深熔 TIG 焊接工艺在低温压力容器产品中的应用

林淼

张家港中集圣达因低温装备有限公司　江苏　张家港　215600

摘要：系统阐述了深熔（钨极惰性气体保护焊，氩弧焊是其最常见的应用形式，以氩气为保护气）TIG 焊接技术在低温压力容器制造中的应用现状、技术优势以及能为企业带来的绿色效益。相比行业内普遍采用的传统焊接工艺存在的工序多、能耗高、环境污染大、劳动强度大等问题，深熔 TIG 焊接技术通过单面焊双面成型、无需开坡口、自动化程度高等特点。实现了焊接效率提升、工序成本降低、对生产环境友好，结合企业实际生产数据与工艺测试结果，分析了深熔 TIG 焊接在节能减排、职业健康、生产效率等方面的综合效益，并对未来在低温压力容器行业中的推广应用提出建议。

关键词：深熔 TIG 焊接　低温压力容器　绿色制造　工艺优化

Application of Deep Fusion TIG Welding Process in Low Temperature Pressure Vessel Products

Lin Miao

Zhangjiagang CIMC Shengda Yin Low Temperature Equipment Co., Ltd., Zhangjiagang 215600

Abstract：Systematically expounds the application status，technical advantages，and green benefits that TIG welding technology can bring to enterprises in the manufacturing of low-temperature pressure vessels.Compared with the traditional welding processes commonly used in the industry，which have problems such as multiple processes，high energy consumption，severe environmental pollution，and high labor intensity，the deep melting TIG welding technology achieves an increase in welding efficiency，reduction in process costs，and friendliness to the production environment through features such as single-sided welding and double-sided forming，no need for groove opening，and high automation.Based on the actual production data of the enterprise and the results of process tests，the comprehensive benefits of deep melting TIG welding in terms of energy conservation and emission reduction，occupational health，and production efficiency are analyzed，and suggestions for its future application in the low-temperature pressure vessel industry are proposed.

Keywords：Deep penetration TIG welding；Low temperature pressure vessels；Green manufacturing；Process optimization

随着国家发展战略“绿色与低碳”的深入推进，低温压力容器制造行业，正面临转型升级、绿色低碳的关键时期。在低温压力容器制造行业普遍采用的传统焊接工艺如埋弧焊、等离子焊接等，虽然技术成熟，但在环保、能耗、使用成本、职业健康等方面存在极为明显短板。尤其是在低温压力容器制造中，对焊接质量、材料性能和环保性能要求极高，急需一种高效率、高清洁、低成本的焊接新工艺。

深熔 TIG 焊接工艺，作为一种新型的高效氩弧焊接方法，具有焊接速度快、输出能量大、板材变形小、焊接过程无烟尘无噪声等特点[1]，非常适用于不锈钢材料的焊接，特别适用于低温压力容器制造中大型低温储罐（采用中厚板）单面焊双面成型工艺。自 2023 年起，在低温压力容器制造行业开始初步引入深熔 TIG 焊接技术，并在后续反复实践中，实现了逐步替代传统焊接工艺，取得了显著的经济效益与环境效益。

1　传统焊接工艺存在的问题

1.1　埋弧焊接工艺分析

在低温压力容器制造行业中，特别是中大型储罐制造中，普遍采用传统埋弧焊接工艺，适用于 8 mm 以上不锈钢板材。该工艺虽然焊接质量稳定，但存在以下问题：

（1）工序繁多：中大型储罐产品焊接前，需提前开坡口→筒体内部焊接→筒体外部清根→筒体外部打磨→筒体外部焊接等多道工序组合完成，制造周期长、效率低、用工时间长、作业强度大。

（2）环境污染：采用传统埋弧焊接工艺，焊接过程中会产生大量焊接烟尘、焊接弧光、焊接噪声，对操作人员健康造成风险，存在极大职业健康风险。

（3）能耗高：在保障焊接质量的前提下，需要使用多种设备组合使用，如行车、刨边机、气刨焊机、空压机等，造成工序内电能消耗大，大幅推高生产成本。

（4）劳动强度大：用传统埋弧焊接工艺完成

焊接后，需采用碳弧气刨工艺完成清根作业，碳弧气刨工艺作业环境恶劣，存在极大气刨烟尘、火花飞溅、噪声超标等安全风险。

1.2 等离子+TIG焊接工艺分析

等离子 +TIG 焊接工艺，该工艺为成熟焊接工艺，虽然焊接质量稳定，但其焊接能力主要针对 8 mm 以下不锈钢板材。虽能实现 8 mm 以下不锈钢板材单面焊双面成型能力，但仍存在焊接速度慢、设备维护成本高、对操作人员技术要求高等问题。

2 深熔TIG焊接技术原理与技术优势

2.1 技术原理

深熔 TIG 焊接工艺是在传统 TIG 焊接基础上，通过优化焊枪结构与电弧控制，实现电弧压缩与熔池动态平衡，形成“锁孔”效应，实现中厚板一次焊透。其电弧为压缩态，能量密度高，熔深大，特别适用于 8~12 mm 不锈钢、钛合金等材料的焊接 [2]。

2.2 技术优势

焊接效率提升：焊接速度可达 360~430 mm/min，是等离子 +TIG 焊接工艺的 1.6 倍。

焊接质量提升：实现 8~12 mm 不锈钢板材单面焊双面成型，焊缝美观，X 射线合格率超 99% 以上。

生产过程低能耗：实现 8~12 mm 不锈钢焊接，无需开坡口→筒体内部焊接→筒体外部清根→筒体外部打磨→筒体外部焊接等多道工序组合完成，节约电能约 53.5%。

绿色环保：深熔 TIG 焊接工艺，实现焊接过程无烟尘、无噪声、弧光影响小，符合绿色制造要求。

自动化程度高：采用 PLC+ 触摸屏控制系统，操作简单，培训周期短。

3 深熔TIG焊接的应用实践

3.1 设备配置与系统集成

在制造中大型低温储罐过程中，研发引进了“内筒体深熔 TIG 纵缝焊接系统”与“内筒体深熔 TIG 环缝焊接系统”，系统配置如下：

（1）内筒体纵缝焊接系统：采用双枪配置，前置深熔 TIG 焊枪，后置盖面 TIG 焊枪带摆动功能，采用筒体内纵缝焊接工艺，外置筒节支撑工装实现产品直径 2400~4200 mm 全覆盖。

（2）内筒体环缝焊接系统：采用筒体外环缝焊接工艺，前置深熔 TIG 焊枪，后置盖面 TIG 焊枪带摆动功能，配备十字型操作机、30 吨自调试滚轮架覆盖 2400~4200 mm 直径产品。

（3）控制系统：西门子 PLC+ 触摸屏控制、弧压跟踪、焊接熔池视频监控等焊接控制模块，实现焊接参数智能调节与过程监控。

3.2 工艺测试与质量控制

通过对 8~12 mm 不锈钢试板进行焊接试验，经射线（RT）检测、力学性能试验（拉伸、弯曲、冲击）验证，各项指标均符合美国机械工程师协会标准（ASME）、国家标准（GB）等标准要求，焊缝成型美观，无夹渣、无气孔等缺陷。

3.3 经济效益分析

以低温压力容器中大型储罐为例，深熔 TIG 焊接工艺实施后，以 150 m^3 低温压力容器产品为测算示例，收益约 4389 元，如表 1 和表 2 所示。

表 1 改善前（埋弧焊接）单台产品成本

作业内容	总作业时间 / min	周转时间 / min	工作时间 / min	电能耗 / KWH	耗材成本 / 元	合格率，%	安全环保	成本 / 元
刨边开破口	640	320	320	144		/	吊装 36 次、噪声	3116
内纵焊 1 道	184	40	144	36			吊装 16 次	1137
纵 1 层碳弧气刨清根	64	16	48	15.2	246		粉尘、噪声	312
清根后打磨	16	/	16	0.53			粉尘、噪声	75
外纵焊 1~3 道	200	40	160	40			吊装 16 次	969
内环焊 1 道	184	40	144	36			吊装 1 次	2477
外 1 层碳弧气刨清根	136	16	120	30	1586	97%	粉尘、噪声	661
清根后打磨	56	/	56	1.87			粉尘、噪声	263
外环焊 1~3 道	304	40	264	66			吊装 1 次	1478
总计	1784	512	1272	369.6	1832			10488

表 2 改善后（深熔焊接）单台产品成本

作业内容	总作业时间 /min	周转时间 /min	工作时间 /min	电能耗 /kWH	耗材成本 / 元	合格率，%	安全环保	成本 / 元
深熔焊接纵缝	440	40	400	100	111	99.00%	吊装 16 次	2254
深熔焊接环缝	328 × 2 人	40	288 × 2 人	72	721	98%	吊装 2 次	3847
总计	1096		976	172	832			6101

按公司年产 300 台 150 m^3（＞ 150 m^3 同步纳入，优势更明显）低温压力容器产品作为测算依据，年度改善收益达 131.67 万元，研发投资回收期小于 1.5 年。

研发引进深熔 TIG 焊接工艺，实现公司效益：

（1）生产过程成本节约：实现焊接材料、能源消耗、人工成本降低 41.8%；

（2）生产过程效率提升：总作业时间减少 38.6%，吊装次数大幅减少 74.2% 操作人员安全得到保障；

（3）产品质量提升：合格率提升≥ 99%，产品返工率大幅下降。

4 绿色制造与职业健康收益

4.1 环保收益

深熔 TIG 焊接工艺，焊接过程中实现无烟尘、无噪声、弧光辐射低，大幅降低企业环保能力压力 [3]。

4.2 职业健康改善

采用传统埋弧焊接工艺，碳弧气刨清根作业中，烟尘含有大量有害物质，易引发现场焊接人员职业疾病。

深熔 TIG 焊接实现自动化作业，操作人员远离焊接区域，通过视频监控远程操作，大幅降低职业危害。

4.3 能源消耗节约

相比埋弧焊接工艺，深熔 TIG 焊接工艺在工序内实现电能消耗降低 53.5%，设备运行效率也明显提升 [4]。

5 未来发展方向与推广建议

深熔 TIG 焊接技术已完成内部成功应用，未来可在低温压力容器全行业推广，形成标准化工艺体系。

6 结束语

深熔 TIG 焊接工艺，以其高效、环保、质量稳定的特点，在低温压力容器制造中，展现出显著的技术优势与综合效益。深熔 TIG 焊接工艺的成功实践表明，该焊接工艺不仅能提升焊接质量与效率，还能重组生产流程最终实现工序内能源消耗大幅降低与环境污染改善、作业环境改善，符合国家绿色制造发展战略。未来，随着技术不断优化与行业推广应用，深熔 TIG 焊接工艺，有望成为低温压力容器制造行业的主流工艺，推动行业向绿色、智能、高效方向持续发展。

参考文献

[1] 霍佳玲 . 压力容器焊接工艺评定分析 [J]. 机械管理开发，2025，40（3）：229-231.

[2] 陈日昱，严晓君，田文博，等 .K-TIG 焊在应变强化 S30408 不锈钢压力容器上的试验研究 [J]. 电焊机，2022，52（10）：72-79.

[3] 冯东旭 . 压力容器·钢深熔 TIG 焊接工艺 [J]. 一重技术，2024（1）：36-38.

[4] 陈晶，徐成，金彦枫，等 . 超级双相不锈钢 S32750 深熔 TIG 焊接工艺研究 [J]. 石油化工设备 .2024，53（4）：65-69.