

文章编号: 1001-5108(2024)04-0025-05

20 钢管 A-TIG 大钝边打底焊法

张丹丹¹, 张治国¹, 庞 启¹

(1. 陇南师范高等专科学校机电工程学院, 甘肃省 陇南市 742500)

摘要: 利用手工 A-TIG 焊对 20 钢管进行了大钝边打底焊研究。钝边尺寸及装配间隙合理时, 在适当工艺参数支持下, 可实现活性 TIG 焊全位置大钝边打底焊接。活性剂作用下熔池表面张力方向的改变是影响 A-TIG 全位置大钝边打底焊成型的重要因素。平焊位置, 内表面张力 σ_2 是平衡向下的重力 G 与电弧力 F_a 的重要作用力; 立焊位置, 内表面张力 σ_2 是平衡水平电弧力 F_a 主要作用力; 仰焊位置, 外表面张力 σ_1 与内表面张力 σ_2 是克服重力 G 的重要作用力。

关键词: 活性 TIG 焊; 大钝边; 打底焊; 全位置

中图分类号: TG444

文献标识码: A

Largeblunt edge root welding method for A-TIG of 20 steel pipe

ZHANG Dandan¹, ZHANG Zhiguo¹, PANG Qi¹

(1. Mechanical and Electrical Engineering, Longnan Teachers College, Longnan 742500, Gansu, China)

Abstract: A study was conducted on the large blunt edge root welding of 20 steel pipes using manual A-TIG welding. When the size of the blunt edge and the assembly gap are reasonable, with the support of appropriate process parameters, A-TIG welding with full position large blunt edge root can be achieved. The change in surface tension direction of the molten pool under the action of an activator is an important factor affecting the formation of A-TIG full position large blunt edge root welding. In the flat welding position, the inner surface tension σ_2 is the important force that balances the downward gravity G and the arc force F_a ; At the vertical welding position, the inner surface tension σ_2 is the main force that balances the horizontal arc force F_a ; At the overhead welding position, the outer surface tension σ_1 . Internal surface tension σ_2 is an important force to overcome gravity G .

Key words: A-TIG welding; large blunt edge; root welding; all position

20 钢管因其优良的使用性能与加工性能, 普遍应用于各领域。通过复合工艺在其内表面形成一层橡胶、金属或陶瓷等材料制成的复合管道兼具基材和复合材料的优点, 具有非常好的耐磨性, 耐腐蚀性和耐高温性, 广泛应用在供排水、化工、矿山、石油等行业。广阔的应用市场驱动 20 钢管焊接技术的不断发展。20 钢具有较好的焊接性, 采用传统焊接方法进行 20 钢管焊接时, 为了保证管道内侧良好的成型效果, 一般采用氩弧焊进行打底。氩弧焊打底焊接时需设计较小的钝边尺寸, 预留较大的装配间隙, 焊接效率低。对于 20 管内衬其他材料的复合管焊

接时, 内衬材料不焊接, 小的装配间隙可提高对接后管道的可靠性。20 管小间隙大钝边打底焊接具有一定的必要性。活性 TIG 焊本身具有普通 TIG 焊接优良的成型特点, 还具有较好的熔透性^[1-2], 利用活性 TIG 焊打底可以在大钝边、小间隙、无填充材料的条件下进行打底焊接, 在一定程度上提高了焊接效率, 节约了焊接成本, 并可以实现特殊工况下的小间隙对接要求, 具有一定的研究意义。小间隙大钝边打底焊接技术既能实现小的组对间隙, 又能大幅降低坡口加工量、焊缝填充量, 提高焊接效率^[3-4]。本文利用活性 TIG 焊对 20 管大钝边全位

基金项目: 2023 年甘肃省高校教师创新基金项目(2023B-415); 甘肃省陇南市 2022 年科技计划项目(2022-S·JH-09); 2021 年陇南师范高等专科学校校级教学改革重点项目(JXGG2021009)。

第一作者: 张丹丹(1986—), 女, 硕士研究生, 讲师, 主要研究方向: 高效焊接技术; E-mail: 503856301@qq.com。

置打底焊进行了研究。

1 试验材料及方法

试验选用 20 号无缝钢管,管径 325 mm,壁厚 10 mm,试件长度 100 mm,如图 1 所示。试件加工 45°坡口,钝边尺寸分别为 4 mm、5 mm 与 6 mm 三种规格,如图 2 所示。活性焊选用以 TiO₂、Cr₂O₃、SiO₂及 MnO₂组成的自制活性剂^[5]。

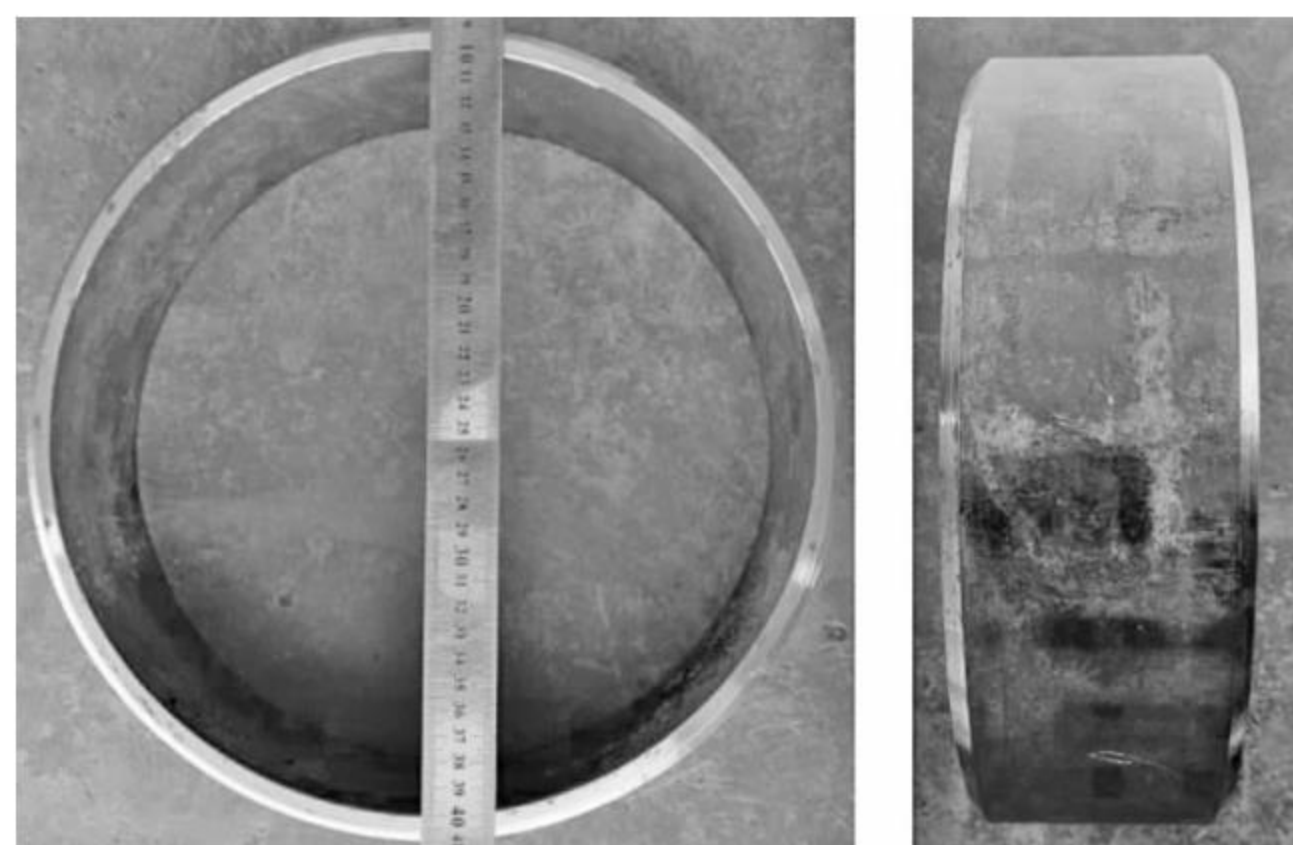
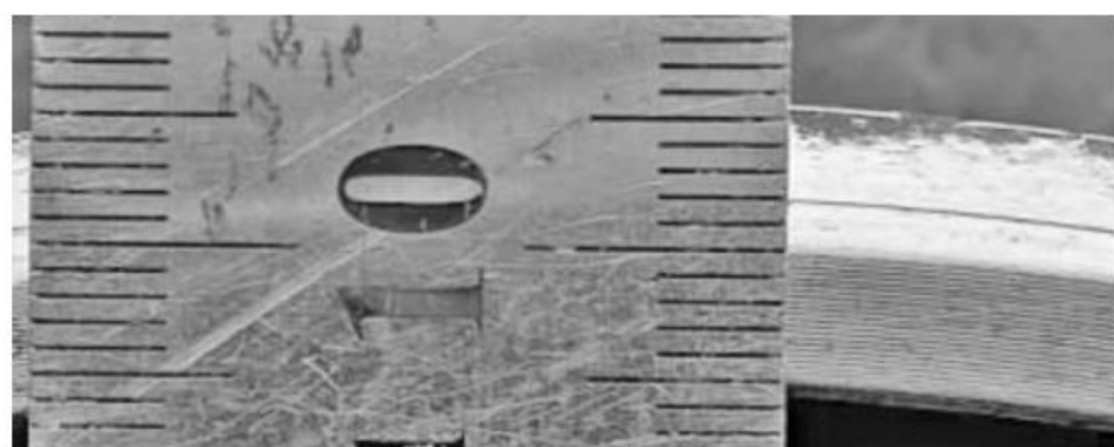


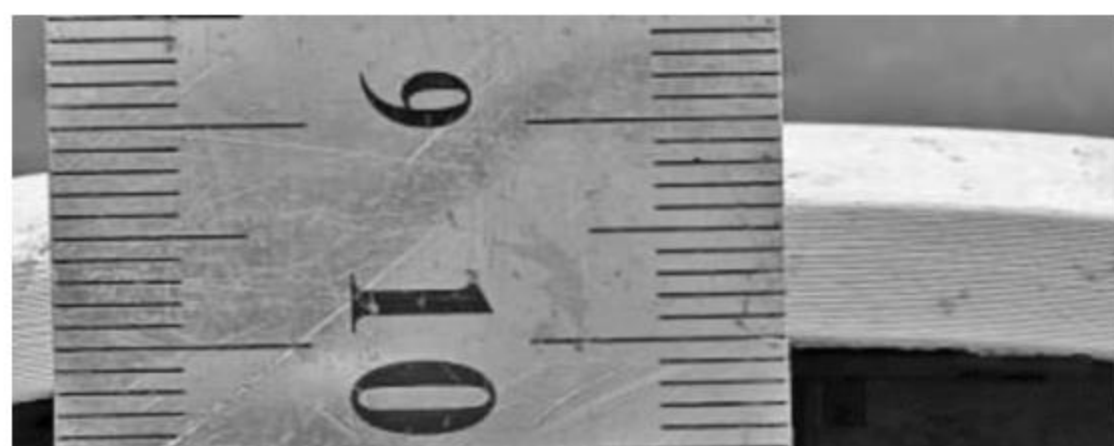
图 1 20 号无缝钢管



(a)4mm



(b)5mm



(c)6mm

图 2 钝边尺寸

试验前,对试件的同心度、坡口加工情况进行检查,将不符合条件的试件淘汰,以免影响焊接效果的分析。焊接试验只研究大钝边打底焊,所以只需要将坡口内外侧约 15 mm 以内的铁锈进行打磨处理。

对三种不同钝边规格的试件进行装配,为了避免焊接过程中热胀冷缩导致装配间隙的变化,装配时至少需要三个定位焊点,且每个焊点长度约 10 mm,确保焊接过程中装配间隙不随焊接过程发生变化,之后在坡口处涂敷活性剂,如图 3 所示。将组对好的试件水平固定,进行 5G 全位置手工 A-TIG 打底焊试验。打底焊顺序如图 4 所示,分两个半圈进行焊接,每个半圈简化为仰爬坡焊区域、立焊区域及爬坡焊区域,两个半圈成型过程具有重复性,以前半圈为研究对象。前半圈施焊时,仰爬坡焊区域的起焊点大于 6 点方向,爬坡焊区域的终焊点小于 12 点方向。打底焊基本工艺参数如表 1 所示,该工艺参数制定前,首先对平板对接进行大钝边打底焊试验,分析相关工艺参数后在管对接试验中进行调整后确定。进行全位置打底焊前,在爬坡焊位置进行一系列试验确定出合适的钝边尺寸与装配间隙。完成相关参数确定后,进行 A-TIG 全位置打底焊试验,分析在活性剂作用下不同位置施焊时熔池的受力情况及打底焊成型情况。



图 3 试件组对及活性剂涂敷图

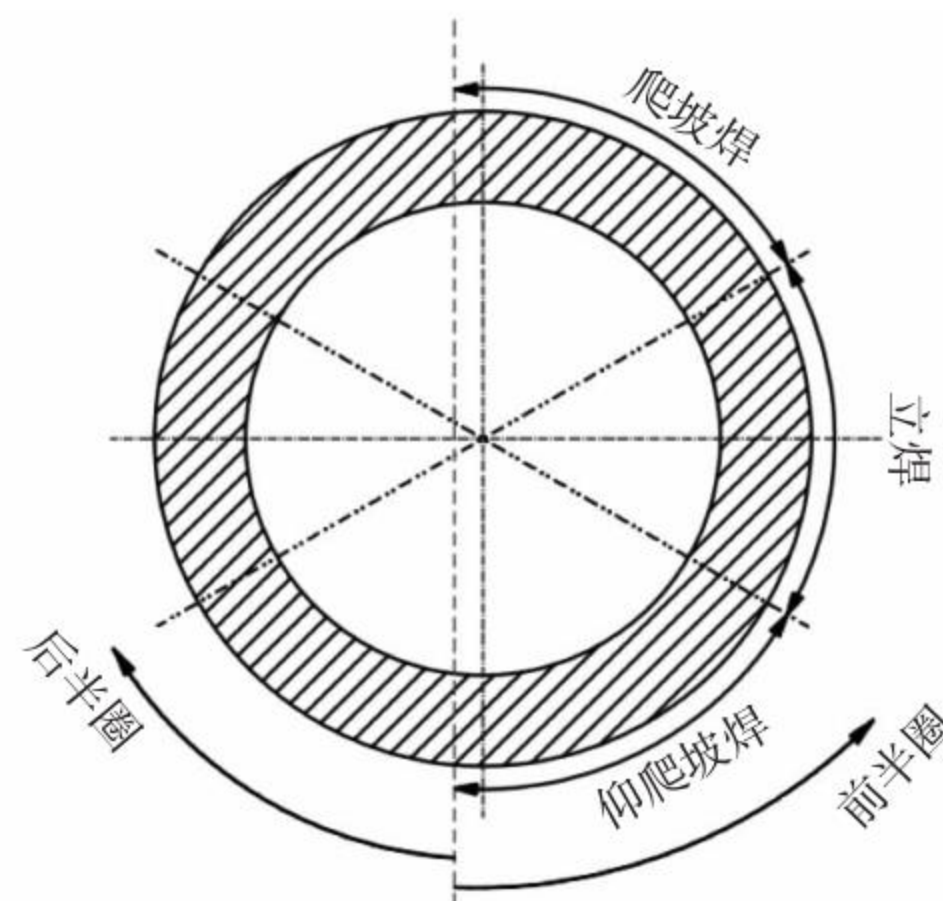


图 4 焊接顺序及位置划分

表 1 A-TIG 打底焊基本工艺参数

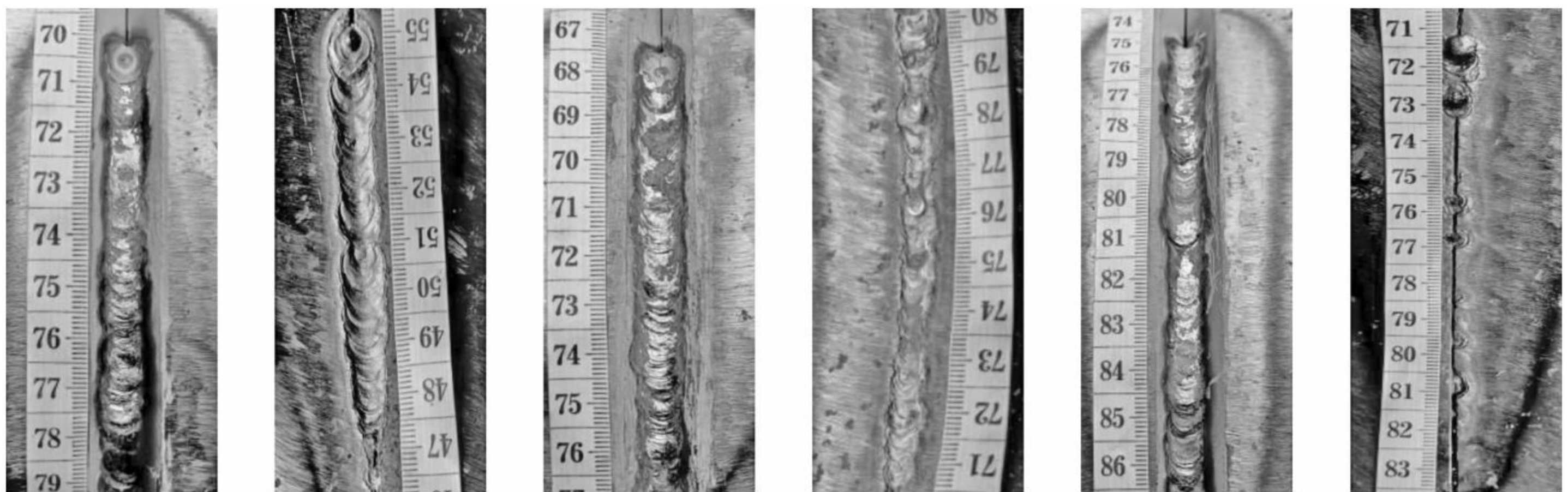
焊接电流 (A)	焊接速度 (mm/min)	弧长 (mm)	保护气体流量 (L/min)	钨极直径 (mm)	钨极尖端角度 (°)
160	70~80	3~4	12	2.4	45

2 试验过程与分析

2.1 钝边尺寸确定

装配间隙为 0.6 mm 时,分别对 4 mm、5 mm、6 mm 钝边尺寸的组件进行大钝边打底焊接,焊缝的内外侧成型如图 5 所示。钝边尺寸变化时,随着钝边尺寸的增加打底焊成型效果逐步变差,主要由

活性焊熔透能力决定。钝边尺寸为 4 mm 时,内侧焊缝宽度较宽,而外侧焊缝较窄,若焊接速度控制不当会导致熔池塌陷,烧穿钝边。钝边尺寸 5 mm 时,外侧焊缝较平整,内侧焊缝有一点内凹,主要因装配间隙较小导致。钝边尺寸达 6 mm 时,从焊缝内部成型可以看出,无法将钝边熔透,外部焊缝凸起。



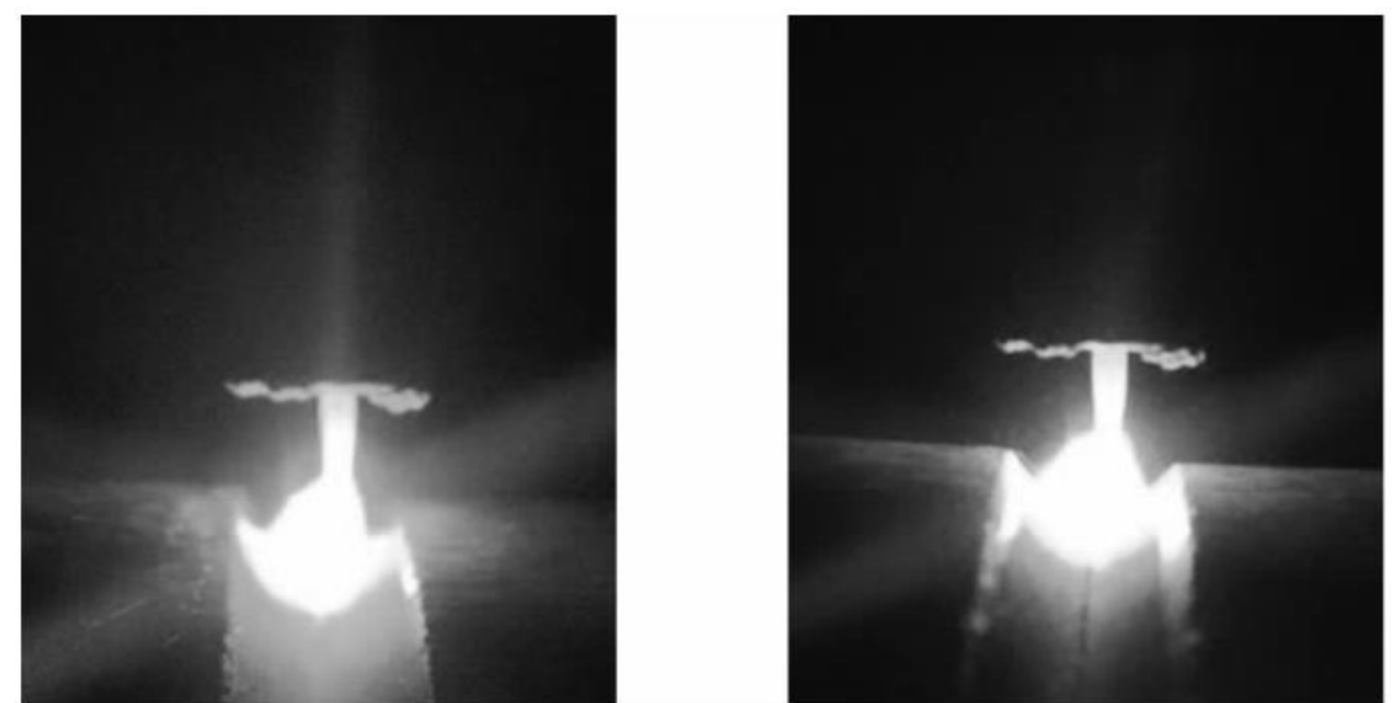
(a)4mm 钝边正面 (b)4mm 钝边背面 (c) 5mm 钝边正面 (d)5mm 钝边背面 (e) 6mm 钝边正面 (f) 6mm 钝边背面

图 5 不同钝边尺寸下活性 TIG 打底焊效果

2.2 装配间隙确定

无间隙情况下,活性 TIG 焊打底焊效果不理想,无间隙与预留间隙施焊时的电弧形貌如图 6 所示。无间隙时,压低电弧后活性焊效果不明显,打底焊熔透性差,主要因活性剂作用未充分发挥。焊接弧长对活性 TIG 焊焊接效果有较大的影响^[6],减小弧长并不能获得更大熔深,这与普通 TIG 焊工艺参数对焊接效果的影响规律不一致。适当增加弧长后,电弧在坡口两侧的导电面积增加,导致熔深降低,这与无坡口焊接时的情况不同。无坡口焊接时,增加弧长,活性剂对电弧的影响效果明显,如图 7 所示,随着弧长的增加,电弧弧柱发生了明显的收缩,电弧的导电面积随之减小,熔透性增加。预留一定的装配间隙后,适当压低电弧活性剂仍能发挥较好作用,保证较大熔合深度。

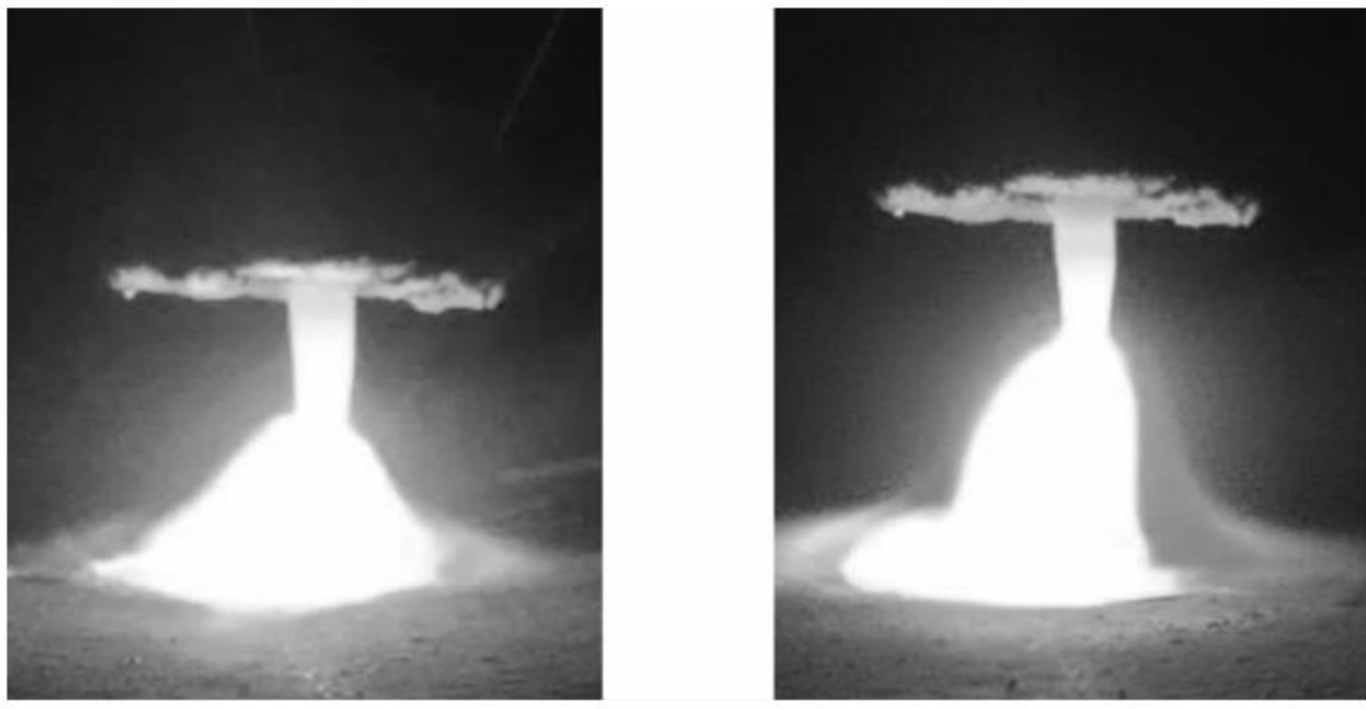
试件装配间隙的调整,对打底焊成型效果也会产生较大的影响,5 mm 钝边试件预留 1.2 mm 及 2.4 mm 装配间隙后打底焊效果如图 8 所示。当装配



(a)无装配间隙 (b)预留装配间隙

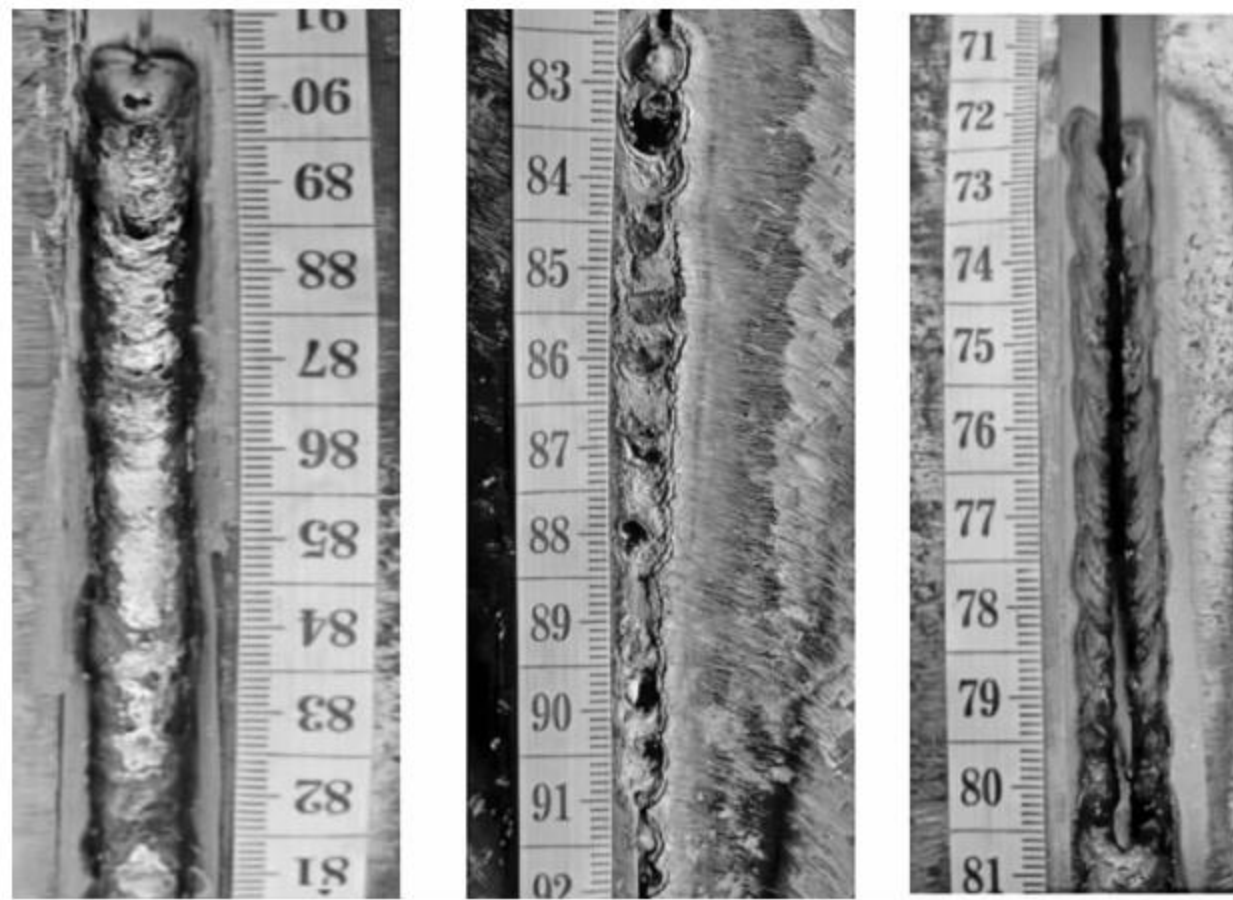
图 6 有无装配间隙时电弧形貌的影响

间隙增加至 1.2 mm 时,打底焊成型效果明显优于 0.6 mm 间隙,焊缝的内外侧成型更加平整。随着间隙的增加钝边更容易被熔透,主要原因在于钝边接受了更多的电弧热量,由熔池边缘向中心的熔池流动加剧,使更多的热量传递至钝边熔池底部。当装配间隙增加到 2.4 mm 时,钝边两侧无法熔合,不能形成完整的焊缝,主要因活性 TIG 焊过程中无填充材料所致。根据试验结果最终确定全位置打底焊钝边尺寸为 5 mm,装配间隙为 1.2 mm。



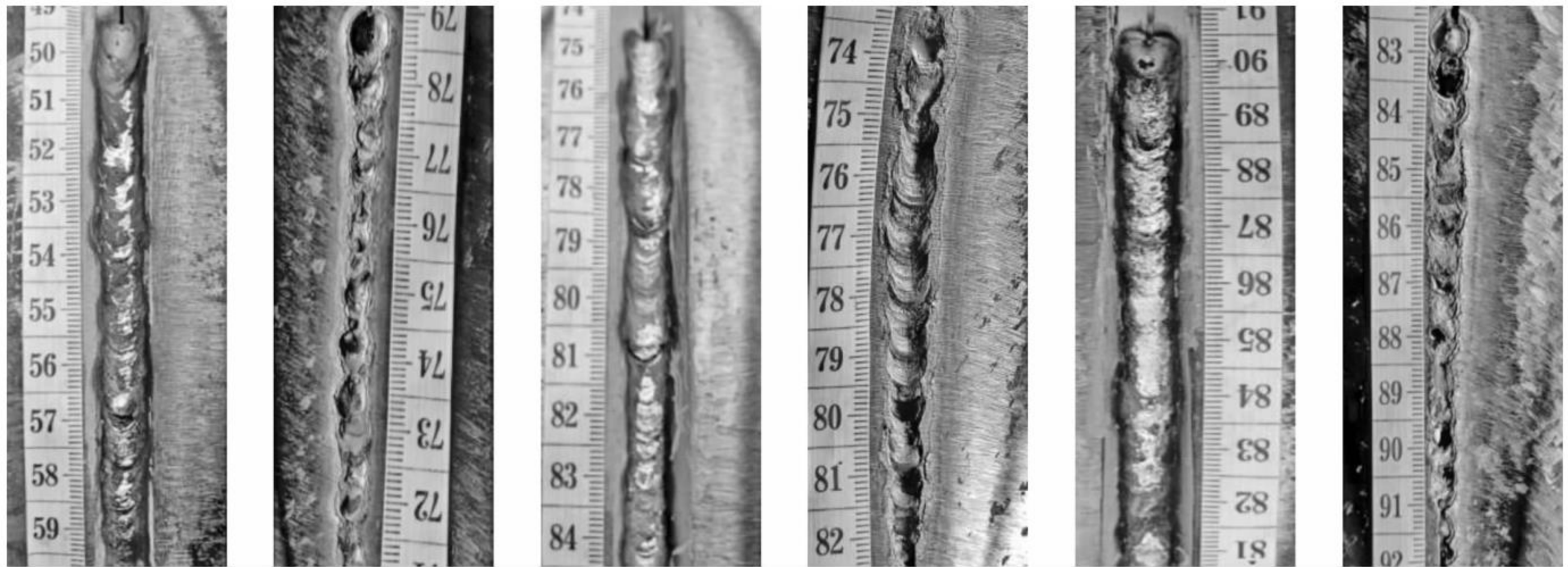
(a)小弧长 (b)提升弧长

图 7 弧长对活性 TIG 焊电弧的影响



(a)1.2mm 间隙正面 (b)1.2mm 间隙背面 (c)2.4mm 间隙正面

图 8 增加装配间隙后活性 TIG 打底焊效果



(a)仰爬坡位 焊正面 (b)仰爬坡位 焊正面 (c)立焊正面 (d)立焊背面 (e)爬坡焊正面 (f)爬坡焊背面

图 9 不同焊接位置 A-TIG 打底焊效果

平焊位置,重力 G 与电弧力 F_a 向下,外表面张力 σ_1 也存在向下分力,熔池整体向下的流动趋势较大,但受到固液界面支撑力 N 、浮力 F_f 及内表面张力 σ_2 的作用熔池并不会轻易发生下塌。内表面张力 σ_2 是平衡重力 G 与电弧力 F_a 的重要作用力。从爬坡焊尾部的焊缝成型,如图 9-e、9-f 可以看出,

2.3 全位置打底焊

根据前期试验分析,确定 5 mm 钝边尺寸 Y 型坡口、装配间隙为 1.2 mm 的组件进行全位置打底焊接试验,结果如图 9 所示,各位置内外侧焊缝成型良好。活性 TIG 焊大钝边打底焊时,熔池表面的活性剂改变了熔池的 Marangoni 对流,如图 10 所示,(a)为无活性剂时的流动状态,(b)为有活性剂时的流动状态,活性剂改变了熔池表面张力温度梯度,使熔池表面由内向外的流动状态改变为由外向内的流动状态,使更多的热量传导向熔池底部^[7],焊缝的截面形状也会由原来的窄宽型变为深窄型,有利于大钝边打底焊接的成型。A-TIG 小间隙大钝边打底能够熔合大钝边,保证较好的成型主要在于活性剂的存在改变了熔池的流动与受力情况^[7]。

A-TIG 全位置打底焊时熔池主要受到电弧力 F_a (主要包括电弧压力与电磁力)、熔池重力 G 、外表面张力 σ_1 、内表面张力 σ_2 、浮力 F_f 、固液界面支撑力 N 的综合作用^[8-9]。全位置打底焊典型位置熔池的受力情况如图 11 所示。随着焊接过程的进行,熔池受力情况持续发生变化,且其受力情况与普通 TIG 焊接完全不同,活性剂改变熔池受力情况,影响各位置大钝边打底焊的成型。

内侧成型相对平整,没有较大的余高,由于浮力 F_f 并不是很大,固液界面支撑力 N 向上的分力在这个位置也较小,所以内表面张力 σ_2 是平衡向下的重力 G 与电弧力 F_a 的重要作用力。平焊位置焊缝内侧较平整的成型,体现出内表面张力 σ_2 对打底焊缝成型的重要性。与无坡口活性 TIG 焊对接情况不同,

坡口在电弧作用下熔化,可以填充焊缝,所以外侧焊缝受坡口熔化金属的补偿作用,有微小的凸起。

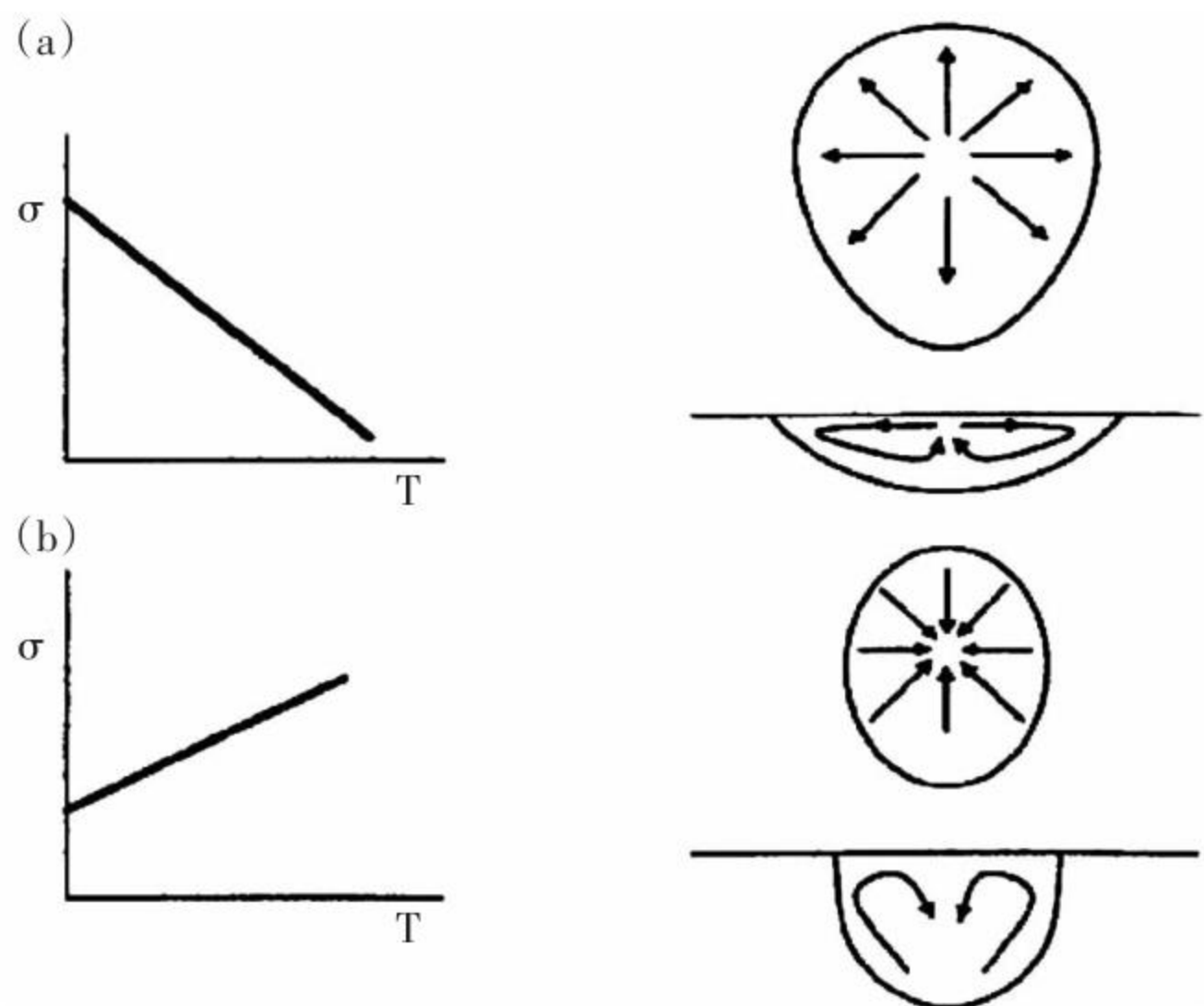


图 10 活性剂改变熔池表面张力温度梯度示意图

立焊位置,外表面张力 σ_1 与电弧力 F_a 方向变化 90° ,促进熔池向底部的流动,内表面张力 σ_2 可以平衡水平方向的主动作用力 F_a ,保障焊缝的成型,如图 9-c 所示,内侧焊缝并没有因电弧力 F_a 的作用而下翘,内表面张力 σ_2 作为电弧力 F_a 的主要平衡力,对立焊位置焊缝的成型起到了非常重要的作用。固液界面支撑力 N 只在单侧存在,在向下的重力 G 的驱使下,熔池金属有下淌的趋势。从立焊焊缝内外侧成型,如图 9-d 可以看出,焊缝有向下流趋势。

仰焊位置,重力 G 成为阻碍熔池金属向底部流动的最大阻力,但此时电弧力 F_a 、外表面张力 σ_1 、内表面张力 σ_2 、浮力 F_f 都向上,促进熔池向底部的流动。从仰爬坡焊内部焊缝成型,如图 9-b 可以看出,钝边完全熔透,在此位置重力 G 对熔池由外到内的流动阻力最大,虽然电弧力 F_a 可以抑制重力 G 导致的不良成型,但仅靠电弧力 F_a 不能保证焊缝的良好成型,此位置向上的外表面张力 σ_1 与内表面张力 σ_2 配合电弧力 F_a 有效抑制向下的重力 G ,保障仰焊位置内侧焊缝良好的成型。外部焊缝成型,如图 9-a 所示,熔化的坡口金属在重力 G 作用下,有下坠趋势,外侧焊缝成型后有一定的凸起。

3 结论

10 mm 壁厚的 20 钢管对接,预留 5 mm 钝边 Y 型坡口,配合一定的装配间隙,在适当的工艺参数支持下可实现 A-TIG 大钝边全位置打底焊接。活性

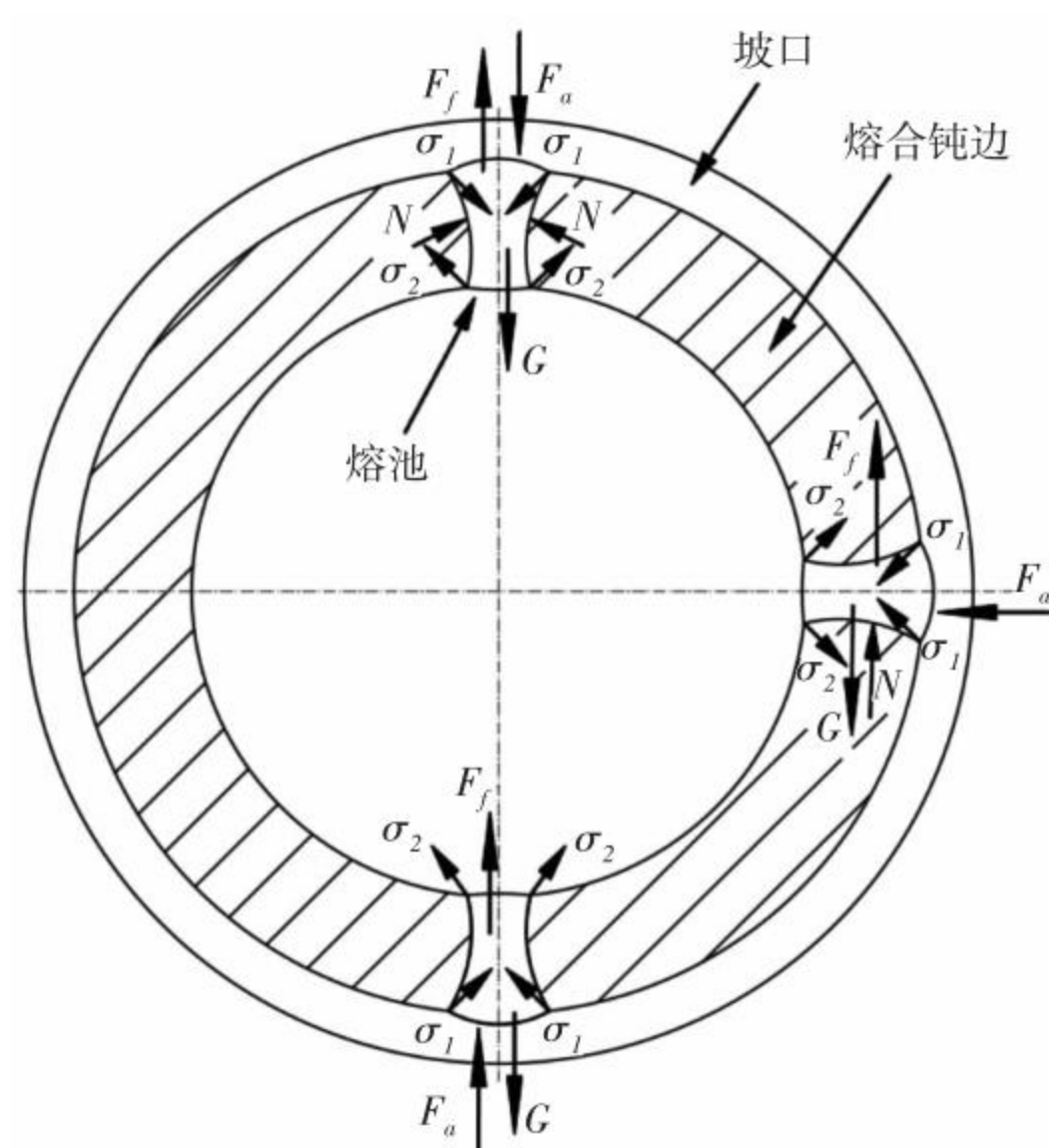


图 11 A-TIG 全位置打底焊熔池受力分析

剂作用下熔池内外表面张力方向的改变,使熔池的受力发生变化是影响 A-TIG 大钝边打底焊的重要因素。在平焊和立焊位置,表面张力可以很好的平衡熔池上主动力的作用,有效地控制了内部余高与外焊缝的内陷。在仰焊位置,表面张力配合电弧力平衡重力作用,促进仰焊焊缝良好的成型。

参考文献:

- [1] 刘自刚,周晓静,朱婷婷,等.A-TIG 焊接方法研究现状及展望[J].材料导报,2021,35(S2):353-357.
- [2] 黄本生,杨江,尹文锋,等.A-TIG 焊研究进展及前景展望[J].材料导报,2016,30(03):76-80.
- [3] 王琛.海洋工程结构钢管 V 形坡口大钝边焊接工艺[J].焊接技术,2022,51(07):67-71.
- [4] 陈坤,么福兴,马克任,等.压力容器大钝边埋弧焊工艺选择[J].焊接技术,2021,50(S1):61-64.
- [5] 张治国,张丹丹.热力管道裂纹修复用 A-TIG 焊活性剂研制[J].焊管,2021,44(01):9-13.
- [6] 张治国,张丹丹.手工活性 TIG 焊修复热力管道裂纹的成型工艺参数分析[J].四川冶金,2022,44(03):5-8+20.
- [7] 彭小洋,凌泽民,廖娟,等.活性 TIG 焊的研究进展[J].机械工程材料,2013,37(08):1-4+58.
- [8] 张瑞华,王海涛,王荣,等.低碳钢管子全位置 A-TIG 焊接法[J].焊接学报,2010,31(06):13-16+113.
- [9] 萨维茨基,苗玮.管道接头全位置活性焊剂焊接技术[J].航空制造技术,2006(07):83-85.

责任编辑:刘思阳