）及小间隙时的焊接。对于厚板，大直径管应采用两点法或拉弧法施焊。

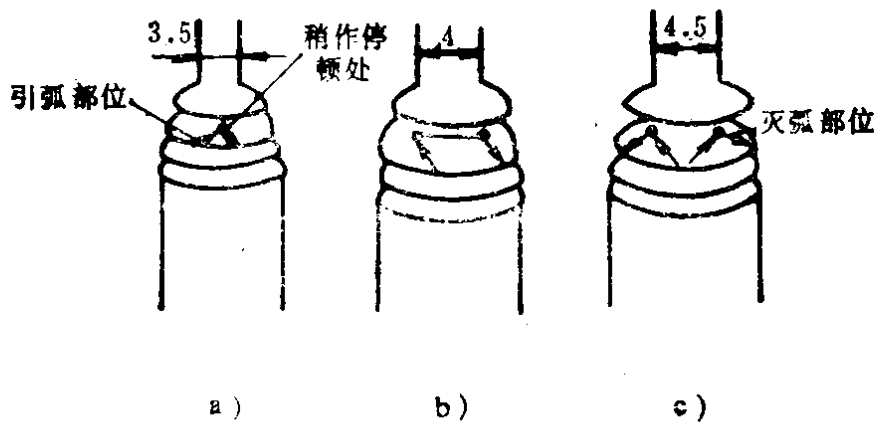


图1 击穿焊法的各种形式

a) 一点法 b) 拉弧法 c) 两点法

采用气焊方法，进行单面焊接也可实现双面成形。气焊单面焊双面成形工艺，也是采用击穿焊法。击穿焊法是在焊接过程中，利用气体火焰的加热和穿透能力，使熔池前沿始终保持一个熔孔，熔孔直径略大于装配间隙。由于击穿出现熔孔，容易控制熔透度，保证焊缝背面成形。焊接时，随着填充焊丝和焊炬的摆动（可划圆圈），不断地形成新的熔池和熔孔，并维持熔孔大小均匀、快速向前焊接。

操作方法上，气焊时采用左向焊法或右向焊法均可。但

左向焊法适用于薄件，操作简便、易于掌握。右向焊法适用于厚件，难度较大些，但尤其适用于有淬硬倾向钢种的焊接。

手工钨极氩弧焊单面焊双面成形，不同于手工电弧焊。手工钨极氩弧焊的击穿、熔透出现熔孔，填充焊丝的动作等都与气焊相似。只是焊炬的加热，不是利用气体火焰，而是利用电弧热。操作方法上，也可分为左向焊法和右向焊法两种。

一 低碳钢试件手工电弧焊

(一) 板状试件焊接工艺

1. 焊前准备

(1) 试板的加工 试板规格: 考试板 $300 \times 125 \times 12\text{mm}$; 练习板 $300 \times 70 \times 12\text{mm}$ 。

试板材质: A3、A3R、20、20g等(A类I组)。

试板的加工可用剪板机或氧-乙炔焰切割下料, 然后在刨床上加工坡口。加工时, 不要留钝边, 因焊接位置的不同所需钝边尺寸也不同。装配时, 可用锉刀锉出合适的钝边。试板及坡口尺寸见图2。

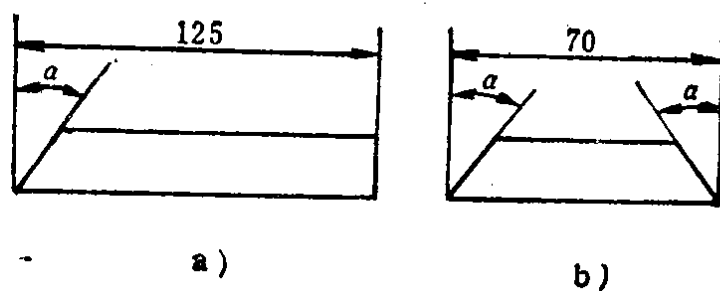


图2 试板尺寸

a) 考试板 b) 练习板

(2) 试板的清理 在试板坡口的正、背面两侧 $15 \sim 20\text{mm}$ 范围内应清除铁锈、油脂、污物等, 使之露出金属光泽。

(3) 试板的装配与点固 试板装配和点固所用焊条与

正式焊接时相同。试板应平整；错口小装配时应留出合适的间隙和反变形量。点固位置选在试板背面两端。点固焊所用电流稍大于正式焊接电流。

(4) 焊条和焊接电源 焊接采用碱性低氢型焊条，如结427或结507（对于锅炉焊工及二、三类压力容器焊工），也可采用酸性结422焊条（对于压力容器焊工，但碱性焊条考试合格，可免试用酸性焊条的焊接）。所选用的焊条规格为 $\phi 2.5$ 、 $\phi 3.2$ 和 $\phi 4.0\text{mm}$ 三种。焊条应未受潮变质、焊芯无锈、药皮无开裂，焊条需经检验或复验合格（用于锅炉受压元件、焊条应复验）。焊前将焊条烘焙至 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ （碱性焊条）或 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ （酸性焊条），恒温 $1.5\sim 2\text{h}$ ，烘焙时升温 and 降温应力求缓慢。当焊条从烘箱中取出时，轻轻弯曲，如发出轻微“咯吱、咯吱”声，则说明干燥得适宜。取出的焊条应放于保温筒内，随用随取。

焊接电源应根据焊条药皮类型，分别采用直流焊机或交流焊机。焊机的空载电压应适宜，并且有良好的动特性，使熄弧后再引弧容易。碱性焊条应采用直流反极性接法。

2. 焊接工艺

(1) 平焊

1) 试板装配与焊接工艺参数 试板装配尺寸见图3及表1，焊接工艺参数见表2。

表1 试板装配尺寸

坡口面角度 $\alpha(^{\circ})$	间隙(mm)	钝边(mm)	反变形($^{\circ}$)	错边量(mm)
30+2.5	前 3.5	1~1.5	≈ 5	≤ 1.2
	后 4.5			$(\leq 0.1t)$ ①

① t 为试件板厚。

表 2 焊接工艺参数

焊接层次	焊条直径 (mm)	焊接电流(A)	焊条前倾角 (°)
1	ϕ 3.2	100~110	50 ± 5
2	ϕ 3.2	110~120	85 ± 5
3	ϕ 4.0	160~180	85 ± 5
4	ϕ 4.0	160~180	85 ± 5

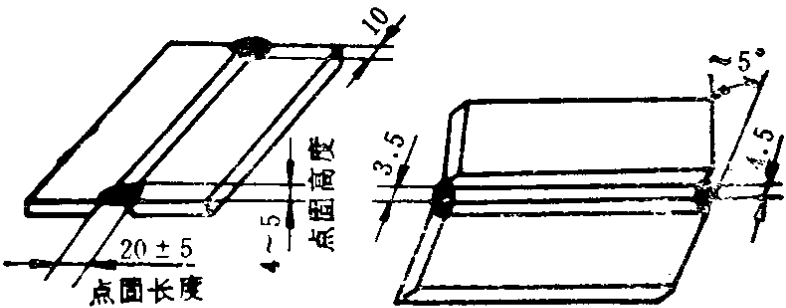


图3 手工焊试板的装配尺寸

2) 焊缝外形尺寸 焊缝外形尺寸要求，如表 3 所示。

表3 焊缝外形尺寸要求

焊 缝	宽 (mm)	高 (mm)	要 求
正 面	20^{+3}	0~3	焊缝均匀、整齐、圆滑过渡，高低差 ≤ 2 mm
背 面	3~6	0~2.5	

3) 施焊技术 试板水平固定或平放在焊接支架上，高低要适当。施焊时焊工不得依托或坐下，要求按蹲式姿势进行操作。

第一层打底焊是单面焊双面成形焊接工艺的关键，应采用间断灭弧击穿焊法焊接。焊前在引弧板上试验焊条是否发生偏吹，电流是否合适(各焊接位置与此相同，以后略)。一切正常后，可在点固焊缝前10~15mm的坡口面上划擦引弧，

待电弧燃烧稳定后,将电弧拉回至点固焊缝中心,加热 $1\sim 2\text{ s}$ (将电弧稍作停顿和摆动),使之形成第一个熔池,并立即灭弧,见图4。当这个熔池约有三分之二的金属已凝固,还剩三分之一金属处于未凝固或半熔化状态时,应立即在它的左前方坡口面上(接近钝边处),以 $50^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 的前倾角送焊条引弧,焊接。使电弧在此处燃烧加热 $1\sim 1.5\text{ s}$,然后迅速将焊条按逆焊接方向作挑划动作,并抬起熄弧。由于电弧的加热及电弧的压力等机械力的作用,使第一个熔池和坡口面及根部一部分的金属被熔化并击穿,形成平焊位置看不到的第一个熔孔,第一次击穿示意图,如图5所示。

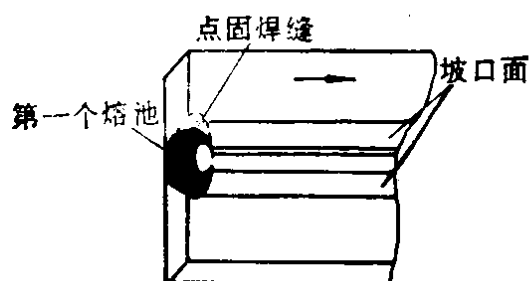


图4 形成第一个熔池示意图

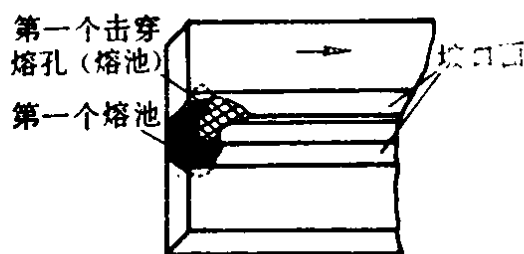


图5 第一次击穿示意图

这时弧柱的三分之一透过熔孔,并带着熔滴透过背面与熔化的第一个熔池以及坡口面钝边金属,组成焊道背面熔池。大部分弧柱和所带熔滴则在正面与熔化的母材金属形成了正面焊道熔池。此时,应快速灭弧。熔孔瞬间被液态金属填满,因此平焊击穿熔孔不易被看到。如在灭弧时,见到明显的熔孔,则背面就会出现焊瘤。当这个熔池凝固尚未终止,即透过电焊帽的护目镜片可明显地见到熔池沿三个方向向中间冷却结晶,颜色由亮变暗,当只剩下 $2\sim 3\text{ mm}$ 宽的亮黄色“条纹”时(灭弧后约 $0.8\sim 1\text{ s}$),应立即以同样动作点燃电

弧，可在该熔池右侧坡口面稍前一些的位置上焊接，如此往复，直至焊完（见图6）即形成了单面焊双面成形焊缝。焊接时应注意每一熔滴都要准确地送到欲焊位置，同时每次击穿点的间距也应均匀，坡口面熔化宽度要一致，约为1.5~2mm；这样才能保证焊道背面高低、宽窄均匀一致，熔合良好，同时，应掌握好灭弧动作，切忌在熔池前方坡口面上熄弧。否则，坡口面上一旦沾附飞溅等污物，将影响随后的焊接操作，并影响电弧稳定、集中，以至影响焊缝质量。此外，还应避免在熔池前方坡口间隙处熄弧，否则容易导致焊缝产生气孔。焊条前倾角要保持适宜，前倾角过小会影响气体保护效果，也不利于熔滴过渡；前倾角过大，虽然气体保护效果较好，但由于电弧加热集中，使电弧压力直接作用在熔池弧坑上，容易导致背面焊道超高或出现焊瘤。

当施焊过程中更换焊条时，为防止因灭弧出现冷缩孔，灭弧不应过急，应预先迅速向熔池边缘或背侧连续点弧（断弧）二、三下，使焊道背面熔池填满，同时控制熔池温度使之缓慢地冷却。然后将电弧向坡口一侧压低并后拉7~10mm时灭

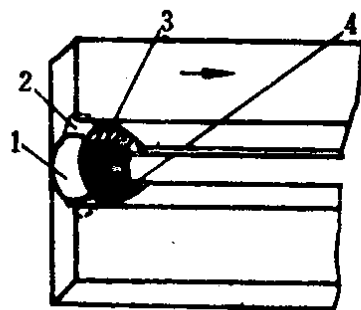


图6 手工焊击穿施焊示意图

- 1—第一个熔池 2—点固焊缝
3—第一个击穿熔孔(熔池) 4—第二个击穿熔孔(熔池)

弧。这样可防止焊道背面产生冷缩孔。灭弧动作示意图见图7。另外，更换焊条速度要快。换上焊条后可在熔池前10~15mm的坡口一侧划擦引弧。电弧点燃后向回拉弧，从弧坑里侧焊波上绕至弧坑处加热，然后将电弧压向根部以保证击穿，引弧动作示意图见图8。这时，在焊道结尾处中心形

成了更换焊条后的第一个熔池，然后转入正常操作方法施焊。另一种引弧方法可以从熔池后10mm左右的焊道上引弧，然后将电弧拉至熔池前沿稍做左右摆动，当熔池弧坑及坡口两侧焊根熔化后将电弧向下一压，然后转为正常焊接，以保证焊透，并防止背面焊道接头脱节。

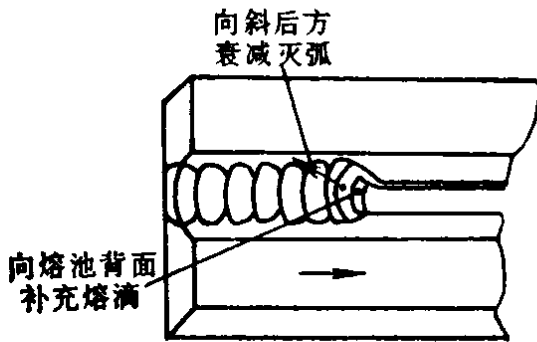


图7 灭弧动作示意图

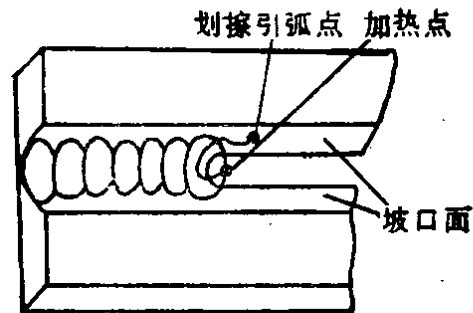


图8 引弧动作示意图

当焊接到焊缝全长的三分之二时，由于试板温度升高，应延长熄弧的时间，防止焊道背面温度超高或出现焊瘤。操作时要精神集中，仔细观察熔池状态。如果发现熔池发生轻微抖动，应立即停止焊接，迅速用电弧将熔池重新熔化，使气体逸出，然后转为正常焊接，防止产生气孔。

综上所述，第一层打底焊接的操作要点是：电弧要短，输送熔滴要薄，间断灭弧周期要短。

第二层及以后各焊层的焊接，应待前一层焊缝熔渣冷却，并将熔渣清除干净后，才可施焊。起焊时应在距焊缝开始端10~15mm处引弧，然后将电弧拉回至焊缝始端施焊。如果前一层焊道表面平整，无严重凸凹现象，可采用左右摆动稍带锯齿形运条法，在左右两侧稍作停留，以保证熔池及坡口两侧温度均衡，有利于熔合及清渣。如果第一层焊道中间高，边缘低，出现严重凸凹时(这种现象多在横、仰焊位置出现)，要

适当增大电流，采用如图9 b所示的直线往返运条法，以利清渣和焊满凹陷处。盖面层前的一层焊道应低于坡口上缘1~1.5mm。盖面层焊接可采用锯齿形运条法，注意电弧在边缘稍作停顿，见图9 a。电弧摆动幅度和频率应力求一致，以保证焊缝表面尺寸，利于边缘熔合整齐、表面成形美观。

(2) 立焊

1) 试板装配与焊接工艺参数 试板的装配尺寸见图10、表4。焊接工艺参数见表5。

表4 装配尺寸

坡口面角度 $\alpha(^{\circ})$	间隙 (mm)	钝边 (mm)	反变形 ($^{\circ}$)	错边量 (mm)
30+2.5	下 3.5	1~1.5	≈ 7	≤ 1.2
	上 4.5			($\leq 0.1t$)

表5 焊接工艺参数

焊接层次	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条后倾角 ($^{\circ}$)
1	ϕ 3.2	80~100	70~80
2	ϕ 3.2	90~110	80~85
3	ϕ 4.0	140~160	80~85
4	ϕ 4.0	140~160	80~85

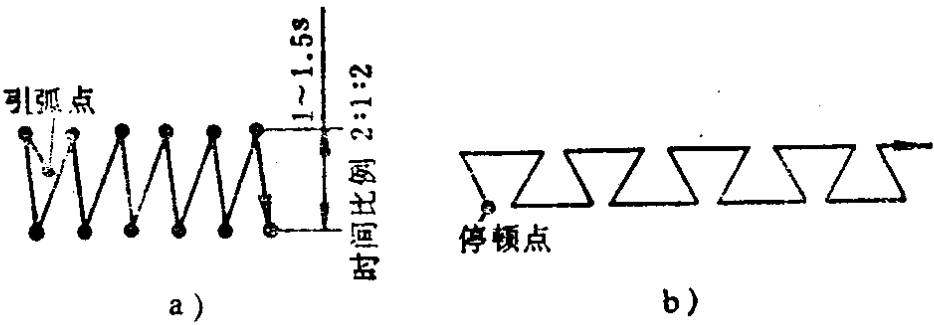


图9 运条方法示意图

a) 锯齿形运条法 b) 直线往返运条法

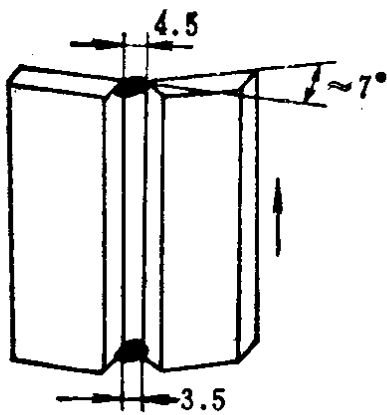


图10 手工立焊试板的装配尺寸

2) 焊缝外形尺寸 焊缝外形尺寸要求见表 6 .

表6 焊缝外形尺寸要求

焊 缝	宽 (mm)	高 (mm)	要 求
正 面	20+3	0~4	焊缝均匀、整齐圆滑过渡，高低差≤3 mm
背 面	3~6	0~3	

3) 施焊技术 试板垂直固定，高度以板的上缘与焊工两腿稍叉站立时的视线齐平为宜。

立焊时，熔池金属和熔滴因重力作用具有下坠趋势，容易产生焊瘤。又由于熔渣的熔点低，流动性强，熔池金属和熔渣容易分离，焊工可以清晰地观察到熔池形状和状态，便于操作和控制熔池。由于熔池部分脱离熔渣的保护，如果操作或运条角度不当时，容易产生气孔。焊接过程中，有时可看到熔池内部发生轻微抖动，这是气体的作用所致。因此，操作时应注意保持电弧长度和运条角度稳定，并密切注视熔池的动态。

第一层打底焊接时，可在点固焊缝上方10~15mm 坡口面上划擦引弧，然后将电弧拉回到点固焊缝中心稍加摆动加

热,使坡口根部、钝边及点固焊缝熔化形成第一个熔池,然后以 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 后倾角(见图11)运送焊条,即压低电弧,使坡口根部形成椭圆形熔池和熔孔,左右击穿,然后向上运条施焊。当熔池温度过高,铁水有下流趋势时,应立即灭弧使熔池冷却。焊接过程中,要求坡口根部两侧的击穿尺寸(即母材金属受热熔透的尺寸)均匀地保持在 $1.5\sim 2.5\text{mm}$ 范围内。如果缺口过大,即电弧燃烧时间过长,熔池温度过高、液态金属体积增大,重力大于表面张力产生下坠,使背面焊道超高或出现焊瘤;缺口尺寸过小,则焊不透或熔透度不够。立焊击穿施焊示意图见图12。

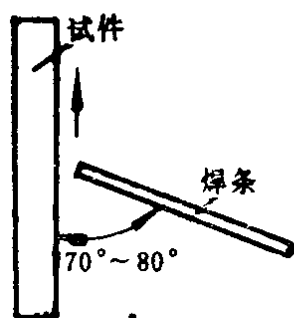


图11 击穿施焊焊条角度

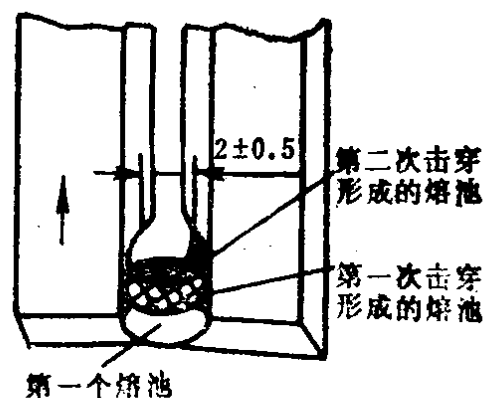


图12 手工立焊击穿施焊示意图

更换焊条时,要处理好熄弧及再引弧动作。一般熄弧前,可预先在熔池最前边缘或背侧连续点弧(断弧)二至三下,即给二至三滴铁水然后将焊条向下(后)斜拉至坡口的一侧,再迅速灭弧,以防产生冷缩孔。更换焊条后,在坡口一侧的上方距熄弧处 $10\sim 15\text{mm}$ 划擦引弧,再将电弧拉回至熄弧处熔池根部加热。加热后将电弧稍向坡口根部一压,听到背面“噗”的击穿声之后,说明已经焊透,接头完成,即可转为正常施焊。但需注意新的熔池形状及温度的变化。一般新的