

# X65+N06625复合管TIP TIG焊接方法及质量提升

刘波 陈坤 杨洪平 呼晓伟 宋凯 张连爽

(海洋石油工程股份有限公司 天津市滨海新区 300452)

**[摘要]** 在海洋石油开采领域, 钢结构制造过程中经常面临复合材质管线的焊接。X65+N06625复合管以其独特的性能作为一种广泛应用的复合材料管线。本文旨在通过对X65+N06625复合管焊接过程的细致梳理, 包括焊接方法、材料选择、工艺优化以及具体的操作技巧, 全面总结提升管道焊接的合格率, 确保焊接质量, 延长产品寿命。通过深入分析焊接中的各种关键因素, 能够进一步优化焊接流程, 减少焊缝稀释和避免焊接缺陷的产生。此外, 文中还探讨不同焊接层的操作细节, 如固定焊、打底焊、填充焊和盖面焊, 并强调在整个焊接过程中应注意的其他重要事项, 进而显著提高复合管焊接的合格率, 确保焊接结构的质量稳定性及延长产品的使用寿命。

**[关键词]** 复合管X65+N06625; 焊接注意事项; 焊接过程控制

X65+N06625复合管因其出色的性能, 在深海水管汇生产中得到了广泛应用。在实际施工过程中, 会遇到不同直径、不同规格的管线焊接任务。本文选取 $\Phi 508 \times (31.9+3)$  mm管线的5G焊接位置为研究对象, 对焊接工艺的选择、定位焊、封底焊、填充焊及盖面焊等各个阶段的焊接操作技巧进行了深入的分析与讨论。详细阐述了每个焊接阶段的操作要点, 包括如何精确进行定位焊以实现管线的稳固对接, 封底焊时对内部充气保护和氧含量控制的重要性, 填充焊和盖面焊时对焊缝形成质量的关注, 以及整个焊接过程中的温度、热输入和层间清理等关键参数的控制。此外, 文中还特别强调了在焊接复合管时需要注意的事项, 如坡口准备、焊接材料的挑选、焊接前后的检查以及返修工艺的执行标准等, 旨在通过这些综合措施来确保X65+N06625复合管的焊接质量达到最高标准, 从而延长其在恶劣海洋环境中的使用寿命。

## 1 X65+N06625复合管性能分析

X65+N06625复合管是一种以碳素钢为基管, 在其内表面堆焊了一层厚度通常为2-3mm的镍基耐蚀合金制成的复合材料管线。这种结构不仅成本低于不锈钢, 而且具备卓越的耐腐蚀性, 使其在石油和天然气工业等领域具有广泛的应用潜力。该复合管由基层X65和复层N06625组成。基

层X65钢管拥有良好的塑性和韧性, 广泛用于构建各类管道。而复层N06625则提供出色的抗腐蚀性能。鉴于基层与复层在化学成分、物理及力学性能上的显著差异, 复合管的焊接过程属于异种钢焊接, 这在技术上是具有挑战性的。在焊接过程中, 温度升高会导致线膨胀系数差异增大, 并且基层对焊缝金属的稀释作用可能会削弱复层的耐蚀性能, 甚至引发马氏体转变, 从而产生焊接裂纹。

为了确保X65+N06625复合管的焊接质量, 必须严格要求焊接方法、工艺选择和操作技术。这包括采用适合的焊接技术和参数, 精确控制热输入, 以及在焊接过程中实施有效的操作手法, 从而最大程度地减少焊缝稀释和避免焊接缺陷的产生。通过这些细致入微的措施, 可以显著提升复合管焊接的合格率, 并确保其在恶劣环境下的长期可靠运行。

## 2 焊接方法的选择

对于 $\Phi 508 \times (31.9+3)$  mm管线, 选用的是TIP TIG焊接方法。TIP TIG焊接是在传统的TIG焊接技术基础上改进而来的, 它增设了一个高频振动的自动送丝装置。这一创新使得焊丝在向前送出时具备了高频线性振动的特性, 该振动能够

**作者简介:** 刘波(1980-), 男, 四川巴中人, 电焊工特级技师, 主要从事海洋装备水下产品焊接方面工作。

有效地搅拌熔池，破坏金属熔池及熔滴的表面张力，从而显著提升了熔敷速率<sup>[1]</sup>。此外，这种振动还有助于熔池中的气体和杂质更容易逃逸，同时使焊丝在进入熔池之前就被加热至接近熔化的状态，减少了对电弧能量的吸收<sup>[2]</sup>。由于TIP TIG焊接可以独立控制焊丝预热和焊接电弧的能量，这样就能够精准调节焊接熔池的热输入，进而更好地确保了焊接质量和焊缝的外观成型。

### 3 焊接材料的选择

在TIP TIG焊接过程中，选择合适的焊丝对于确保X65+NO6625复合管的焊接质量至关重要。本文采用的Filler Metal 625镍基合金焊丝，这种焊材不仅化学成分和机械性能与X65+NO6625复合管相兼容，而且能够提供卓越的抗腐蚀性能，这一点对于海洋石油等高腐蚀环境中的应用尤为重要。使用Filler Metal 625镍基合金焊丝进行焊接时，所得焊缝不仅具备良好的机械强度，还能有效抵抗氯化物应力腐蚀开裂（CSCC）和点蚀等常见的腐蚀形式。因此，它显著增强了管道在含盐水质、高温高压及其他恶劣条件下的使用寿命和结构可靠性。

### 4 坡口型式的选择

在焊接X65+N06625复合管的基层和复层时，统一采用了Filler Metal 625镍基合金焊丝，这种焊材不仅能够与复合管的材质良好匹配，而且能够满足整体焊接性能的要求。为了实现高质量的焊接连接，选择了常用的V型坡口设计，其坡口角度为 $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 。TIP TIG焊接过程中对钝边的要求非

常严格，否则极易造成焊接背部成形不佳。本项目中钝边的宽度应控制在0.5-1mm之间，组对间隙保持在2-3mm。这些精确的尺寸控制有助于确保焊接过程中的熔透和根部焊道的形成。对于具体的坡口型式及组对要求如图1所示。该图展示了V型坡口的详细尺寸和形状，为焊接操作提供了清晰的视觉指导。

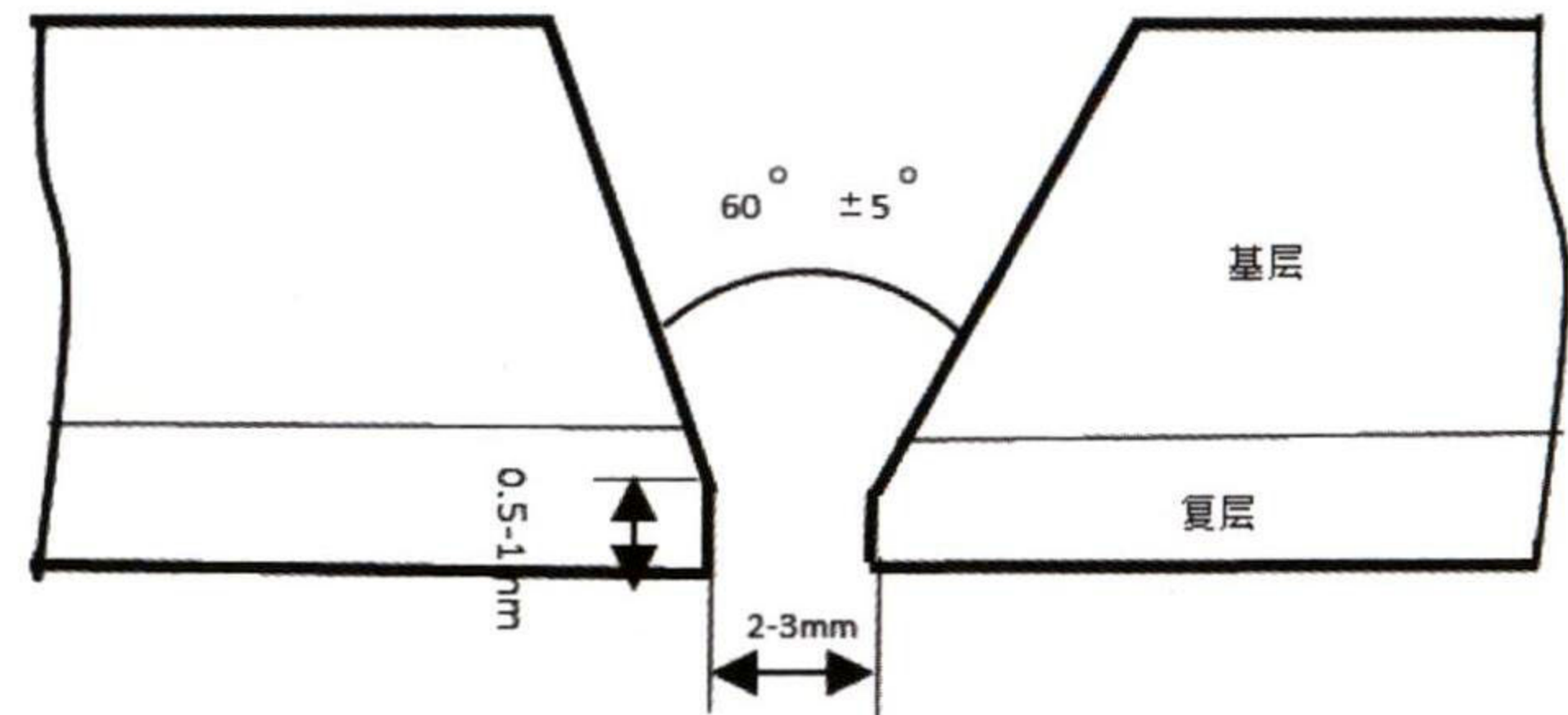


图1 坡口型式及组对要求

### 5 焊接工艺参数

为确保X65+N06625复合管在TIP TIG焊接过程中的高质量，通过细致调整了封底、填充和盖面各个阶段的焊接参数，经过一系列严格的焊接工艺评定测试，最终确定了能够达到最佳焊接效果的工艺参数，详见表1。表1列出的焊接参数包括电流、电压、气体流量、热输入等关键指标，这些都是影响焊接质量和焊缝成型的重要因素。通过精确控制这些参数，能够在不同焊接阶段获得理想的熔池形态和焊缝外观，同时确保焊接接头的机械性能满足设计要求。

表1 焊接工艺参数表

焊接层数	焊接方法	极性	焊材牌号	焊丝直径 (mm)	焊接电流(A)	焊接电压 (V)	气体流量 (L/min)	热输入(KJ/mm <sup>2</sup> )
Root	TIP TIG	DC(-)	Filler Metal 625	0.9	100-140	10-13	8-12	1.6-1.8
Hot	TIP TIG	DC(-)	Filler Metal 625	0.9	150-190	11-14	8-12	1.5-1.7
Fill	TIP TIG	DC(-)	Filler Metal 625	0.9	170-240	11-14	8-12	1.1-2.0
Cop	TIP TIG	DC(-)	Filler Metal 625	0.9	160-190	11-14	8-12	1.0-1.6

### 6 焊接操作方法及要点控制

在X65+N06625复合管的TIP TIG焊接过程中，焊工的操作技巧对焊接质量有着决定性的影响。焊工的技能水平不足或操作手法不当都有可能造成焊缝中出现各种缺陷，如气孔、夹渣、未熔合等，这些问题会直接影响到焊接接头的质量与性能。针对5G位置的TIP TIG焊接，下面将详细分析固定焊、打底焊、填充焊和盖面焊这四个焊接层

次的操作方法和应注意的事项。

#### 6.1 固定焊

管道的固定焊是一个至关重要的步骤，在进行这一过程时，必须确保管子的对接间隙均匀，并且错边量要严格控制在允许的范围内。5G位置固定焊采用4点对应固定法来实现管道的稳定对接，这些固定点分别位于时钟位置的11点、5点、1点和7点处。使用的是“夹块”方法来进行临时焊接

点的固定。这些夹块可以选用不锈钢材质或者是与母材相同材质制成。采用夹块进行固定的好处在于不仅可以省去背部充气的需要，还能提高焊缝组对的效率。

在进行固定焊之前，焊工需要细致地检查多个关键因素。这包括确认管径尺寸和错边量的精确性、坡口打磨是否满足焊接标准，以及确保焊缝25mm范围内无油污、锈迹等污染物的存在。此外，根部间隙的大小也需严格控制，以保证后续焊接的高质量完成。固定焊的效果如图2所示，为焊工提供了清晰的视觉指导，确保固定焊工作的准确性和高效性。



图2 固定焊效果图

## 6.2 打底焊

打底焊的目的是保证根部焊透，是中厚高强度钢焊接过程中最为重要的一环，为后续的填充和盖面焊打下基础，对整条焊缝的质量和焊接接头的性能起决定性作用<sup>[3]</sup>。操作时需控制好焊接参数和焊接速度，保持熔池流动平稳，避免烧穿和未焊透。焊丝送进要均匀，以保证焊缝成型美观且无夹渣。在进行打底焊之前，应对管线内部进行充气保护，并严格控制管内的氧气含量。只有在氧气含量降至500PPM以下时，才能开始焊接作业。焊接应采用立向上的方式，即从6点位置起弧，并在12点位置收弧。钨极的伸出长度应保持在8-10mm之间，钨极与焊丝间距应控制在1.0-1.5mm之间，而焊枪与管切线的角度应在75°到80°之间。

在仰焊位置起弧时，需要在距离坡口根部3mm的位置引燃电弧，并在坡口内左右采用点焊法，使两侧形成“搭桥”，然后压低电弧，使焊

枪左右微摆，保证焊丝能够均匀送进。为了保障背部穿透的高度，行走速度和摆动幅度必须保持一致，这样才能形成高度、宽度均匀的焊缝。当焊接至“夹块”处时，需熄灭电弧，并用砂轮机打磨掉“夹块”。接着对熄弧处打磨出30°的坡槽状，以便实现接头的完美连接。在打磨接头时需注意不要损伤坡口边缘和钝边，避免在焊接该位置时出现背部焊缝过高或焊瘤等缺陷。

再次引弧时，应在坡槽后方5-10mm的位置引燃电弧。引弧后不要急于按下送丝按钮，而是等电弧的温度将焊缝金属熔化后，左右摆动至两侧母材完全熔合再开始正常送丝和焊接行走。当焊缝到达12点位置时停弧（也可多焊接10-20毫米后再停弧）。停弧后同样要将接头提前打磨成坡槽状，以便在封口时无需再次停弧。

最后，在封口焊接接近完成时，要压低电弧以确保打底焊的成型效果。打底焊背部成型效果如图3所示，为焊工提供了直观的参考标准，确保焊接质量符合预期。

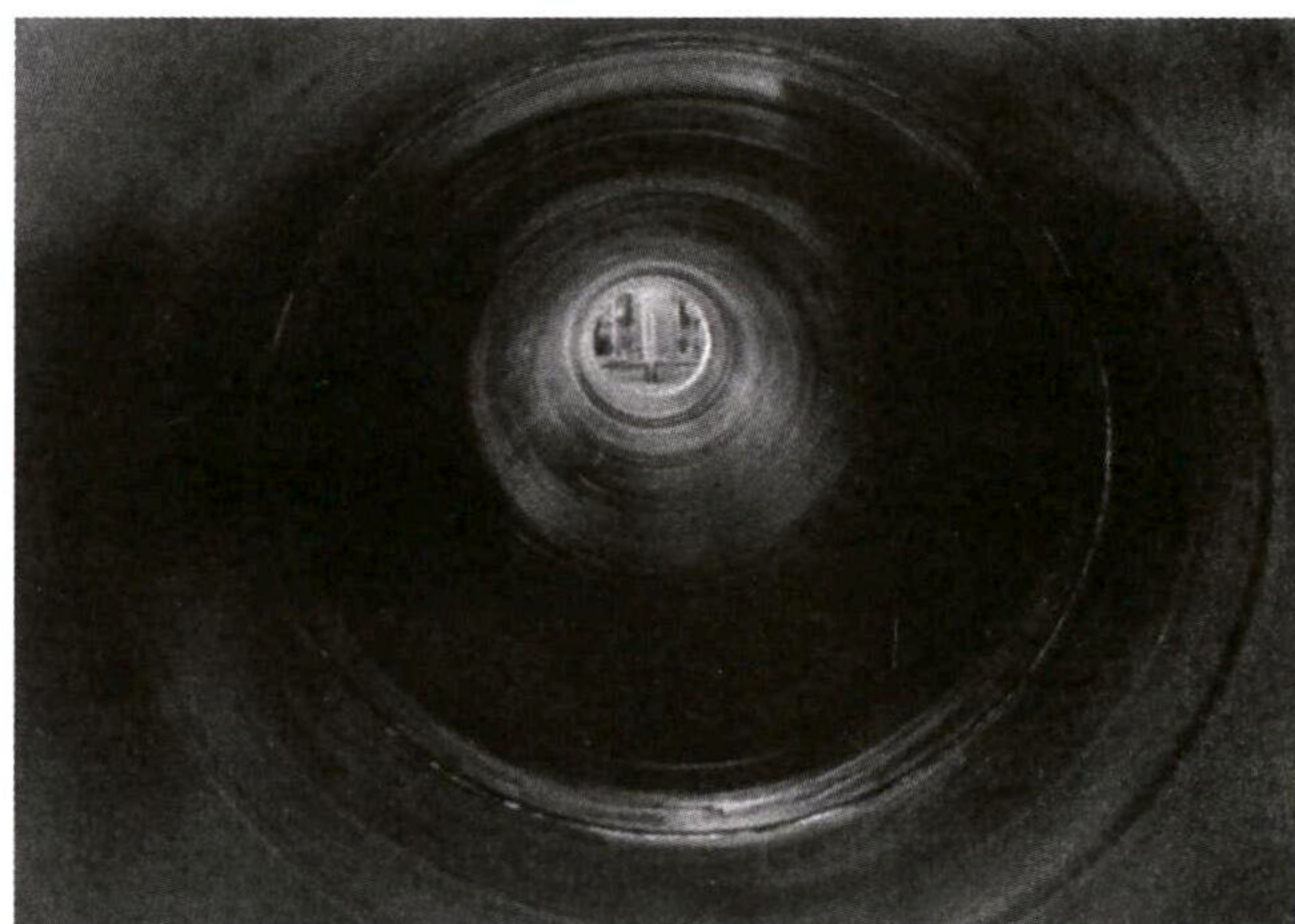


图3 打底焊焊缝背部成型效果

## 6.3 填充焊

在进行填充焊时，要密切观察熔池的状态和焊缝的成型情况，以便及时调整焊接参数，确保焊接质量。在开始每一层的填充焊接之前，应使用不锈钢碗刷或专用钢丝刷对前一层的焊缝表面进行彻底清理。这一步骤至关重要，因为它可以去除上一层焊缝表面析出的溢出杂质及氧化膜，从而避免夹渣和未熔合等缺陷的产生。

起弧之后，应先让电弧将焊道和母材完全熔化，形成良好的熔合之后再按下送丝按钮开始填充焊。填充焊的成型效果如图4所示，图中清晰展

示了填充焊的理想外观，为焊工提供了直观的参考标准，有助于实现高质量的焊接成果。

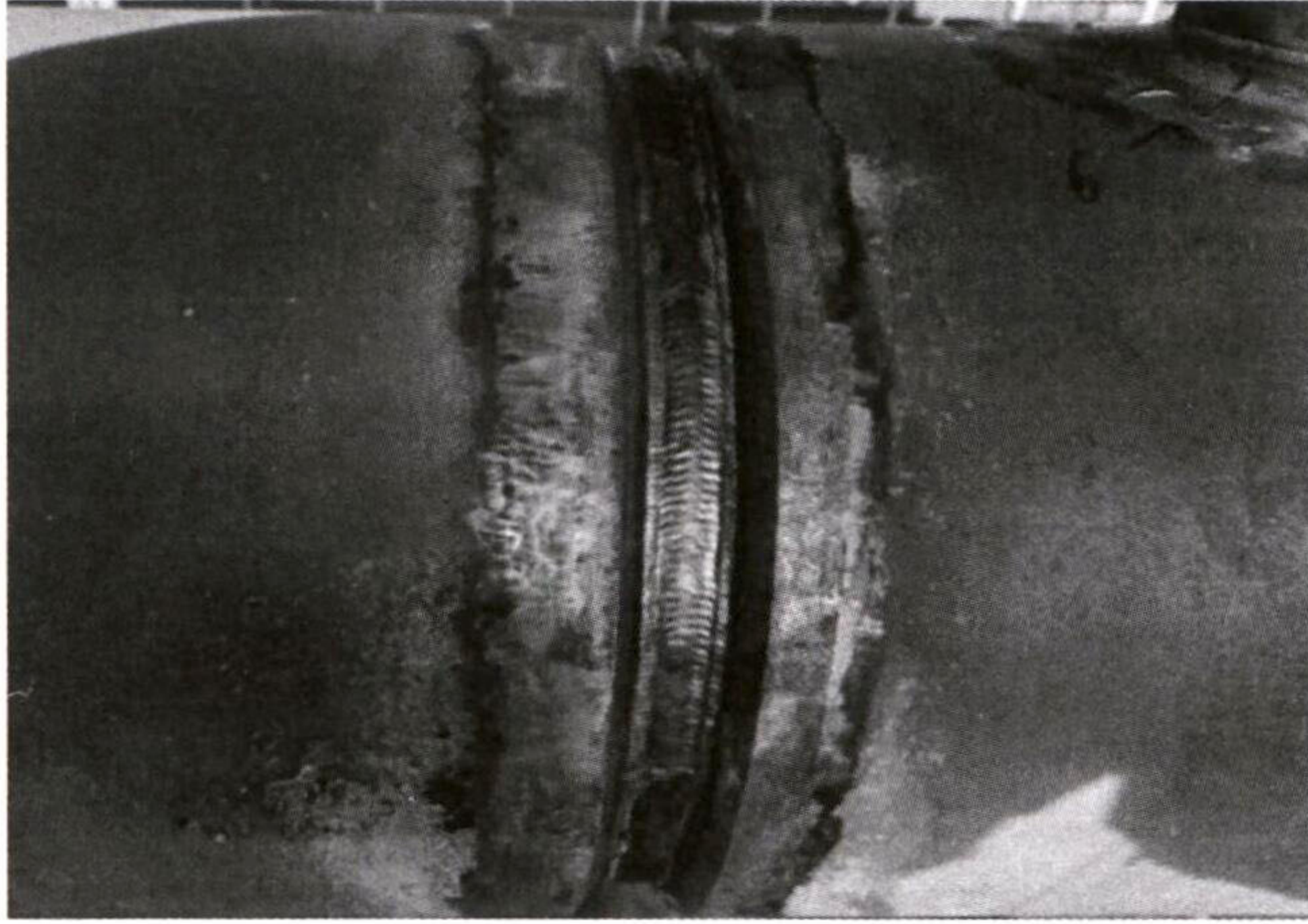


图4 填充焊焊缝成型效果

#### 6.4 盖面焊

盖面焊不仅要确保焊缝的完整性和密封性，还要特别注意焊缝表面的光滑度和均匀性。在进行盖面焊之前，同样需要使用不锈钢碗刷或专用钢丝刷将前一层的焊道彻底清理干净，以移除任何可能影响表面质量的杂质和氧化物。在盖面焊的过程中，每道焊缝的起弧点和收弧点应错开大约10mm，可以避免每道焊缝的起弧位置和收弧位置重合，可以减少应力集中<sup>[4]</sup>。盖面焊过程中要保证层间温度，以防止过热影响材料性能。

在操作上，盖面焊时钨极的伸出长度应调整为5-6mm，而焊枪与工件的角度应维持在80°到85°之间，操作方法与填充焊时保持一致。盖面焊成型效果如图5所示。

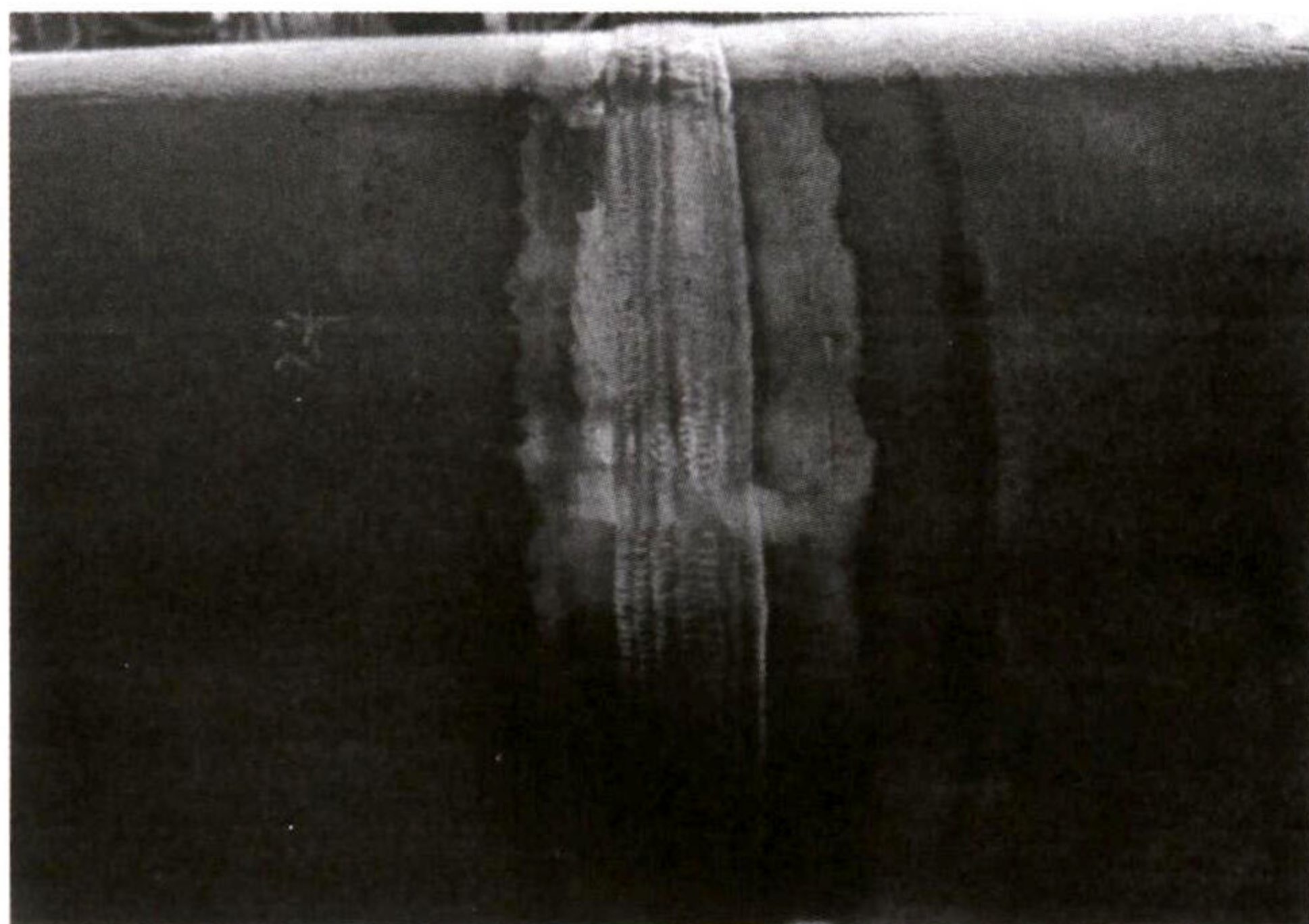


图5 盖面焊焊接成型效果

#### 7 其它注意事项

(1) TIP TIG焊对坡口的清洁要求较高，坡口两侧25mm内要确保无油、污、锈迹等。为了达到这一要求，需要使用不锈钢碗刷或专用钢丝刷进行基层的清理，以确保其表面干净无杂质。同时对于覆层的清理，应使用抛光片，以避免覆层出现过度打磨现象，影响焊接质量。

(2) 复合管封底时，要使用测氧仪来确保氧含量不超标，从而避免背部焊缝成型效果和焊缝氧化现象，在封底完成后背部要继续充气保护，最少要在填充焊达到8mm后才能停止背部的保护气体。

(3) TIP TIG焊为半自动送丝系统，一般情况下不会出现气孔缺陷。但如果出现了气孔，需要及时检查气体压力和气带是否有破损。在焊接过程中，如果发现焊缝中出现气孔，需要立即停止焊接，使用砂轮机将气孔清除干净后再继续焊接，以确保焊接质量。

(4) 焊工在焊接完成后，需要对焊缝进行自检，确保焊缝表面无咬边、未熔合等焊接缺陷，焊缝成型状况良好，与母材圆滑过渡。

(5) 对于焊接完成后的焊缝，需要进行射线检测。如果检测后的焊缝出现返修状况，需要严格按照返修工艺进行返修，以确保焊接质量。

#### 8 小结

本文深入探讨了X65+N06625复合管焊接过程中的关键因素，包括焊接方法、材料选择、工艺优化和操作技巧。详细分析了固定焊、打底焊、填充焊和盖面焊等步骤，并强调了整个焊接过程中需要注意的其他重要事项。通过这些措施，可以显著提高复合管焊接的合格率，确保焊接结构的质量稳定性，延长产品的使用寿命，为复合管焊接提供了一定的技术帮助。

#### ◆参考文献

- [1]徐玉强,徐晓明,许可望,等. TIP TIG焊接技术在双金属复合管海底管道铺设中的应用(上)[J]. 金属加工(热加工),2013(6):18-19.
- [2]姚学全,闫臣,郭静薇,等. 双金属复合管自动焊技术现状及展望[J]. 电焊机,2018,48(4):33-35,46.
- [3]苗玉刚,马照伟,赵慧慧,等. 高强钢旁路热丝等离子弧打底焊接接头组织和性能[J]. 焊接学报,2019,40(1):99-103.
- [4]饶秀平,王学鹏. 球磨机大齿轮断齿焊接修复探索与应用[J]. 当代化工研究,2021(18):38-40.