

文章编号: 1000-7466(2024)03-0024-09

# SA-336 F11 CL.2 与 SA-765 Gr. II 异种钢 对接焊工艺研究

赵虎庆, 杨有福, 俞禄沅, 张佳杰, 曹洋

(甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** ASME 材料 SA-336 F11 CL.2 与 SA-765 Gr. II 的异种钢对接焊, 无论焊接材料选择采用高强度匹配还是低强度匹配, 都需要解决焊接接头热处理温度差异较大的问题。采用在母材 SA-336 F11 CL.2 坡口处堆焊隔离层 0.5Mo 后再对接母材 SA-765 Gr. II 的方式制备焊接试样, 通过分析焊接接头形成过程中不同时期微观金相组织以及焊接接头力学性能, 验证了坡口堆焊隔离层后先进行高温焊后热处理, 对接后再进行低温焊后热处理的可行性和可靠性。此方法可以在 SA-336 F11 CL.2 与 SA-765 Gr. II 焊后热处理时建立温度平衡, 减小温度差对焊接接头工艺性能的不利影响。

**关键词:** 异种钢; 对接焊; 工艺; 方法; 研究

中图分类号: TQ050.6 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1000-7466.2024.03.005

## Study of Butt Welding Process between SA-336 F11 CL.2 and SA-765 Gr.II Dissimilar Steels

ZHAO Hu-qing, YANG You-fu, YU Lu-yuan, ZHANG Jia-jie, CAO Yang

(Lanpec Technologies Limited, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** For the welding of the two ASME materials, SA-336 F11 CL.2 and SA-765 Gr. II, regardless of whether high-strength or low-strength matching welding material is chosen, it is necessary to address the issue of a significant difference in heat treatment temperature of the weld joints. Welding samples were prepared by surfacing the 0.5Mo insulation layer on the groove of SA-336 F11 CL.2 metal, and then butting the SA-765 Gr. II metal, the microstructure and mechanical properties of the weld joints at different stages during the joint formation process were analyzed, and the feasibility and reliability of the method were verified. It is found that the method can effectively balance the temperature difference between SA-336 F11 CL.2 and SA-765 Gr. II, and decrease the adverse effect of temperature difference on process performance of weld joint.

**Key words:** dissimilar steel; butt welding; process; method; study

近年来异种钢焊接日趋普遍化。异种钢焊接过程中, 钢材微观金相组织、力学性能差异对焊接接头残余应力的消除、热处理工艺的制定等影响大, 想要得到性能优良的焊接接头就要具体问题具体分析, 从而在较大的差异中找到平衡<sup>[1-3]</sup>。文

中对异种钢母材 SA-336 F11 CL.2 与母材 SA-765 Gr. II 的焊接接头工艺性能进行试验研究<sup>[4-5]</sup>, 探讨坡口堆焊隔离层后先进行高温焊后热处理, 对接后再进行低温焊后热处理的方式<sup>[6-7]</sup>的可行性和可靠性。

收稿日期: 2023-12-05

作者简介: 赵虎庆(1986-), 男, 甘肃武威人, 工程师, 学士, 主要从事压力容器制造管理工作。

# 1 异种钢焊接试验

## 1.1 母材及焊材

选用2种母材锻件进行异种钢焊接试验。母材1牌号SA-336 F11 CL.2,母材2牌号SA-765 Gr. II,尺寸规格(长×宽×厚)均为1 000 mm×

150 mm×40 mm。配套焊接材料(以下简称焊材)包括0.5Mo(型号E7018-A1,φ5.0)焊条和埋弧焊丝EH12K(φ4.0)+焊剂(F7P4)。母材SA-336 F11 CL.2化学成分见表1,母材SA-765 Gr. II和焊材化学成分见表2,母材和焊材力学性能参数见表3。

表1 母材1化学成分

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
质量分数	0.14	0.54	0.45	0.002	0.005	1.20	0.03	0.49	0.02
元素	As	Sn	Sb	H	Si+Mn				
质量分数	0.002	0.002	0.002	1.1	0.99				

表2 母材2及焊材化学成分(质量分数)

材料	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
SA-765 Gr. II	0.160	0.280	1.250	0.001	0.004	0.070	0.020	0.020	0.030
0.5Mo(E7018-A1)	0.077	0.360	0.790	0.005	0.010	—	—	—	—
E7018	0.101	0.523	1.394	0.005	0.017	0.062	0.023	0.024	—
F7P4-EH12K	0.086	0.260	1.657	0.002	0.009	0.023	0.008	—	0.014

表3 母材及焊材力学性能参数

材料	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	伸长率 $A$ /%	断面收缩率 $Z$ /%	硬度/HB
SA-336 F11 CL.2	479	608	28.0	80	189
SA-765 Gr. II	413	564	30.0	78	183
0.5Mo(E7018-A1)	483	578	27.0	—	—
E7018	505	600	30.0	—	—
F7P4-EH12K	441	548	28.5	—	—

## 1.2 焊接试板制备

### 1.2.1 坡口加工

焊接试板坡口加工过程见图1。在母材1侧机加工V型30°堆焊坡口,堆焊V型坡口加工后,采用天然气火焰预热至不低于80℃,再采用E7018-A1进行焊条电弧焊(SMAW)堆焊,堆焊过程层间温度控制在80~250℃。考虑到坡口堆焊后机加工对接坡口需要,对机加工后堆焊层焊肉厚度进行控制,要求不小于5mm。坡口堆焊完毕,入炉进行消除应力热处理,控制参数为690℃×6h,升温速

度61℃/h,降温速度110℃/h,空冷至室温,然后机加工对接坡口。母材1堆焊侧机加工U形12°坡口,预留钝边2.0mm,根部机加工R8圆角。

### 1.2.2 坡口组对

坡口组对焊接过程见图2。采用SMAW打底,埋弧焊(SAW)填充盖面的方法进行焊接(SMAW焊接厚度20mm,SAW焊接厚度20mm)。

### 1.2.3 焊后处理

试板整体焊接完毕后,委托100%渗透检测(PT)+100%射线检测(RT),合格试板最后整体入

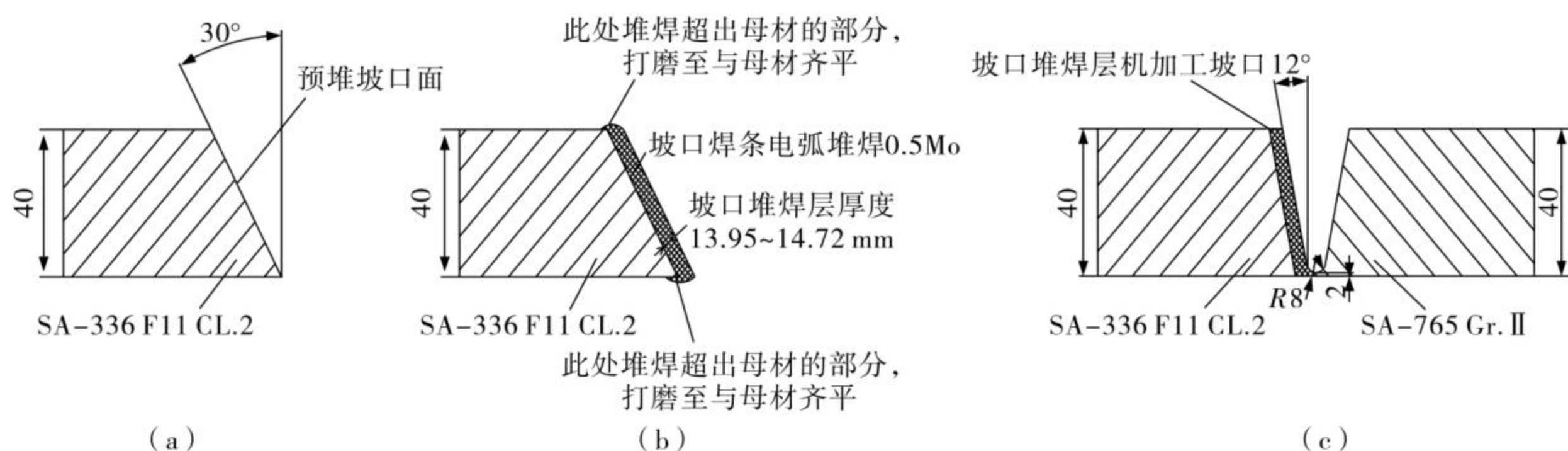


图1 焊接试板坡口加工过程示意图

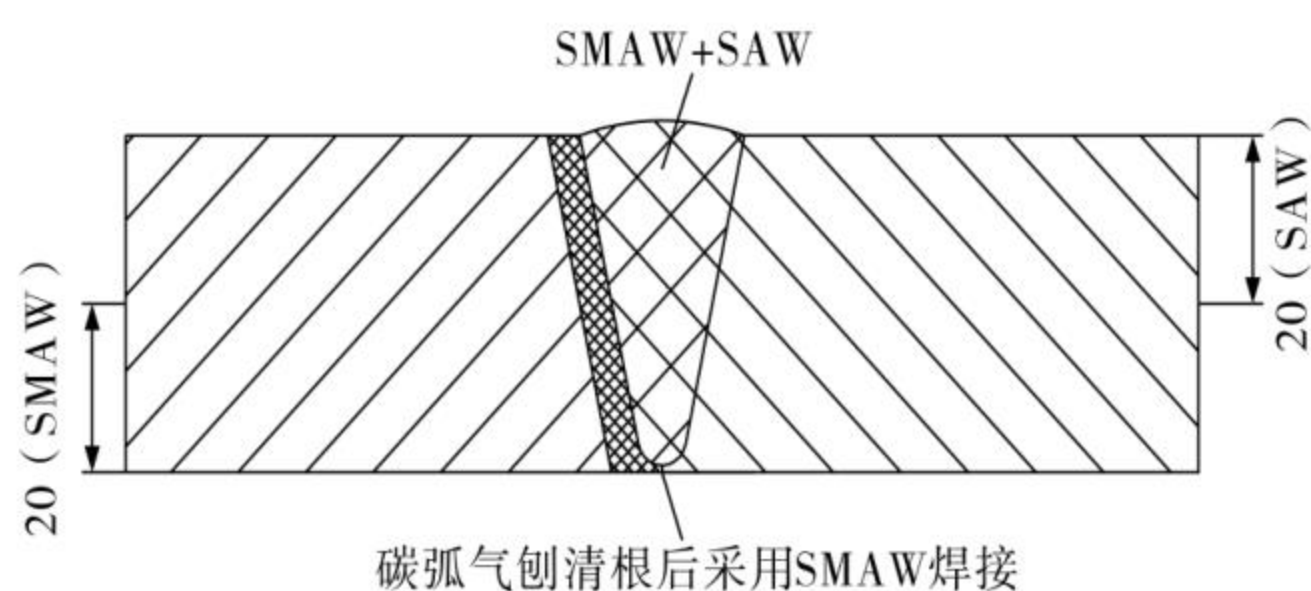


图 2 组对焊接过程示图

炉进行消除应力热处理,过程控制参数为 620 °C × 4 h,升温速度 55 °C/h,降温速度 57 °C/h,空冷至室温。

1.2.4 注意事项

堆焊以及对接坡口两侧各 50 mm 范围内进行严格的除锈、除污和清除杂质等。采用小电流、不摆动、多层多道焊工艺。SMAW 堆焊坡口应严格控制焊接线能量不大于 20.14 kJ/cm。SMAW 对接焊应当严格控制焊接线能量不大于 22.2 kJ/cm,同时 SAW 对接焊应当严格控制焊接线能量不大于 27.7 kJ/cm。焊前对 0.5Mo(E7018-A1) 和 E7018 焊条进行 300 °C 烘培并保温 1.5 h。

母材 1 侧坡口堆焊执行的焊接规范见表 4,焊接试板对接焊执行的焊接规范见表 5。

表 4 母材 1 侧坡口堆焊焊接工艺参数

焊接方法	焊道层数	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm/min)	焊接线能量/(kJ/cm)
SMAW	坡口堆焊第 1 层	200~205	24~28	173~178	≤19.907
SMAW	坡口堆焊第 2 层	200~205	24~28	171~179	≤20.140
SMAW	坡口堆焊第 3 层	200~205	24~28	175~179	≤19.680

表 5 焊接试板对接焊焊接工艺参数

焊接方法	焊道层数	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm/min)	焊接线能量/(kJ/cm)
SMAW	8 层 11 道(20 mm)	210~230	24~28	174~180	≤22.2
SAW	6 层 9 道(20 mm)	530~550	28~32	380~400	≤27.7

2 异种钢焊接工艺评价

2.1 坡口堆焊层

2.1.1 焊态

(1)厚度 用王水溶液对母材 1 侧坡口堆焊层机加工断面进行腐蚀处理后,测量堆焊层厚度(T)。腐蚀处理前后母材 1 侧坡口堆焊层宏观形貌见图 3,测得堆焊层最大厚度为 14.72 mm,局部较

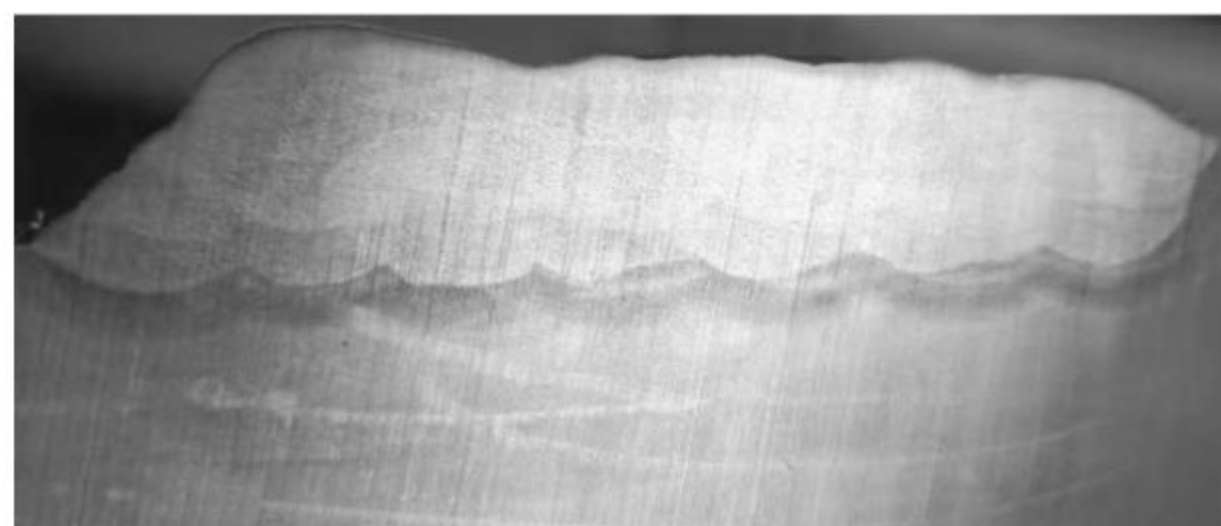
低处厚度为 13.95 mm,焊条电弧焊堆焊层熔深最大 2.2 mm,最小 1.4 mm,这说明采用 0.5Mo(E7018-A1) 焊条堆焊隔离层,熔深可以达到 1.4~2.2 mm,堆焊焊材与基材可以有效熔合。

(2)硬度 从堆焊层表面、堆焊层厚度方向 T/2 处、熔合线区以及堆焊层热影响区各选取 3 个具有代表性的位置进行维氏硬度测量,硬度检测数据见表 6。

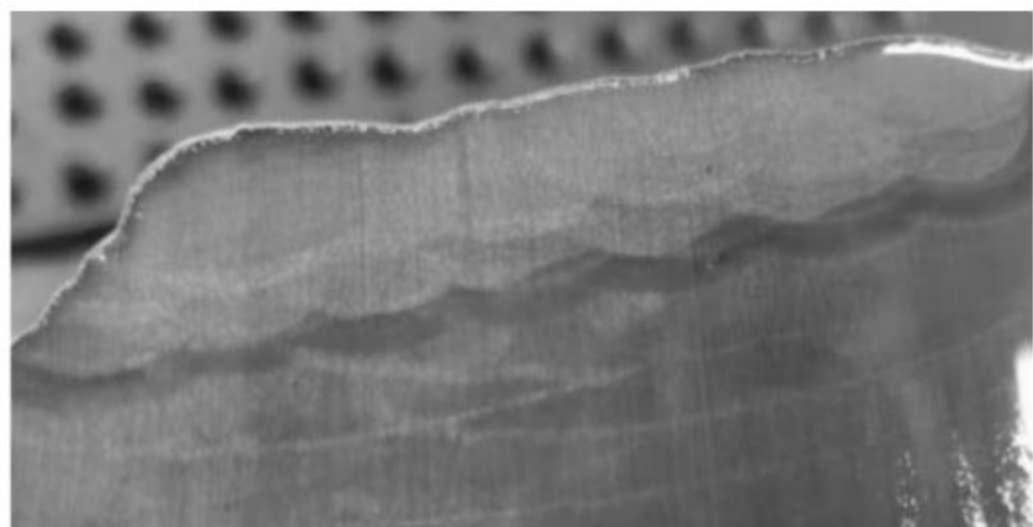
表 6 焊态下坡口堆焊层各部位维氏硬度

硬度测定部位	硬度值(HV10)
坡口堆焊层表面	208、203、204
坡口堆焊层厚度方向 T/2 处	183、168、164
熔合线	197、195、198
热影响区	291、210、277

表 6 维氏硬度检测数据显示,焊态下坡口堆焊层在热影响区硬度比堆焊焊肉部位的硬度高,这是因为在堆焊过程中,短时间内受热及冷却的速度极快,金属结晶粒度细小,残余应力大,导致热影响区硬度偏高。相比之下,堆焊焊肉的熔化时间更长,冷却速度较慢,因此,金属结晶粒度较



(a) 处理前



(b) 处理后

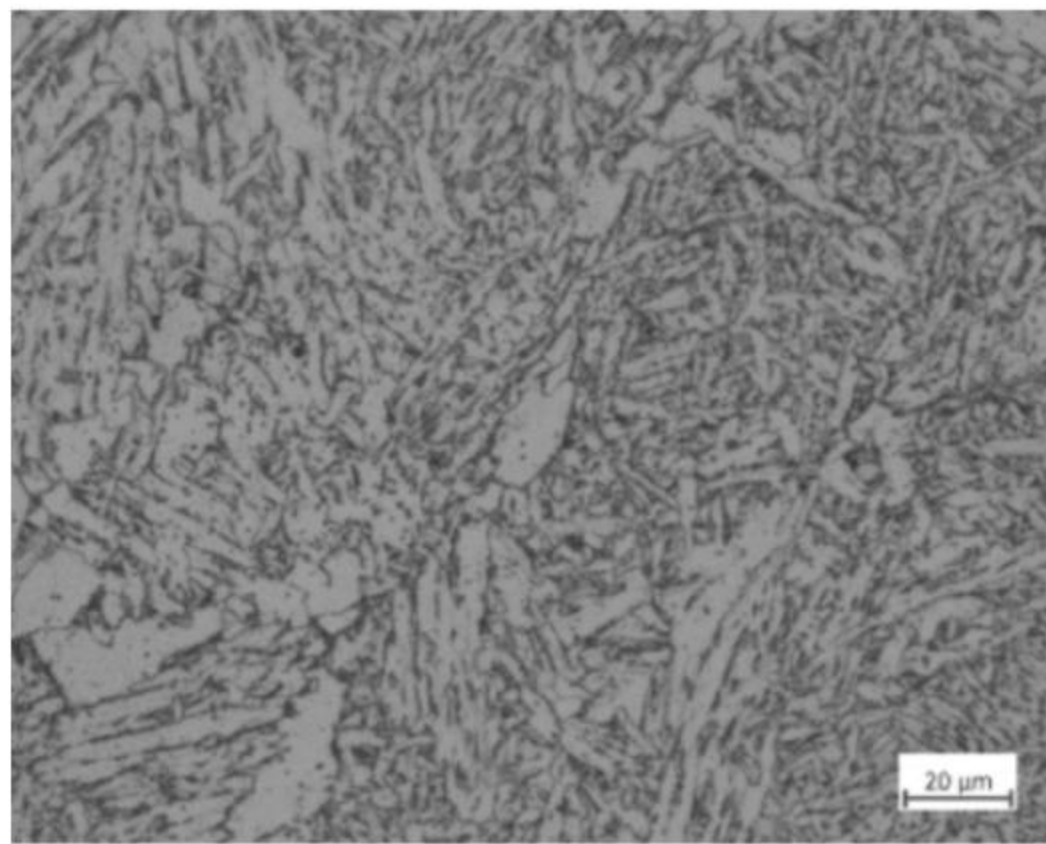
图 3 王水处理前后母材 1 侧坡口堆焊层宏观形貌

粗,硬度相对较低。从硬度数据发现,母材坡口堆焊后,对堆焊坡口进行热处理,细化晶粒,降低硬度是非常重要的。

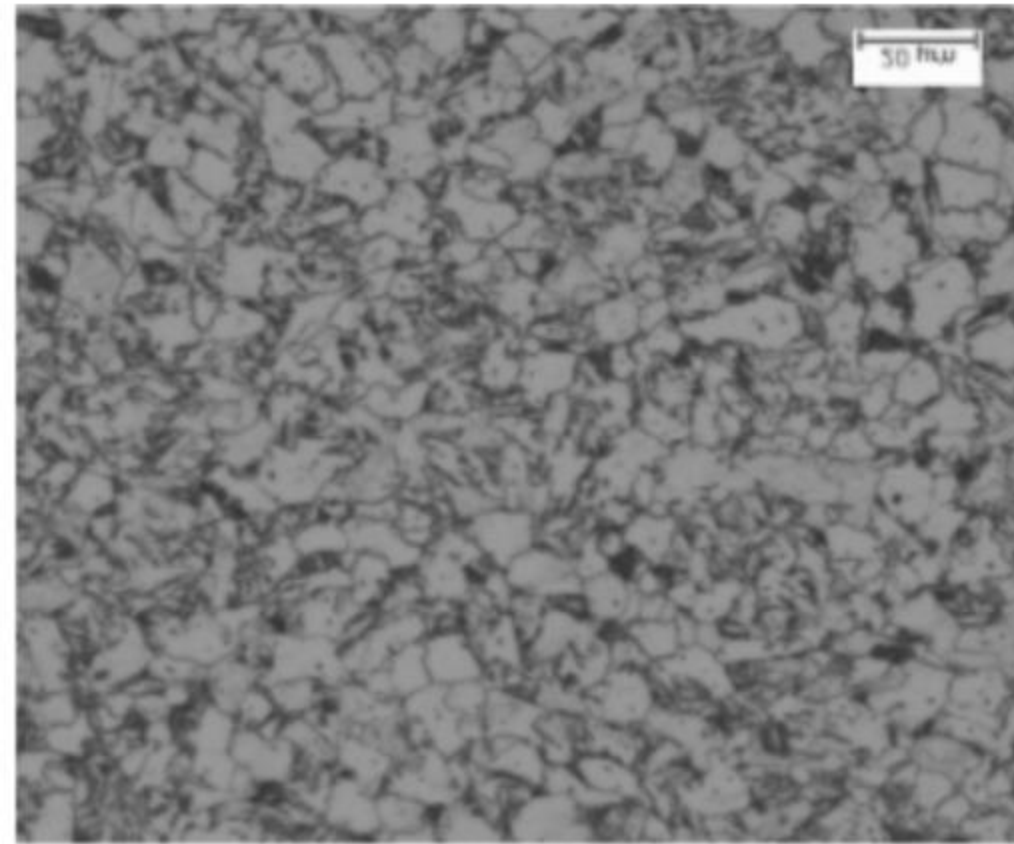
(3)金相组织 焊态下坡口堆焊层焊缝、热影响区、熔合线区金相组织见图4~图6。据金相图所示特征分析可知,堆焊层焊缝组织组成为铁素

体+珠光体+粒状贝氏体,堆焊层热影响区组织组成为铁素体+珠光体+粒状贝氏体+马氏体,堆焊层熔合线部位组织组成为铁素体+珠光体+粒状贝氏体。

从金相组织发现,焊态下,堆焊层热影响区析出马氏体组织,呈现针状,马氏体组织强度高、硬

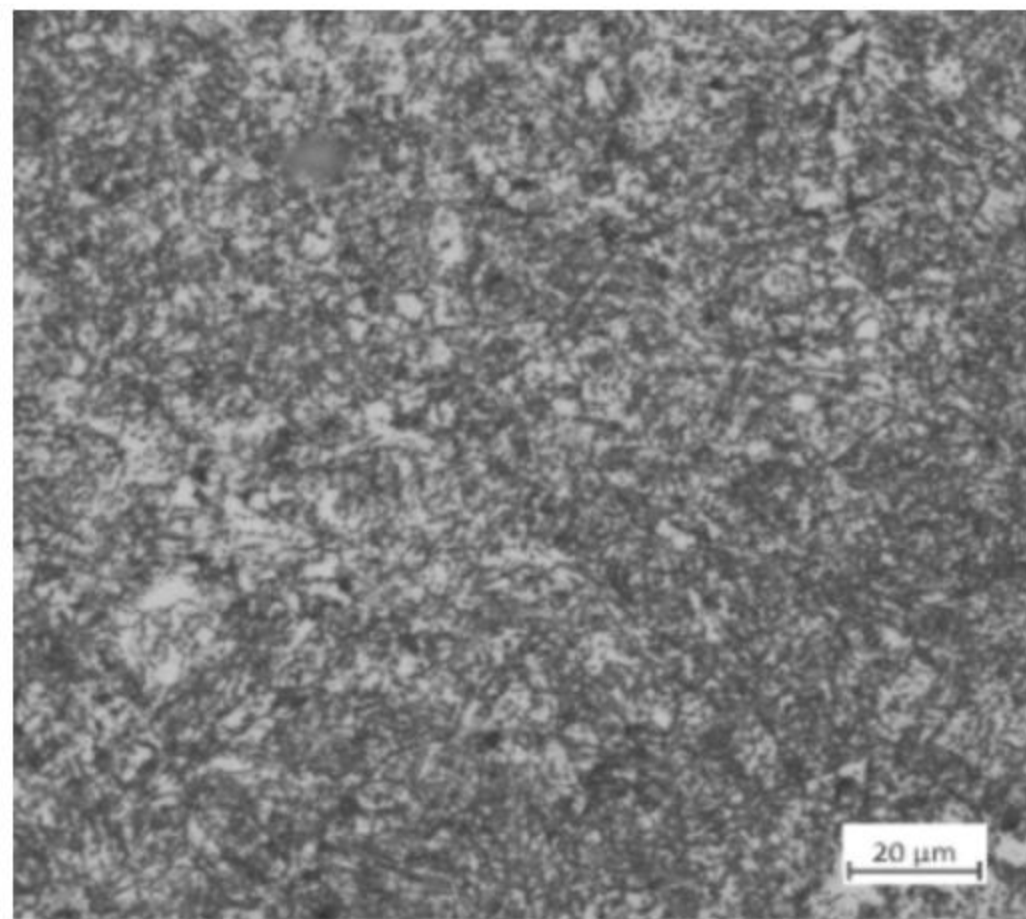


(a) 200x

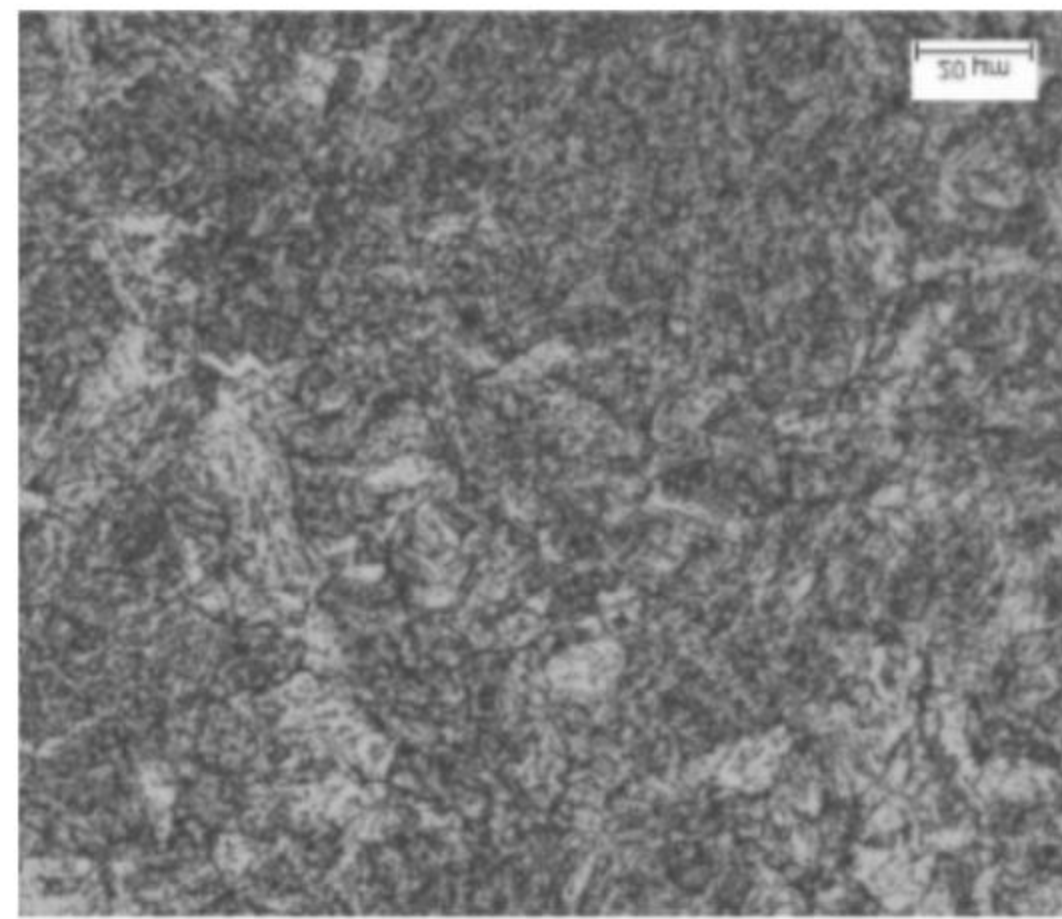


(b) 500x

图4 焊态下坡口堆焊层焊缝区金相组织

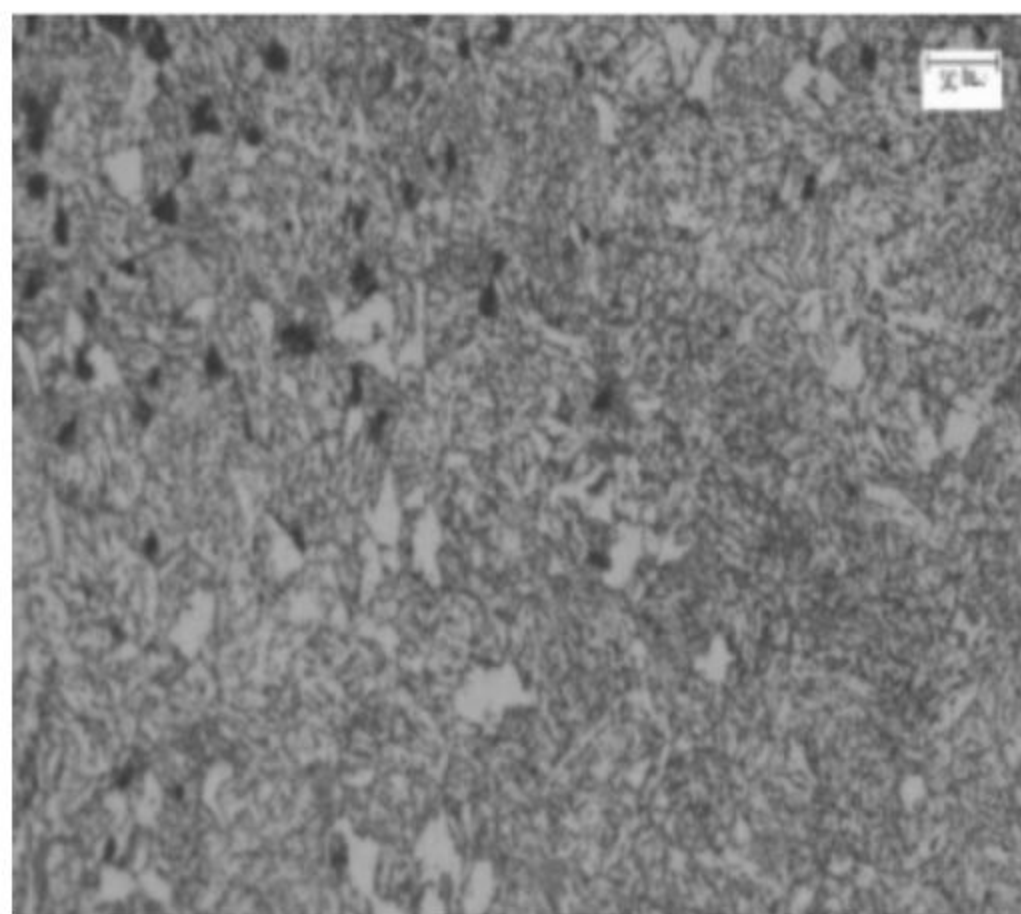


(a) 200x

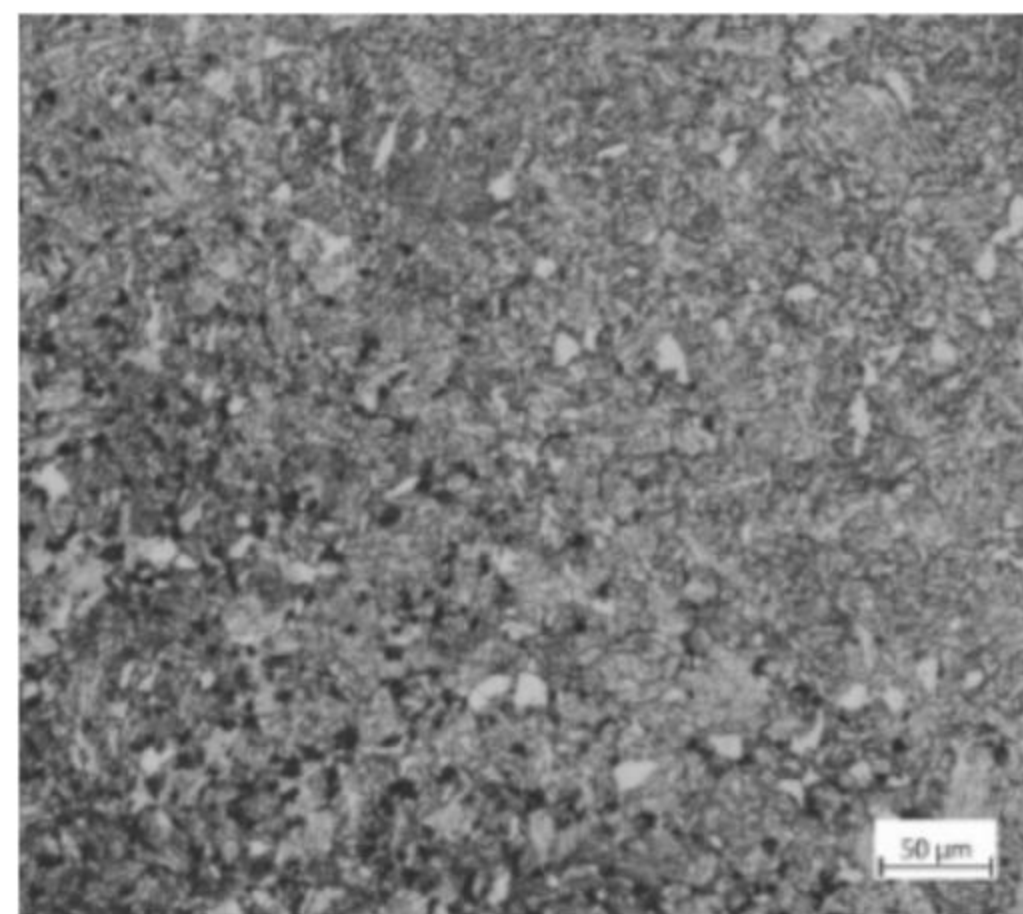


(b) 500x

图5 焊态下坡口堆焊层热影响区金相组织



(a) 200x



(b) 500x

图6 焊态下坡口堆焊层熔合线区金相组织

度高,其硬度随含碳量的增加而升高。同时,马氏体组织在析出过程中,由于体积的增大,会产生较大的内应力,导致其韧性和塑形降低,对焊缝产生不利的影响。因此,通过热处理的方式改善焊缝组织,使热影响区马氏体组织转变为回火马氏体组织至关重要。

**2.1.2 热处理态**

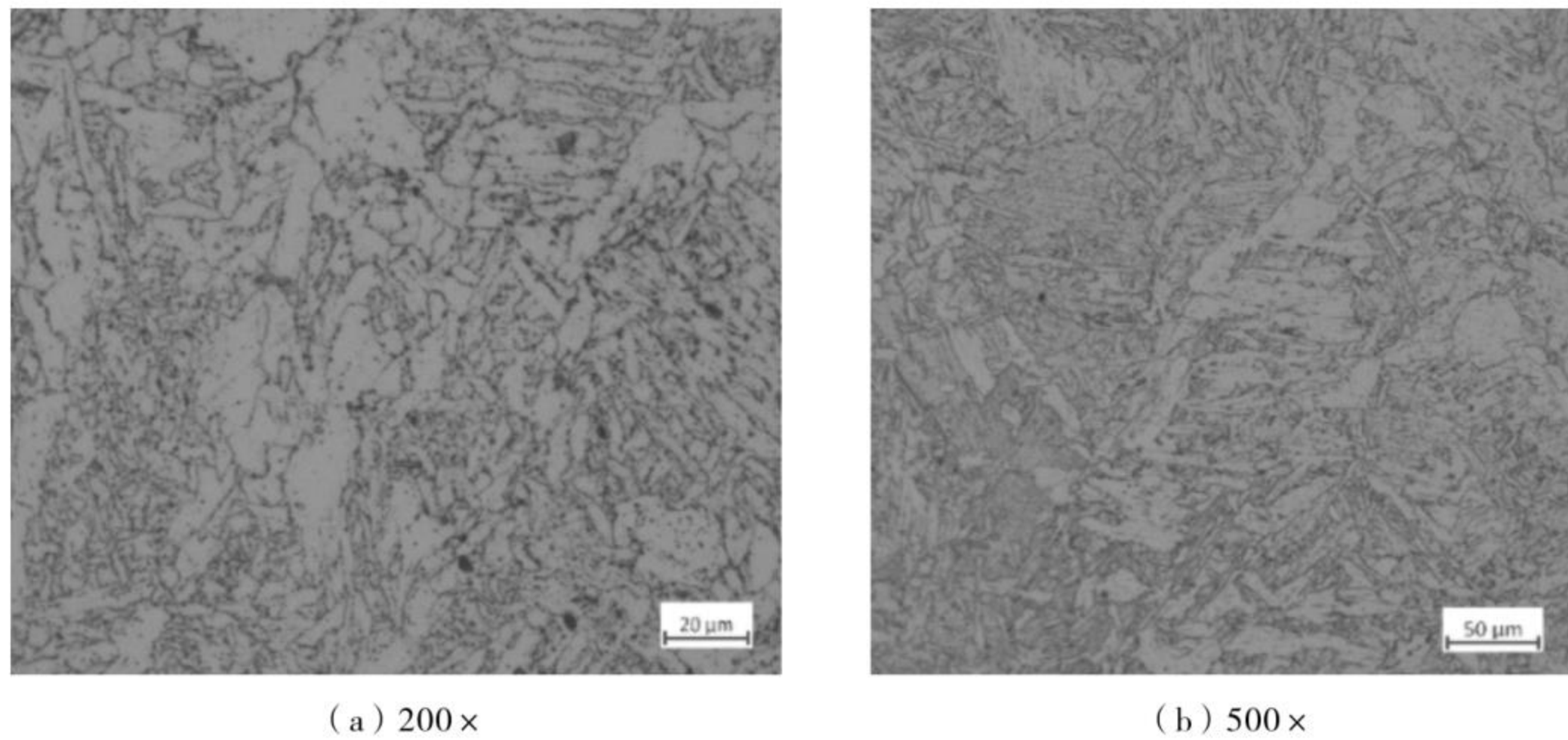
(1)硬度 堆焊操作结束后,对母材 1 侧焊接坡口进行 690 °C×6 h 热处理,升温速度设置为 61 °C/h、降温速度设置为 110 °C/h,出炉后空冷。热处理后,从坡口堆焊层各部位选取具有代表性的点(坡口堆焊层表面、坡口堆焊层厚度方向 T/2 处、熔合线各 3 个测点,热影响区 6 个测点)测定维氏硬度,结果见表 7。

**表 7 热处理态下坡口堆焊层各部位维氏硬度**

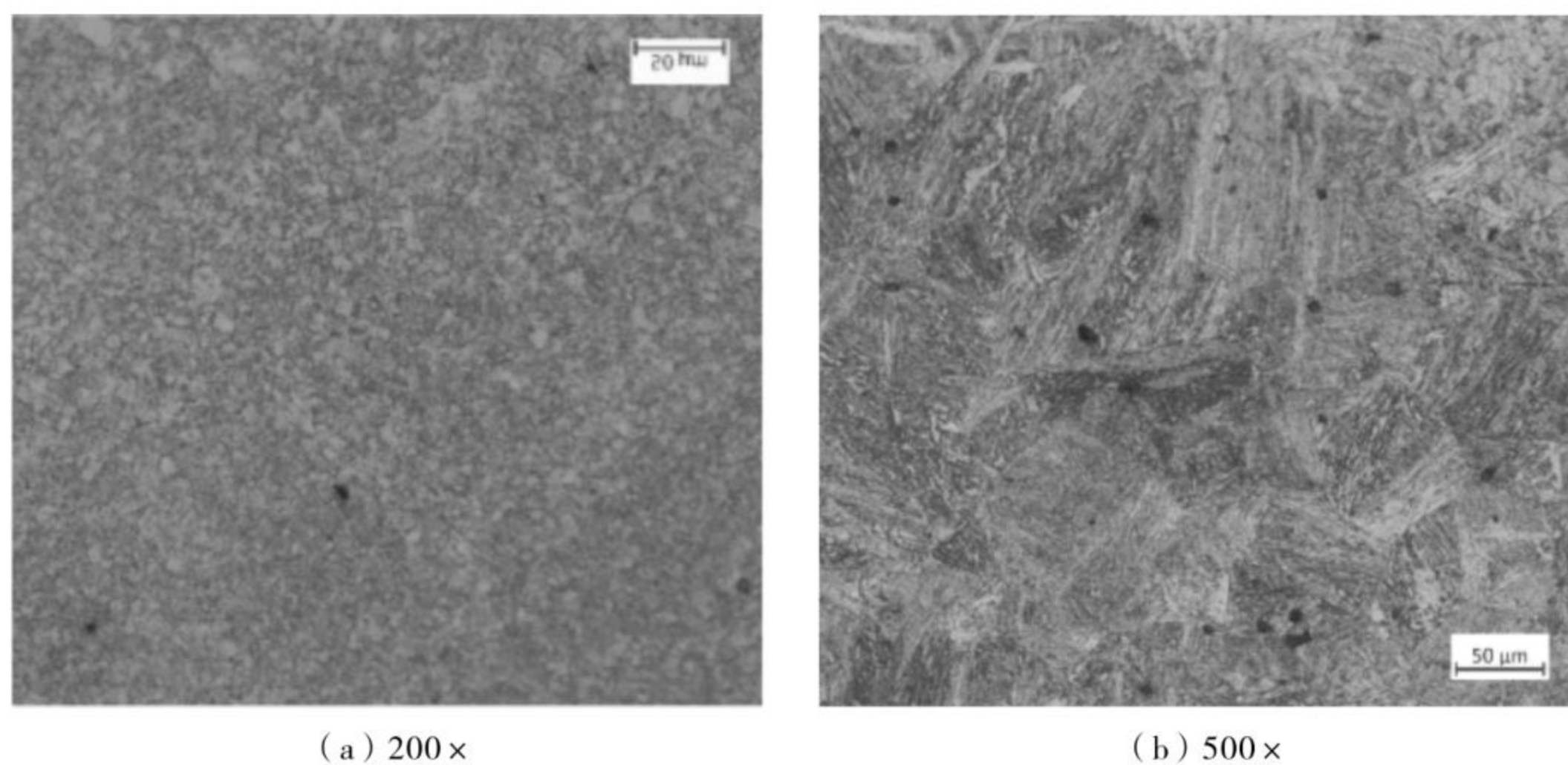
硬度测定部位	硬度值(HV10)
坡口堆焊层表面	179、177、178
坡口堆焊层厚度方向 T/2 处	162、155、161
熔合线	170、171、168
热影响区	230、190、209、240、243、240

对比分析表 7 热处理态下维氏硬度检测数据与表 6 焊态下维氏硬度检测数据可知,经过热处理,坡口堆焊层表面、坡口堆焊层厚度方向 T/2 处、熔合线、热影响区硬度明显降低。

(2)金相组织 热处理态下坡口堆焊层焊缝、热影响区、熔合线区金相组织见图 7~图 9。据金相图分析,焊缝组织组成为铁素体+珠光体+粒



**图 7 热处理态下坡口堆焊层焊缝区金相组织**



**图 8 热处理态下坡口堆焊层热影响区金相组织**

状贝氏体,堆焊层热影响区组织组成为铁素体+珠光体+粒状贝氏体+回火马氏体,堆焊层熔合线部位组织组成为铁素体+珠光体+粒状贝氏体。

对比分析图 7~图 9 热处理态下金相组织与

图 4~图 6 焊态下金相组织可知,经过热处理,坡口堆焊层各区金相组织晶粒得到细化,热影响区组织转变为回火马氏体组织,其硬度和韧性降低,达到了热处理预期效果。

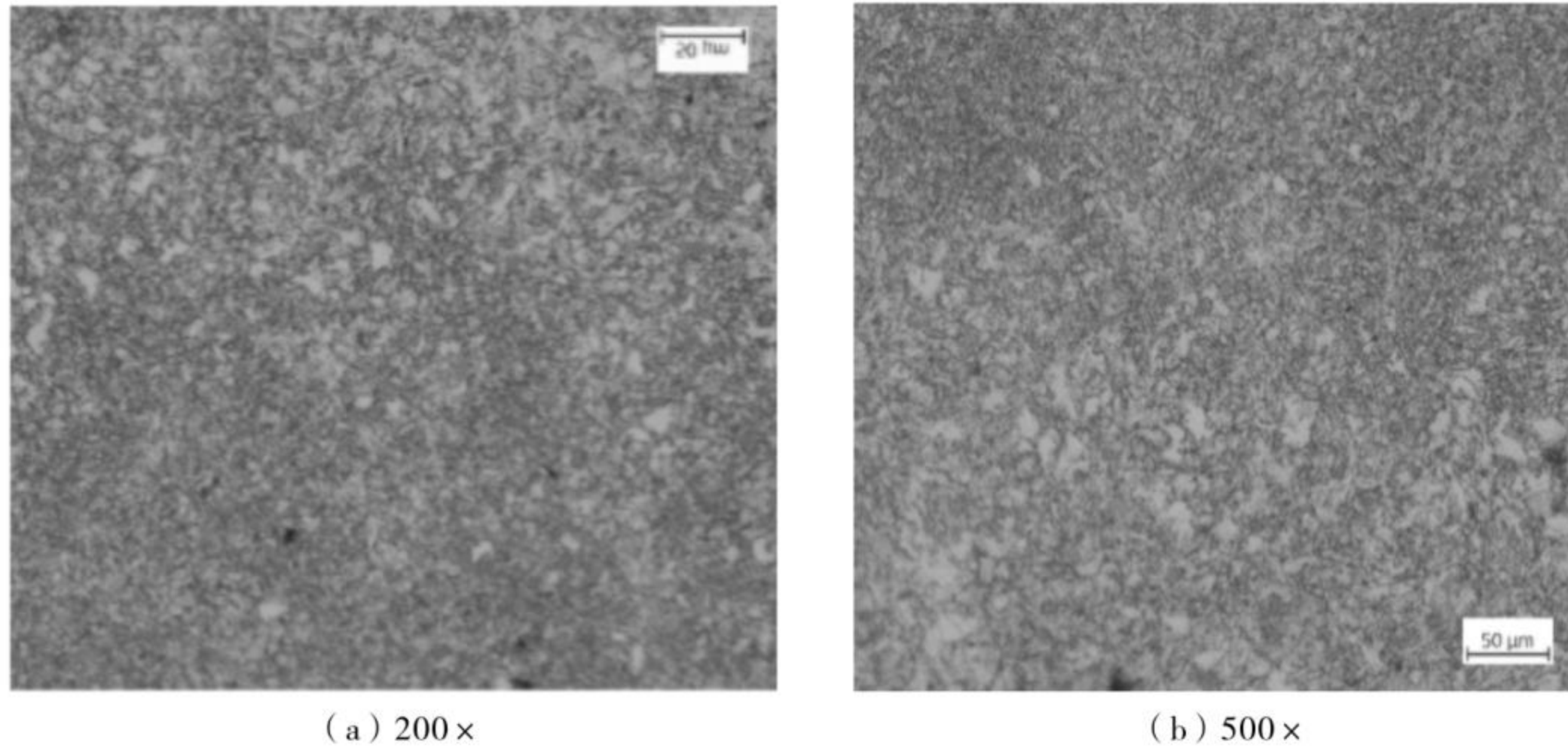


图 9 热处理态下坡口堆焊层熔合线区金相组织

2.2 焊接接头试验

2.2.1 拉伸性能

异种钢 SA-336 F11 CL. 2 与 SA-765 Gr. II 对接接头在完成 620 °C × 4 h、升温速度 55 °C/h、降温速度 57 °C/h、空冷至室温的热处理后,按照 ASME 第 IX 卷中 QW-150 以及 QW-462 的要求取样<sup>[10]</sup>(每

20 mm 分层取样)和制作焊接接头试样,进行常温拉伸、全焊缝常温拉伸、305 °C 全焊缝金属高温拉伸试验,根据测定数据判断焊接接头的极限抗拉强度,结果见表 8 和表 9。全焊缝常温拉伸试样和全焊缝高温拉伸试样取样位置见图 10。

表 8 和表 9 抗拉强度试验数据显示,异种钢

表 8 焊接接头常温拉伸试验结果

取样位置	试样宽度/mm	试样厚度/mm	面积/mm <sup>2</sup>	极限总载荷/kN	抗拉强度/MPa	破坏性质与位置
焊接接头	20.00	19.90	398	229.248	576	塑性断于母材
焊接接头	20.00	20.00	400	228.800	572	塑性断于焊缝
焊接接头	20.00	20.00	400	240.400	601	塑性断于母材
焊接接头	20.00	19.90	398	242.382	609	塑性断于焊缝

表 9 全焊缝常温拉伸和全焊缝高温拉伸试验结果

取样位置	试样直径/mm	试验温度	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 $A$ /%
焊缝	10.00	常温	428	566	24.0
焊缝	10.00	常温	498	594	24.0
焊缝	10.00	305 °C	490	—	—
焊缝	10.00	305 °C	397	—	—

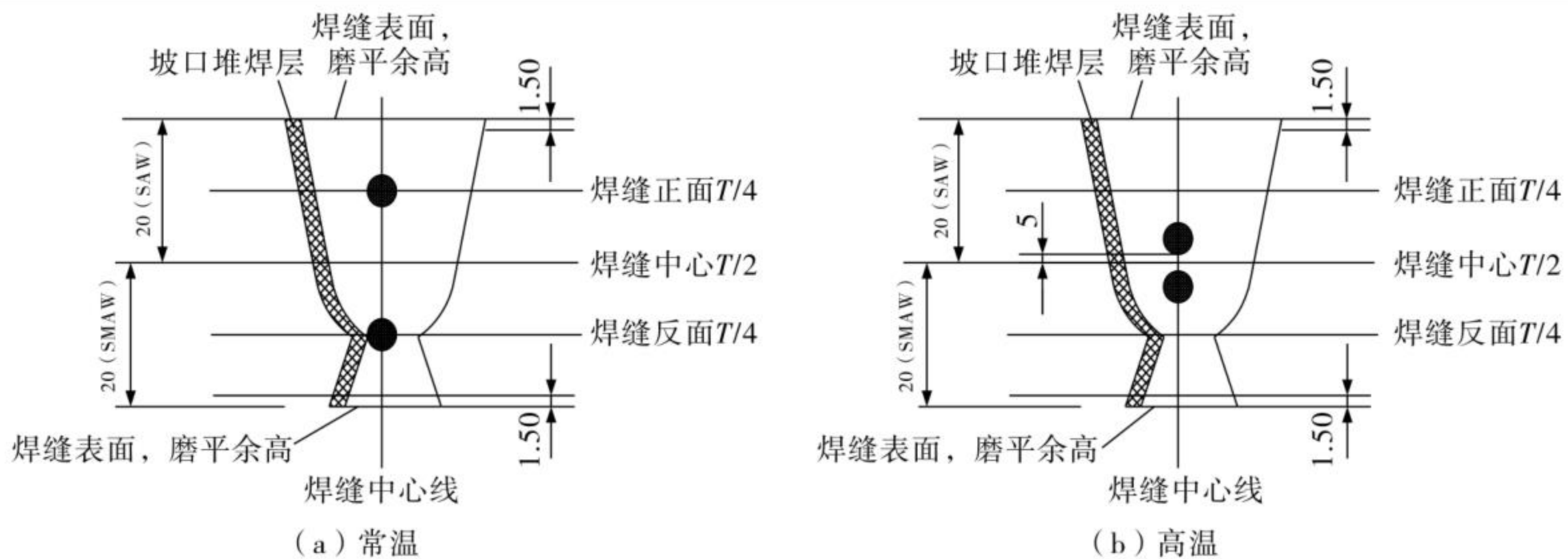


图 10 不同温度条件下全焊缝拉伸试样取样位置

SA-336 F11 CL. 2 与 SA-765 Gr. II 对接接头常温抗拉强度、全焊缝常温拉伸抗拉强度、全焊缝高温拉伸抗拉强度均大于两侧母材抗拉强度。证明异种钢 SA-336 F11 CL. 2 与 SA-765 Gr. II 的焊接可采用堆焊坡口过渡,再进行对接的工艺,其接头的强度是稳定可靠的。

### 2.2.2 冲击韧性

对焊缝各个有代表性的部位取样,进行低温冲击试验。按照 ASME 第 VIII-1 卷 UG-84 的规定<sup>[11-12]</sup>对焊接接头以及热影响区进行 -18 °C 夏比 V 形缺口冲击韧性试验。

试样尺寸为 10 mm × 10 mm × 55 mm,试验结果见表 10。焊缝和热影响区冲击试样取样位置见图 11。

表 10 焊接接头冲击韧性试验结果

取样部位编号	缺口位置	冲击吸收功/J
W1	焊缝中心冲击区	181.0、177.5、151.5
W2	焊缝中心冲击区	106.0、103.0、100.5
H1	热影响区	163.5、145.0、187.5
H2	热影响区	140.5、115.5、141.5
H3	热影响区	105.5、129.0、193.0
H4	热影响区	181.0、188.0、128.5

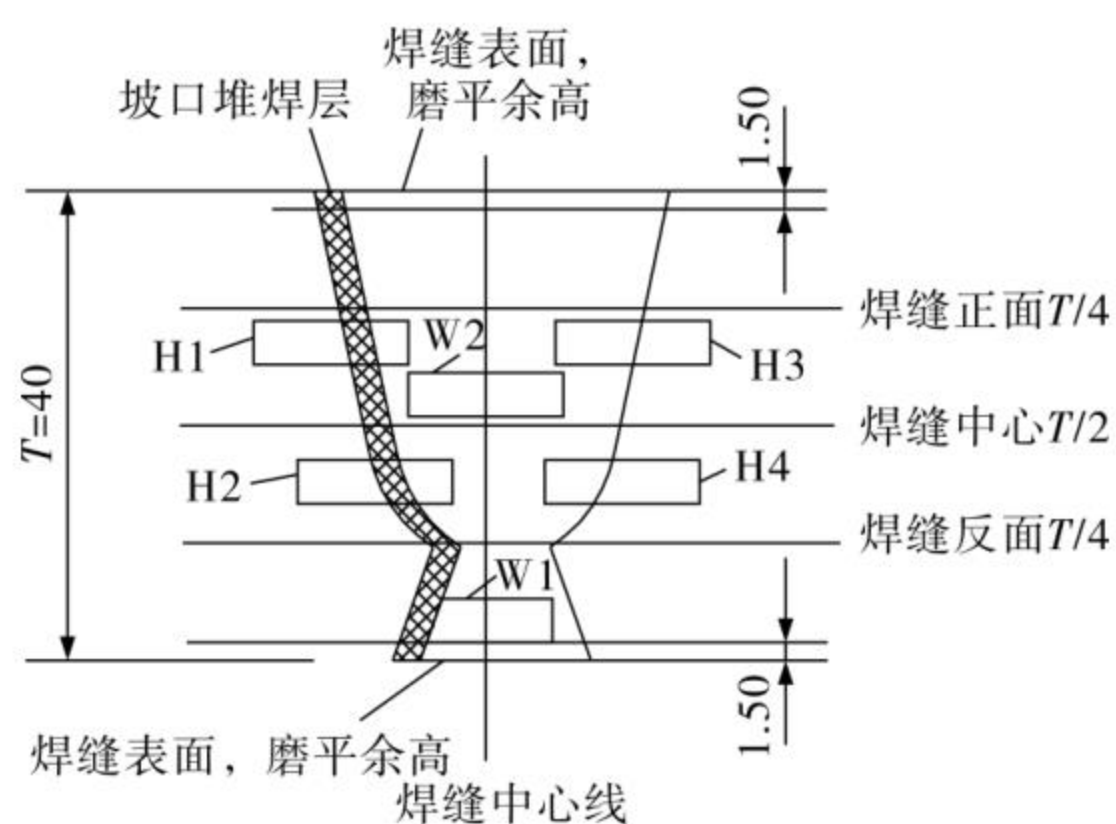


图 11 焊缝和热影响区冲击试样取样位置示图

表 10 焊接接头冲击韧性试验数据显示,焊缝各区在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力稳定,热影响区通过 690 °C 的热处理后,部分马氏体组织转变为回火马氏体组织,焊缝的冲击韧性得到提高,性能可靠。

### 2.2.3 导向弯曲性能

按照 ASME 第 IX 卷中 QW-160 以及 QW-462 的要求取样制作焊接接头导向弯曲试样(4 件)进行试验<sup>[13-14]</sup>,判断焊接接头的完好性和延性。

焊接接头经 180° 横向侧弯后,采用王水溶液腐蚀凸面,其中 3 件无任何开裂,第 4 件试样弯曲后,凸面上坡口堆焊层部位出现约 3 mm 长的开口缺陷,开口缺陷部位存在肉眼可见的夹渣缺陷,见图 12。

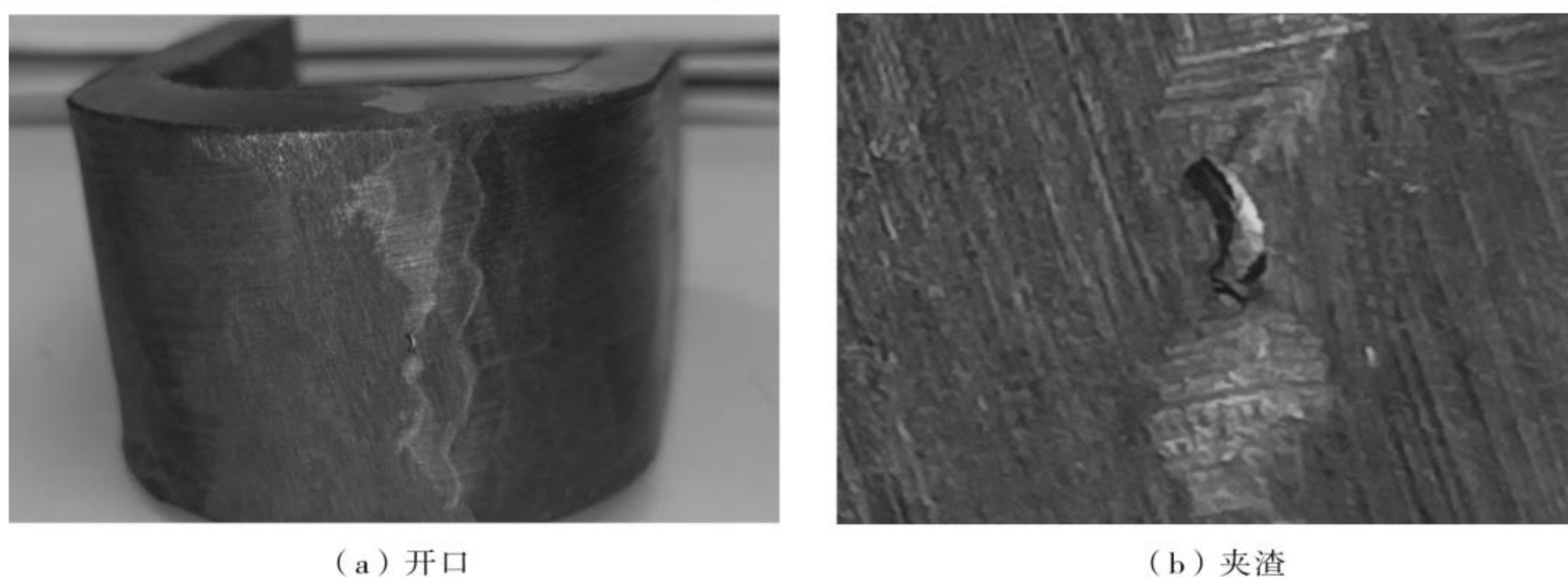


图 12 侧弯试样凸面开口缺陷

### 2.2.4 金相组织

对整个对接接头进行微观金相组织分析<sup>[15]</sup>,结

果见图 13,对接接头各区组织形态表现正常,未出现淬硬的马氏体组织。

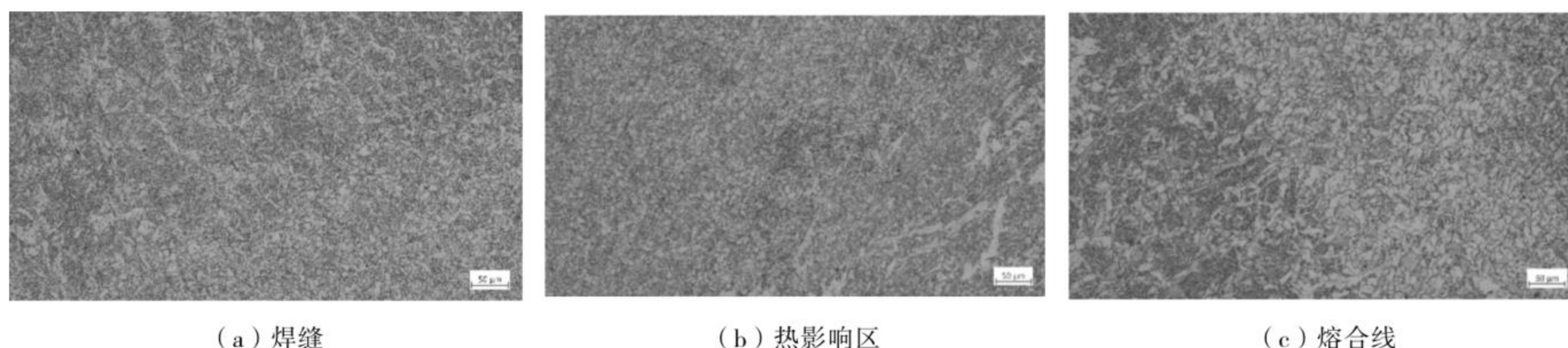


图 13 对接接头各区微观金相组织(500x)

### 2.2.5 硬度

从整个对接接头焊缝(包含堆焊层)、母材 1 侧热影响区、母材 1 侧熔合线、母材 2 侧热影响

区、母材 2 侧熔合线等区域各取 3 个点进行硬度测定<sup>[16]</sup>,结果见表 11,对接接头各部位硬度满足相关要求,接头韧性良好。

表 11 整个对接接头各区微观金相组织和各区硬度

部位	显微组织	硬度(HV5)
对接接头焊缝(包含堆焊层)	铁素体+珠光体+粒状贝氏体	200、182、194
母材 1 侧热影响区	铁素体+珠光体+粒状贝氏体+回火马氏体	222、194、217
母材 1 侧熔合线	铁素体+珠光体+粒状贝氏体+回火马氏体	245、265、255
母材 2 侧热影响区	铁素体+珠光体+粒状贝氏体	170、191、181
母材 2 侧熔合线	铁素体+珠光体+粒状贝氏体	182、191、173

### 2.3 综合评析

SA-336 F11 CL. 2 母材坡口堆焊层宏观形貌(图 3)和测量数据表明,采用 0.5Mo(E7018-A1)焊条堆焊隔离层,堆焊焊材与基材可以有效熔合。Cr 和 Mo 这两种元素可以使钢的淬硬倾向显著增强,推迟冷却过程中的组织转变,提高过冷奥氏体的稳定性。因此,在 SA-336 F11 CL. 2 母材形成的焊缝中也很容易出现冷裂纹和热影响区硬化的情况<sup>[17]</sup>,堆焊层热影响区在焊态下的微观金相组织形貌(图 5)也印证了这一点。

由 SA-336 F11 CL. 2 母材坡口堆焊层硬度数据(表 6 和表 7)以及微观金相组织形貌(图 5 和图 8)可知,坡口堆焊层热影响区在焊态下淬硬的马氏体组织,在经历 690 °C 的热处理后转变成了回火马氏体组织,这是因为马氏体组织中过饱和的碳发生了脱溶,形成了碳化物,马氏体向回火马氏体的转变使得坡口堆焊层热影响区硬度降低,韧性提高。

由表 3、表 7、表 8 可知,整个焊接接头的极限抗拉强度均大于强度级别较低的 SA-765 Gr. II 母材的极限抗拉强度。坡口堆焊完毕,经历 690 °C 的焊后热处理,对接完成后再经历 620 °C 的焊后热处理后,全焊缝常温拉伸和 305 °C 高温屈服强度均大于母材在相应温度下的强度(母材 SA-765 Gr. II 常温抗拉强度为 485 MPa,305 °C 高温屈服强度在 104~107 MPa)。全焊缝 305 °C 高温拉伸试样之所以取自焊缝中心  $T/2$  附近,是考虑到在整个焊接接头的形成过程中,焊缝中心热输入量最大,焊肉晶粒度比其它部位都大。选择性相对较差的部位取样,试验结果更具有代表性。焊接接头以及母材的强度方面,坡口堆焊 0.5Mo

(E7018-A1)方式有效避免了 SA-336 F11 CL. 2 与 SA-765 Gr. II 这两种母材焊后热处理时温度较大差异对焊接接头强度的影响。SA-336 F11 CL. 2 母材侧的坡口焊接工序为先堆焊后与另一侧母材 SA-765 Gr. 2 对接,相比于正常情况下直接对接焊而言,其焊接接头整体的热输入提高很多,这样有利于减轻对焊接接头以及热影响区冲击韧性的影响。

侧弯试样弯曲后凸面上、靠近堆焊层熔合线的部位出现的约 3 mm 长开口缺陷(图 12)是由于堆焊过程中埋藏的夹渣缺陷未完全清除干净导致的,这种缺陷采用 100%RT+100%UT 不易检出。在工程制造中,侧弯反映的问题必须得到重视,遇到类似需要用堆焊处理坡口或热处理难问题时,此类焊接接头最好考虑超声时差衍射法(TOFD)检测,确保排除焊肉中残留缺陷,避免返修后重新热处理。

### 3 结束语

异种钢焊接难度大,针对母材 SA-336 F11 CL. 2 与母材 SA-765 Gr. II 焊后热处理温度差异较大,对焊接接头性能造成不利影响可能性较大的情况,采用坡口堆焊隔离层 0.5Mo(型号 E7018-A1)后再对接方法制备了焊接试样,进行了焊接接头的工艺性能评价,验证了焊接工艺的可靠性,综合分析了焊接试样制备方法的合理性。金属材料中高含量的 Cr、Mo 元素,可显著增强钢的淬硬倾向,推迟冷却过程中的组织转变,提高过冷奥氏体的稳定性。因此,在 SA-336 F11 CL. 2 母材形成的焊缝中,热影响区很容易出现淬硬的马氏体组织,可以有针对性地通过 690 °C 的热处理

将其转变为韧性较好的回火马氏体组织。在工程实践中,针对坡口堆焊隔离层后再对接的焊接接头,若产品结构允许,建议增加焊缝 TOFD 检测,提高焊缝缺陷检出率。

#### 参考文献:

- [1] 雷万庆,杨松,杨文健.压力容器制造行业焊接、热处理技术的发展[J].大型铸锻件,2004(2):44-50.
- [2] 林桂贤,李义民,朵元才,等.Q345R+12Cr2Mo1R 异种钢焊接及热处理试验研究[J].压力容器,2020,37(6):15-18.
- [3] 金属室,钱昌黔.关于异种钢焊接接头焊后热处理的选择[J].焊接,1980(2):22-27.
- [4] 柳云天,李春光,徐祥久.基于 ASME 标准的异种钢隔离层焊接工艺研究[J].锅炉制造,2021(1):52-53,62.
- [5] 王欢,张树.14Cr1MoR 焊缝堆焊隔离层工艺的研究[J].热加工工艺,2014,43(9):217-218.
- [6] 徐兵,刘海,赵卫君,等.含 2.25Cr-1Mo-0.25V 钢换热器的焊接和热处理 [C]//压力容器先进技术——第十届全国压力容器学术会议论文集(下).杭州:中国机械工程学会压力容器分会,2021:28-34.
- [7] 胡昌文.珠光体钢和奥氏体钢焊接工艺优化及其接头性能研究[D].洛阳:河南科技大学,2016.
- [8] 毛鹏涛,尹贵保.异种管钢 20G/12Cr1MoVG 焊接接头组织性能研究[J].特种设备安全技术,2019(5):24-25.
- [9] 散元康.自动埋弧焊焊前除锈工艺介绍[J].焊接,1988(12):25-26.
- [10] 杨祎,王婧,李慧平,等.GB150.1~4—2011 与 ASME VIII-1—2015 钢制压力容器焊接模拟试件力学性能试验项目的比较[J].石油和化工设备,2018,21(6):61-63,65.
- [11] 刘汉宝.ASME 规范中碳钢和低合金钢材料冲击试验规定的探讨[J].石油化工设备技术,2019,40(1):1-5.
- [12] 潘国辉,徐辉,马丽丽,等.ASME 规范 VIII-1 卷中低温冲击试验要求的评定原则[J].科技与企业,2014(11):381.
- [13] 廖芳芳,戴勇飞,何安生.基于 ASME 标准异种钢焊接的弯曲试验研究[J].装备制造技术,2021(5):62-66.
- [14] 赫·汉伯瑞克.焊接评定中对 ASME 法规第 IX 卷的理解及其应用[J].压力容器,1988(1):63-75.
- [15] 应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级别的标准试验方法 第 3 部分:钢中碳化物级别的图像分析与体视学测定:GB/T 18876.3—2008 [S].
- [16] 刘波,戴月红.新版金属材料常用硬度试验方法标准的解读[J].轴承,2019(12):63-67.
- [17] ZHEN Fan,WANG Wei,YANG Han,et al.Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of HB400 grade high strength abrasion resistant steel [J]. Journal of iron and steel research (International),2011,18(S1):637-640.

(柏编)

### 《石油化工设备》期刊发行及涵盖部门

- 中国石油天然气集团公司及所属企事业单位
- 中国海洋石油总公司及所属企事业单位
- 国家经贸委和相关部委的主管职能部门
- 石油石化工程建设单位
- 相关勘察设计院
- 中国石油化工集团公司及所属企事业单位
- 原机械工业部所属全国大中型企事业单位
- 政府(集团)采购办
- 相关研究机构
- 相关高等院校

### 《石油化工设备》期刊广告刊登范围

- 石油、石化设备、零部件加工企业
- 管件及防腐材料生产企业
- 各种类型的热交换设备
- 各种类型的塔设备
- 电器专用设备及仪器、仪表生产企业
- 各类工业锅炉及压力容器生产企业
- 各种规格的储罐
- 各类泵、阀及压缩机

### 联系方式

地 址:上海市金山区干巷汇丰东大街 588 号(201518)  
电 话:(021)57207611,13611869206  
联系人:张漪芳

<http://syhgsb.paperopen.com>  
传 真:(021)57208857  
E-mail:syhgsb@163.com