doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2026.02.003

试验研究

脉冲电流对347H不锈钢GMAW焊接接头微观组织和力学性能的影响

王喜平[1,2,3,4],朱小燕[1,2,3,4],李永都[1,2,3,4],王军杰[1,2,3,4],李义民[1,2,3,4]

(1.兰州兰石重型装备股份有限公司,兰州 730000;2.甘肃省压力容器焊接重点实验室,兰州 730000;3.甘肃省压力容器行业技术中心,兰州 730000;4.甘肃省大型板焊结构压力容器技术创新中心,兰州 730000)

摘　要:为探究熔化极气体保护焊(GMAW)在高温熔盐储罐工程中的适用性,针对347H不锈钢分别进行施加脉冲与不施加脉冲两种焊接工艺试验。利用光学显微镜与扫描电镜观察焊接接头组织,并对其力学性能等进行评估。结果表明:不施加脉冲的焊接接头存在夹渣缺陷,而施加脉冲的焊接接头未出现夹渣、气孔等缺陷;焊缝组织主要由柱状及树枝晶状奥氏体和析出相构成;不施加脉冲的焊接接头抗拉强度未达到工程应用要求,其焊缝区的冲击性能和侧弯性能均不合格;而施加脉冲的焊接接头在565 ℃下的高温拉伸性能(R_m≥139 MPa,$R_{p0.2}$≥360 MPa)与-196 ℃低温冲击性(≥31 J)能均满足GB/T 150—2024及制造相关工程技术要求。研究为GMAW焊接技术在不锈钢压力容器制造领域的可靠应用与质量保障提供了理论与试验支撑。

关键词:347H不锈钢;脉冲;熔化极气体保护焊;力学性能

中图分类号:TH142;TG444.7;TB302.4　　**文献标志码:**A

Effect of pulsed current on the microstructure and mechanical properties of GMAW welded joints of 347H stainless steel

WANG Xiping[1,2,3,4],ZHU Xiaoyan[1,2,3,4],LI Yongdu[1,2,3,4],WANG Junjie[1,2,3,4],LI Yimin[1,2,3,4]

(1.Lanzhou LS Heavy Equipment Co.,Ltd.,Lanzhou 730000,China;2.Key Laboratory of Pressure Vessel Welding in Gansu Province,Lanzhou 730000,China;3.Gansu Province Large Plate Welding Structure Pressure Vessel Technology Innovation Center,Lanzhou 730000,China;4.Gansu Provincial Pressure Vessel Industry Technical Center,Lanzhou 730000,China)

Abstract: To investigate the applicability of gas metal arc welding (GMAW) in high-temperature molten salt storage tank engineering, two welding process tests, with and without pulse application, were conducted on 347H stainless steel. The microstructure of the welded joints was observed using optical microscopy and scanning electron microscopy, and their mechanical properties were evaluated. The results show that the welded joint without pulse application exhibited slag inclusion defects, while the welded joint with pulse application showed no slag inclusion, porosity, or other defects; the weld microstructure mainly consisted of columnar and dendritic austenite and precipitated phases. In contrast, the welded joint with pulse application exhibited high-temperature tensile properties at 565 ℃ (R_m≥139 MPa, $R_{p0.2}$≥360 MPa) and low-temperature impact properties at -196 ℃ (≥31 J) that met the requirements of GB/T 150—2024 and related manufacturing engineering technical specifications. This study provides theoretical and experimental support for the reliable application and quality assurance of GMAW welding technology in the manufacturing field of stainless steel pressure vessels.

Key words:347H stainless steel; pulse; gas metal arc welding; mechanical properties

收稿日期:2025-10-20　**修回日期:**2026-01-05

基金项目:国家市场监督管理总局科技计划项目(2024MK129);甘肃省重点研发计划-工业类项目(24YGA018)

0 引言

347H不锈钢作为一种新型奥氏体耐热钢，已广泛应用于石油、化工、核能及太阳能热发电等多个工程领域[1-5]。采用347H不锈钢制造的某100 mW熔盐线性菲涅尔光热项目高温熔盐储罐，因现场制造工作量大，若沿用传统的焊条电弧焊，将面临生产效率低、难以满足工期要求的问题。为此，技术团队提出采用焊接效率更高的熔化极气体保护焊（gas metal arc welding，GMAW）进行该储罐内件的焊接作业。

在GMAW焊接相关研究中，EKAPUTRA等[6]探讨了焊接速度对316L奥氏体不锈钢力学性能的影响，结果表明，当焊接速度为175 mm/min时，GMAW接头适用于316L不锈钢。ZAMORA等[7]针对GMAW焊接在304不锈钢中的应用开展了研究，证实该焊接方法可使304不锈钢形成质量良好的焊缝。然而，以往研究多集中于1G平焊位置，其焊接难度相对较低，而关于GMAW不锈钢3G立焊位置的研究则较少。

前期研究发现，347H不锈钢采用常规GMAW焊接时，焊接过程中产生的熔渣、氧化物、氮化物或外来杂质未能完全从熔池中浮出，最终残留在焊缝金属内部或界面处，形成夹渣缺陷，这主要与熔池流动性、熔渣特性及操作工艺有关[8-11]。据此提出采用脉冲焊接方案，利用脉冲电流对熔池的搅动作用，促使夹渣及时上浮至熔池表面，从而减少缺陷的产生。

本文以347H不锈钢为研究对象，采用GMAW焊接工艺，以是否施加脉冲为变量，通过试验研究两种工艺下焊接接头的性能，以期为现场生产提供可靠的应用支撑，并积累347H不锈钢GMAW焊接工艺数据。

1 材料与方法

1.1 材料及其制备

焊接试板采用山西太钢不锈钢股份有限公司生产的347H轧制钢板，尺寸为600 mm×130 mm×17 mm，坡口形式为V型。焊材选用北京金威焊材有限公司生产的ER347H不锈钢药芯焊丝，直径为1.2 mm。母材及焊材的化学成分如表1所示，焊材与母材的基本力学性能如表2所示。

表1 母材及焊材化学成分

Tab.1 Chemical composition of base metal and welding material %

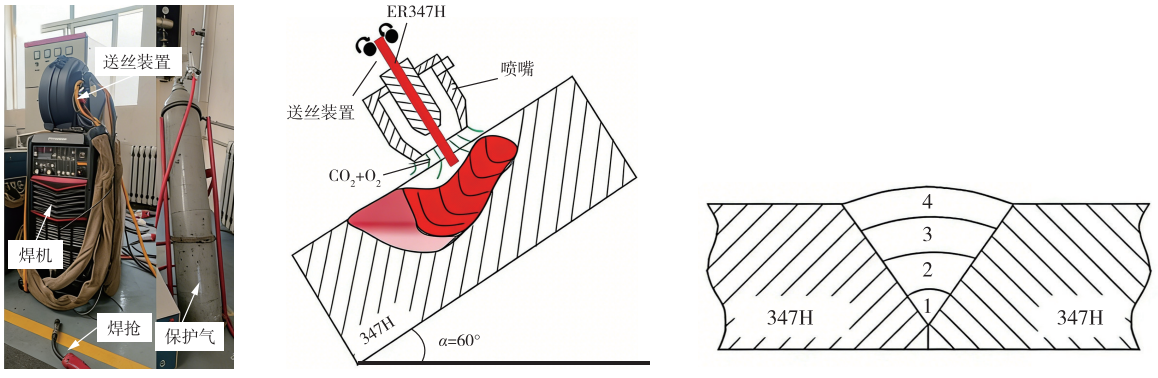
元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb+Ta	Mo	Cu
347H	0.050	0.54	1.14	0.033	0.001	17.40	9.10	0.61	—	—
ER347H	0.063	1.83	0.51	0.003	0.015	19.70	9.69	0.71	0.02	0.04

表2 室温下焊材和试板母材的力学性能

Tab.2 Mechanical properties of welding material and test plate base material at room temperature

参数	$R_{p0.2}$/MPa	抗拉强度/MPa
347H	>281	>650
ER347H	—	>550

焊接方法为熔化极气体保护焊（GMAW），焊机型号为YD-500GS6，所用焊接设备及焊接示意图如图1所示。焊接前需对坡口进行打磨和除油。保护气体为98%CO_2和2%O_2的混合气体，流量为17~22 L/min。焊接工艺参数如表3所示。



（a）焊接设备 （b）焊接示意图 （c）焊道示意图

图1 焊接设备及焊接示意

Fig.1 Welding equipment and welding schematic

表3 焊接工艺参数

Tab.3 Welding process parameters

参数	是否脉冲	焊接位置	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm·min^{-1})	最大热输入量/(kJ·cm^{-1})
试验一	否	3G(立向上)	160~220	18~22	70~150	41.5
试验二	是	3G(立向上)	160~220	18~22	70~150	41.5

注：脉冲峰值电流(I_p)范围为420~440 A，脉冲基值电流范围为50~70 A，脉冲峰值时间为530~800 μs，脉冲基值时间为2 000~4 000 μs，脉冲频率为140~200 Hz。

1.2 性能测试与表征

将试样的截面经研磨、抛光后，使用10%铬酸水溶液进行电解刻蚀。金相观察采用DME-300-M型光学显微镜；使用配备能量色散光谱仪(EDS)的ZEISS EVO/MA15扫描电子显微镜(SEM)进行元素分析及断口微观形貌观察。

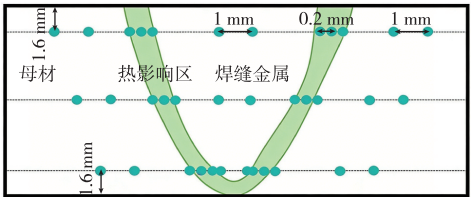


图2 硬度测试点位置分布

Fig.2 Distribution of hardness test point locations

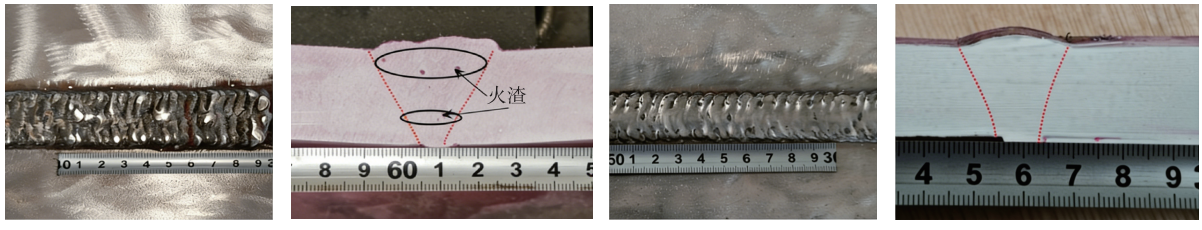
依据NB/T 47014—2023《承压设备焊接工艺评定》标准，使用HXD-1000TMB型数显硬度计对焊接接头截面进行维氏硬度(HV10)测试，并转换为布氏硬度(HB)，以云图方式进行表征分析，硬度测试点如图2所示。拉伸试验采用万能材料试验机(CMT5305)，以1 mm/min的速率匀速拉伸各试样，接头板状拉伸试样数量为2件。采用452H-3型金属摆锤冲击试验机对焊接接头三区进行-196 ℃夏比冲击试验，每组试验制备3个平行试样，取样位置为距上表面1.5 mm处。侧弯试样取样数量为4件。

2 结果

2.1 微观组织

图3示出3G立焊(立向上)两种焊接工艺下的焊缝宏观形貌。未施加脉冲的焊缝波纹不规则，成形粗糙，如图3(a)所示；施加脉冲的焊缝波纹均匀规则，焊缝成形良好，如图3(b)所示。未施加脉冲的焊缝在层间及熔合线部位均出现夹渣缺陷。施加脉冲电流后，通过“峰值熔化-基值保持”的循环，在基值阶段熔池温度降低、表面张力增大，可将熔池体积控制在较小且稳定的范围，避免了连续大电流导致的熔池过大与下垂问题，焊缝无气孔、夹渣等明显缺陷。

在熔化极气体保护焊中，脉冲电流可精准控制焊丝熔滴过渡，减少飞溅，同时使熔滴均匀进入熔池，避免因熔滴冲击过大导致的熔池紊乱，并防止气孔、未熔合等缺陷的形成。在峰值阶段，电弧能量集中、挺度高，对熔池产生强烈的搅拌作用，使熔池内的气体和夹杂物更易上浮逸出，从而降低气孔与夹渣的风险。

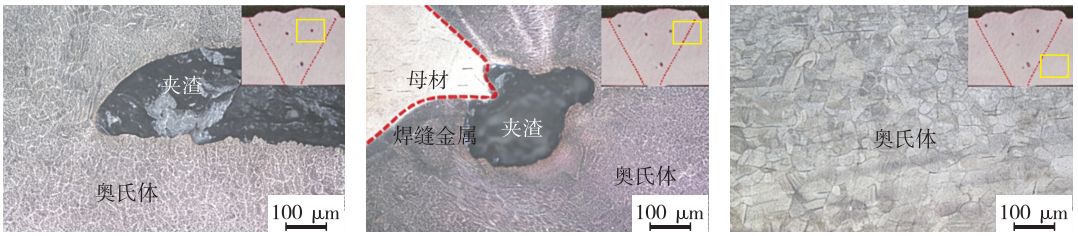


(a)不加脉冲 (b)加脉冲

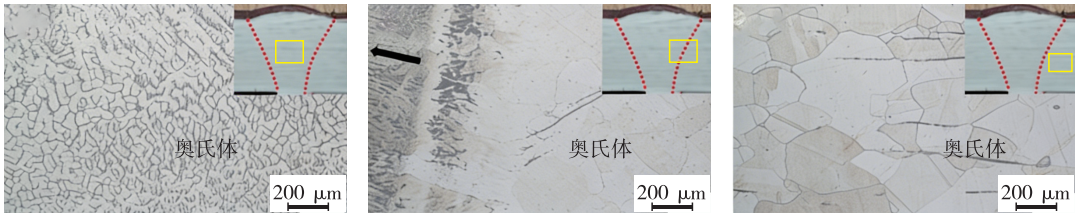
图3 焊缝宏观形貌

Fig.3 Macroscopic morphology of the weld

图4示出焊接接头的金相图。焊缝组织均为细小的奥氏体，母材和热影响区奥氏体晶粒尺寸较大。未施加脉冲时，在焊缝层间及坡口拐弯处出现直径约300 μm的夹渣缺陷，如图4(a)所示。这主要由于多层多道焊时，后一层焊接过程中熔池未能将前一层熔渣完全熔化，导致熔渣被包裹于两层焊缝之间；同时，当熔池流动性较差时，夹渣难以及时上浮。坡口存在拐角时，熔池金属流动性进一步降低，熔融金属难以充分填充该区域，熔渣容易在此处滞留。施加脉冲后，脉冲对熔池产生充分的搅拌作用，使夹渣能够及时上浮并溢出，从而避免夹渣缺陷的产生，如图4(b)所示。



(a)不加脉冲



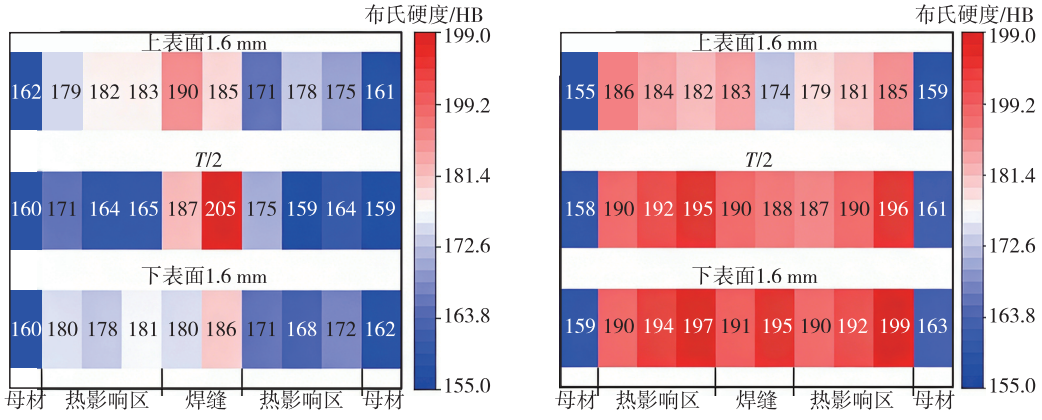
(b)加脉冲

图4 焊接接头金相图

Fig.4 Metallographic diagram of the welded joint

2.2 布氏硬度

图5示出焊缝的布氏硬度分布图。总体而言,施加脉冲的焊缝硬度略高于未施加脉冲的焊缝。未施加脉冲时,焊缝硬度平均值为185.6HB,热影响区硬度平均值为180.5HB;施加脉冲后,焊缝硬度平均值为188.8HB,热影响区硬度平均值为193.5HB。



(a)不加脉冲 (b)加脉冲

图5 焊缝布氏硬度分布图

Fig.5 Brinell hardness distribution diagram of the weld

施加脉冲的焊缝硬度略高,主要归因于晶粒细化及脉冲电流产生的周期性电磁搅拌作用:一方面促进枝晶断裂(电流焦耳热与洛伦兹力共同作用),另一方面增加形核率(瞬时过冷度较高)。AGHAYAR等[12]研究发现,脉冲电流可显著细化304不锈钢焊缝晶粒,从而提高焊缝的力学性能。

施加脉冲的焊接接头热影响区硬度较高,可归因于脉冲的热循环优势。未施加脉冲的焊接采用连续恒定电流,热输入集中且持续时间长,热影响区经历缓慢升温、高温停留时间长、缓慢冷却的热循环过程,过热区晶粒在高温下持续长大,形成粗大的奥氏体柱状晶或等轴晶,晶界面积减少,对变形的阻碍作用减弱,硬度降低。而脉冲GMAW通过峰值电流与基值电流的周期性切换,形成快速升温-快速冷却-短时保温的高频热循环:峰值电流阶段快速熔化母材,基值电流阶段迅速冷却,热影响区高温停留时间缩短,抑制奥氏体晶粒长大,形成细小的等轴晶;同时,高频脉冲的热冲击效应可诱发晶粒内产生亚晶界和位错,增加晶体缺陷密度,增强对原子滑移的阻碍作用,从而提升硬度。

2.3 拉伸性能

未施加脉冲的焊接接头抗拉强度仅为504 MPa，断裂位置为焊缝，其抗拉强度未达到工程应用要求的515 MPa。抗拉强度较低的原因可能在于拉伸过程中，焊缝中的夹渣易成为裂纹源，其核心机制是夹渣破坏了焊缝金属的连续性与完整性，通过“应力集中效应”和“材料性能劣化”的双重作用，使局部区域率先达到拉伸断裂阈值。焊缝中的夹渣通常呈不规则形状（见图4），且与焊缝金属的界面多为非融合性的锐利边界，类似于内部缺口。图6示出未施加脉冲的焊缝拉伸断口形貌，断口上可见大量夹渣黑点。放大分析发现，断裂源的尺寸与图4中夹渣的尺寸相近，因此可判定夹渣是拉伸过程的起裂源。施加脉冲的焊接接头抗拉强度为616 MPa，断裂位置为母材，说明该焊接接头的抗拉强度满足工程应用要求的515 MPa。

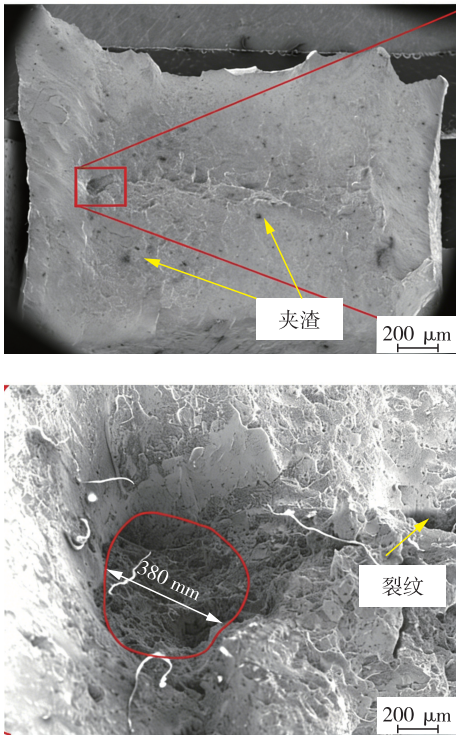


图6 不加脉冲的焊缝拉伸断口形貌

Fig.6 Tensile fracture morphology of the weld without pulse

为进一步验证施加脉冲后焊缝的性能，开展了全焊缝金属室温抗拉性能及接头高温抗拉性能研究，拉伸数据如图7所示。室温条件下，全焊缝金属试样（试样1）的塑性延伸强度（$R_{p0.2}$）为398 MPa，抗拉强度为628 MPa，屈强比为0.63。焊缝金属的抗拉强度略高于母材。

在565 ℃高温下进行焊接接头拉伸试验时（试样2），断裂位置为母材，$R_{p0.2}$为148 MPa，抗拉强度为402 MPa；在590 ℃高温下进行拉伸试验时（试样3），焊接接头的断裂位置同样为母材，$R_{p0.2}$为148 MPa，抗拉强度为396 MPa。上述高温抗拉强度均满足GB/T 713.7—2023《承压设备用钢板和钢带 第7部分：不锈钢和耐热钢》的验收要求。

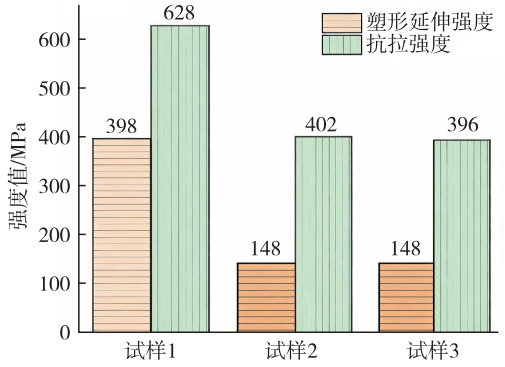


图7 施加脉冲的全焊缝抗拉性能和接头高温性能

Fig.7 Tensile properties of all-weld metal and high-temperature performance of the joint with pulse application

高温下抗拉强度降低，可归因于以下原因：高温为材料提供更多热能，有助于位错克服晶界、第二相粒子等障碍物的束缚；同时，温度升高加速微观组织演变，如第二相粒子长大，进一步减弱对位错运动的阻碍作用，使位错运动更易进行。

2.4 侧弯试验

焊缝侧弯试验是评价焊接接头性能的重要方法，主要用于检测弯曲时是否产生裂纹。侧弯试验结果如表4所示：未施加脉冲时，焊接接头侧弯后4件试样均判定为不合格；施加脉冲时，焊接接头侧弯后均判定为合格。

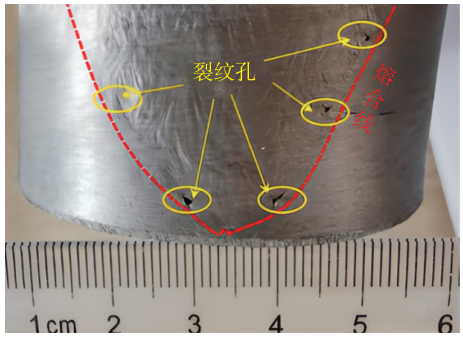
表4 侧弯试验结果

Tab.4 Side bend test results

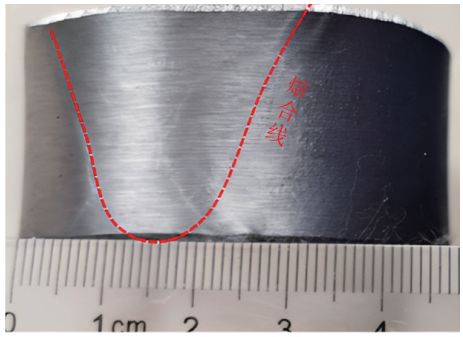
试验编号	是否脉冲	弯曲直径（D=4s）/mm	弯曲角度/(°)	判定结果
试验一	否	40	180	4件不合格
试验二	是	40	180	4件合格

侧弯后的焊接接头宏观形貌如图8所示。未施加脉冲的焊接接头侧弯后，在熔合线周围出现裂纹，裂纹尺寸为2~4 mm。这些裂纹源于焊缝中的夹渣：夹渣与基体金属之间不存在金属键结合，界面结合力极弱，甚至可能存在微小缝隙。侧弯试验时，焊缝区域需承受弯曲正应力（凸面受拉、凹面受压），应力优先在不连续的夹渣界面处集

中;若夹渣呈棱角状或片状,其尖端的应力集中效应更为显著,成为裂纹的起裂点。施加脉冲的焊接接头侧弯后,焊缝表面光滑,无裂纹等缺陷出现。



(a)不加脉冲



(b)加脉冲

图8 侧弯试验焊接接头宏观形貌

Fig.8 Macroscopic morphology of the welded joint after side bend test

2.5 低温冲击试验

为验证该焊接工艺下焊接接头的韧性,进行了-196 ℃的低温冲击试验。图9示出两种焊接工艺下焊接接头的-196 ℃低温冲击性能。施加脉冲的焊接接头焊缝冲击吸收功高于未施加脉冲的,未施加脉冲的焊缝冲击功均值为22 J,施加脉冲的焊缝冲击功均值为45 J。未施加脉冲时冲击功较低可归因于焊缝中夹渣缺陷的存在。夹渣破坏了焊缝金属的连续性与完整性,在冲击载荷作用下成为应力集中源,引发能量集中耗散而非材料塑性变形耗能,最终导致冲击功显著下降。未施加脉冲的热影响区冲击功略低于施加脉冲的,这是由于未施加脉冲时采用持续大电流焊接,焊缝热源对热影响区的影响较大;而施加脉冲电流通过"峰值熔化-基值保持"的循环,避免了连续大电流对热影响区的不利影响。

为进一步研究焊缝断裂行为,采用SEM对焊缝冲击断口形貌进行观察,如图10所示。未施加脉冲工艺的断口以脆性断裂为主,塑性变形极弱。从图10(a)可以看出,断口表面平整且存在明显贯穿裂纹,无显著塑性变形特征,说明断裂过程中材料几乎未通过塑性变形消耗冲击能量,属于低能量脆性断裂。局部放大A区可见,裂纹边缘无韧窝等塑性特征,断口呈解理面或沿晶断裂的平整形态,表明裂纹扩展时未遇到明显塑性阻碍;局部放大B区可见碎屑状、层状结构,无均匀分布的韧窝,且存在大量解理河流花样,进一步证明断裂以原子键直接断裂为主,塑性变形可忽略。

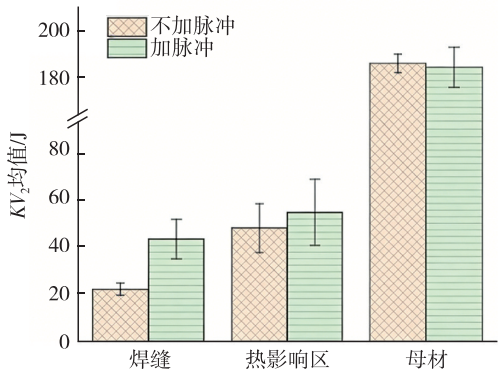
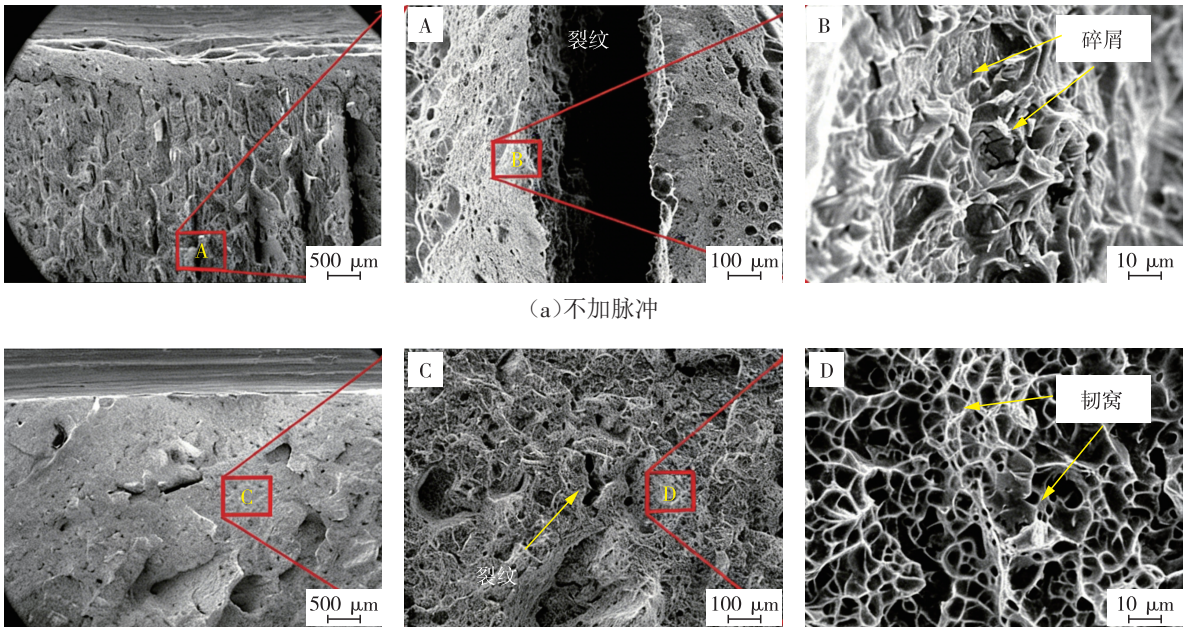


图9 -196 ℃冲击试验结果

Fig.9 Impact test results at -196 ℃

施加脉冲工艺的断口以塑性断裂为主,脆性特征消失。从图10(b)可以看出,断口表面粗糙且凹凸不平,伴随轻微塑性变形,说明断裂过程中材料通过大量塑性变形消耗了冲击能量,属于高能量塑性断裂。局部放大C区可见,裂纹边缘被大量韧窝包裹,裂纹扩展路径曲折迂回,表明裂纹扩展需克服塑性变形阻力;局部放大D区(断口表面)全域覆盖均匀、深大的韧窝结构,无脆性解理或沿晶断裂特征,直接证明断裂以塑性变形耗能为主。

采用扫描电子显微镜附带的能谱仪(EDS)对断口处的碎屑进行元素分析,结果如图11所示。未施加脉冲的焊缝断口碎屑中含有大量的Nb元素,而施加脉冲的焊缝断口中Nb含量相对较低。根据元素分析,未施加脉冲的焊缝金属中有大量NbC析出。这是由于未施加脉冲时,焊接热输入持续较大,熔池高温持续时间长,Nb和C的固溶量进一步增加,析出驱动力显著增大,导致NbC析出量增多、尺寸变大。NAFFAKH等[13]研究表明,大量连续的NbC析出会提高不锈钢焊接金属对凝固裂纹的敏感性,过量的析出对焊缝产生负面影响,应尽量避免。

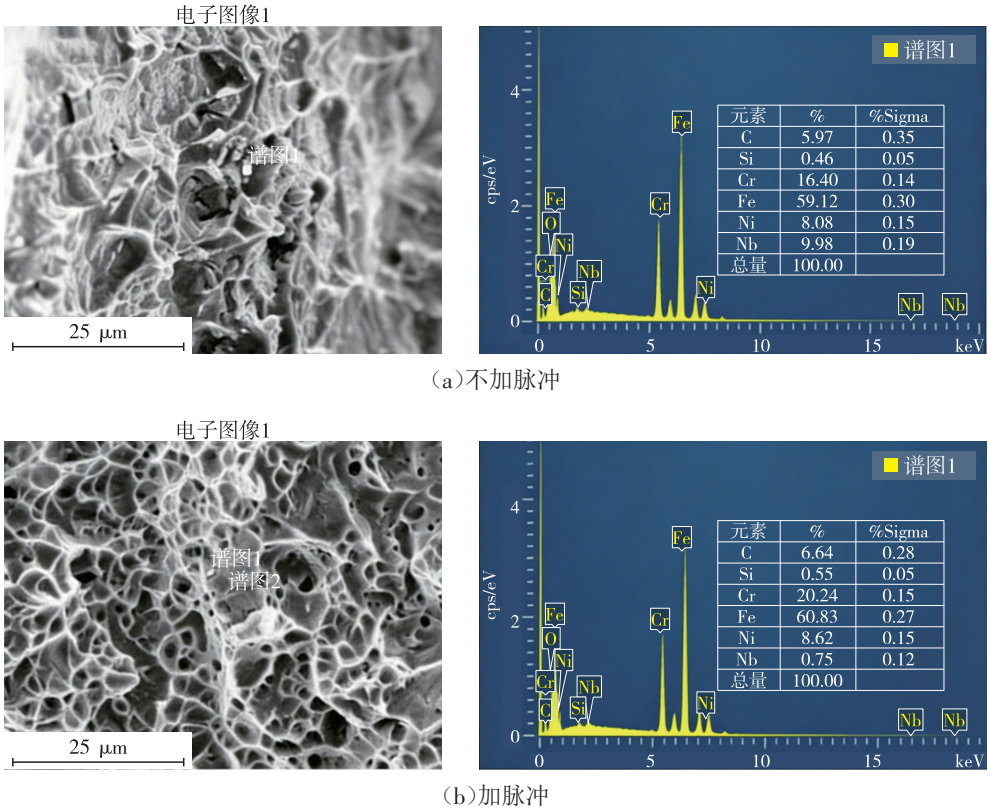


（a）不加脉冲

（b）加脉冲

图10 冲击断口微观形貌

Fig.10 Microscopic morphology of impact fracture



（a）不加脉冲

（b）加脉冲

图11 冲击试验断口元素组成

Fig.11 Elemental composition of impact test fracture

3 结论

文中对比研究了未施加脉冲与施加脉冲两种GMAW焊接工艺下347H不锈钢的焊缝组织与力学性能，得到如下结论：

（1）未施加脉冲的焊缝波纹不规则，成形粗

糙；施加脉冲的焊缝波纹均匀规则，焊缝成形良好。未施加脉冲的焊缝出现夹渣，主要分布于焊道层间及坡口拐弯处；施加脉冲的焊缝无气孔、夹渣等明显缺陷。

（2）未施加脉冲的焊接接头抗拉强度仅为504 MPa，断裂位置为焊缝，其抗拉强度未达到工程应用要求的515 MPa。施加脉冲的焊接接头抗拉强度为616 MPa，断裂位置为母材，抗拉强度满足工程应用要求的515 MPa。

（3）未施加脉冲时，焊接接头侧弯后4件试样均判定为不合格；施加脉冲时，焊接接头侧弯后均判定为合格。

（4）未施加脉冲的焊缝冲击功均值为22 J，施加脉冲的焊缝冲击功均值为45 J。未施加脉冲工艺的断口以脆性断裂为主，塑性变形极弱，焊缝金属中形成了大量NbC析出相。施加脉冲工艺的断口以塑性断裂为主，脆性特征消失。

参考文献：

[1] REN Q Q，YAMAMOTO Y，BRADY M P，et al.Sigma phase evolution andnucleation mechanisms revealed by atom probe tomography in a 347H stainless steel [J].Materialia，2022，24：101485.

[2] GONZAGA A C，BARBOSA C，TAVARES S S M，et al. Influence of post welding heat treatments on sensitization of AISI 347 stainless steel welded joints [J]. Journal of Materials Research and Technology，2020，9（1）：908-921.

[3] 陈安忠，赵雅，李具仓，等.高温熔盐储罐用347H不锈钢焊接接头组织性能研究[J].甘肃冶金，2025，47（2）：111-114.
CHEN A Z，ZHAO Y，LI J C，et al.Study on the tissue properties of 347H stainless steel welded joints for high-temperature molten salt storage tank [J]. Gansu Metallurgy，2025，47（2）：111-114.

[4] MIRANDA-PÉREZ A F，RODRÍGUEZ-VARGAS B R，CALLIARI I，et al.Corrosion resistance of GMAW duplex stainless steels welds [J]. Materials，2023，16（5）：1847.

[5] 高成龙，李宪爽，赵卫君，等.双金属冶金复合换热管与挠性管板焊接工艺研究[J]压力容器，2024，41（12）：16-22.
GAO C L，LI X S，ZHAO W J，et al.Study on welding technology of bimetal metallurgical composite heat exchange tube and radial tubesheet [J]. Pressure Vessel Technology，2024，41（12）：16-22.

[6] EKAPUTRA I M W，MUNGKASI S，HARYADI G D，et al. The influence of welding speed conditions of GMAW on mechanical properties of 316L austenitic stainless steel[J].MATEC Web of Conferences，2018，159（1）：01017.

[7] ZAMORA-NÚÑEZ J A，RODRÍGUEZ-ROSALES R，TREJO-GARCÍA P M，et al.Microstructure evaluation of 304 stainless-steel welds through robotic gmaw process[J].MRS Advances，2023，8：1231-1235.

[8] 苏德瑞，马延会，刘建屏，等.P92主蒸汽管对接焊缝裂纹和夹渣产生原因的探讨[J].华北电力技术，2016（11）：63-66.
SU D R，MA Y H，LIU J P，et al.Detection and study on butt weld crack and dregs of P92 main steam piping [J].North China Electric Power，2016（11）：63-66.

[9] 汪军，温芝香.国外对压力容器焊缝中气孔与夹渣危害性的研究[J].化工管理，2018（27）：42-43.
WANG J，WEN Z X.Foreign research on the harmfulness of pores and slag inclusions in pressure vessel welds [J].Chemical Management，2018（27）：42-43.

[10] 张忠亮.船舶焊接常见缺陷形成机理与解决措施[J].船舶物资与市场，2025，33（8）：74-76.
ZHANG Z L. Formation mechanism and solutions of common defects in ship welding[J].Marine Equipment/Materials & Marketing，2025，33（8）：74-76.

[11] LIU Y D，LIU G，DONG Z Y，et al. Leakage failure analysis of some gas transportation pipeline girth weld [J].Journal of Failure Analysis and Prevention，2024，24：2937-2944.

[12] AGHAYAR Y，NAGHASHZADEH A，ATAPOUR M. An assessment of microstructure and mechanical properties of inconel 601/304 stainless steel dissimilar weld[J].Vacuum，2021，184：109970.

[13] NAFFAKH H，SHAMANIAN M，ASHRAFIZADEH F. Microstructural evolutions in dissimilar welds between AISI 310 austenitic stainless steel and Inconel 657[J]. Journal of Materials Science，2010，45：2564-2573.

作者简介：王喜平（1988），男，工程师，主要从事压力容器制造方向的研究，通信地址：730000甘肃省兰州市兰州新区兰州兰石重型装备股份有限公司，E-mail：zhuxiaoyan@lshec.com。

本文引用格式：
王喜平，朱小燕，李永都，等.脉冲电流对347H不锈钢GMAW焊接接头微观组织和力学性能的影响[J].压力容器，2026，43（2）：27-34.
WANG Xiping，ZHU Xiaoyan，LI Yongdu，et al.Effect of pulsed current on the microstructure and mechanical properties of GMAW welded joints of 347H stainless steel[J].Pressure Vessel Technology，2026，43（2）：27-34.