

DOI:10.13979/j.1007-7235.2023.11.010

飞机后整流罩用 3A21F 铝合金的 GTAW 工艺研究

余 辉, 胡水莲, 张维维, 白鹏飞, 段虹匡
(国营芜湖机械厂, 安徽 芜湖 241000)

摘要:为了验证某型飞机后整流罩用 3A21F 铝合金板钨极惰性气体保护焊 (GTAW) 焊接接头的性能, 试验采用 3A21F 铝合金进行对接试验, 通过宏观检验、金相组织和硬度拉伸等检测手段, 研究不同工艺参数对 3A21F 铝合金 GTAW 焊缝组织与性能的影响。结果表明, 焊缝边缘为柱状晶, 该区域易形成应力集中; 焊缝中心多为等轴晶; 在外部热源的影响下, 靠近 3A21F 铝合金母材的热影响区底部晶粒比较粗大。随着焊接电流的增大, 柱状晶和等轴晶数量逐渐增多, 尺寸逐渐增大。氩气流量对焊接接头的组织几乎没有影响。柱状晶区宽度随着焊接电流和氩气流量的增加而增大, 柱状晶区的硬度高于等轴晶区的硬度, 母材硬度最低。当焊接电流为 47 A, 氩气流量为 6.5 L/min 时, 焊接接头的抗拉强度最大, 为 112.89 MPa, 达到了母材抗拉强度的 76%。

关键词:3A21F 铝合金; 钨极惰性气体保护焊; 柱状晶; 等轴晶; 显微硬度; 抗拉强度

中图分类号:TG442 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7235(2023)11-0051-06

GTAW process study of 3A21F aluminum alloy for aircraft rear fairing

YU Hui, HU Shuilian, ZHANG Weiwei, BAI Pengfei, DUAN Hongkuang
(State-owned Wuhu Machinery Factory, Wuhu 241000, China)

Abstract: In order to verify whether the performance of a certain type of aircraft rear fairing aluminum alloy after welding meets the requirements, this experiment uses 3A21F aluminum alloy for gas tungsten arc welding (GTAW). The influence of different process parameters on the microstructure and performance of 3A21F aluminum alloy GTAW weld seam was studied through macroscopic inspection, metallographic structure, and hardness tensile testing methods. The results show that the edge of the weld shows columnar crystals. The stress concentration is easy to form in this area. The weld center is mostly equiaxed crystals. The grain size of the bottom structure of the heat-affected zone (HAZ) near the 3A21F base metal is relatively larger under the influence of external heat sources. With the increase of welding current, the number and size of columnar and equiaxed crystals gradually increase. The argon flow rate has almost no effect on the microstructure at the joint. The microhardness test results show that the width of the columnar crystal zone increases with the increase of welding current and argon flow rate. The hardness of columnar crystals is higher than that of equiaxed crystals, and the hardness of the base material is the lowest. The tensile test results show that when the welding current is 47 A and the argon gas flow rate is 6.5 L/min, the maximum tensile strength of the weld seam can be obtained at 112.89 MPa, which reaches 76% of the base material strength and meets the process requirements of a certain aircraft

收稿日期:2023-06-30

第一作者简介:余辉(1994-),男,安徽安庆人,助理工程师。

type.

Key words: 3A21F aluminum alloy; tungsten inert-gas-shielded welding; columnar crystals; equiaxed crystal; microhardness; tensile strength

铝合金具有密度小、强度高及抗腐蚀等优点,广泛应用于飞机的航空油箱、蒙皮、发动机叶片等重要零部件^[1-3]。防锈铝合金在退火状态下塑性高、耐蚀性强、焊接性好^[4-6],在飞机后整流罩中得到了广泛的应用。防锈铝合金亲氧能力大,在常温下表面易形成一层致密的 Al_2O_3 薄膜^[7],熔点高达 $2\,050\text{ }^\circ\text{C}$ 。而钨极惰性气体保护焊(GTAW)具有成本低和操作简单等特点,是焊接铝合金的主要方法之一,这种焊接电源采用交流电源,通过“阴极破碎”作用^[8],使大量的氩气分离出正离子后,快速撞击工件表面,在很高的动能下可快速清除表面的氧化膜。

某型飞机的后整流罩长期服役于高温恶劣环境,受到高温高压、振动效应等影响,可能产生裂纹甚至破裂,威胁飞机的安全性。因此,研究不同的工艺参数对防锈铝合金焊接接头的影响,提高防锈铝合金焊接性能很有必要。为此,众多学者开展了防锈铝合金焊接的研究,严铿^[9]研究了 5356 铝合金焊丝对 7475 铝合金 GTAW 焊接接头热裂纹的影响,结果表明,随着热输入的增加,焊接接头热裂纹敏感性增大,焊缝区有 $\alpha\text{-Al}$, $\text{Al}_{0.403}\text{Zn}_{0.597}$ 和 $\text{Al}_7\text{Cu}_3\text{Mg}_6$ 低熔共晶组织生成。简俊岭^[10]等人研究了 3A21 铝合金的电阻焊工艺,结果表明,3A21 铝合金电阻焊在焊接电流为 15.3 kA 、通电时间为 0.21 s 、电极压力为 $2\,300\text{ N}$ 时,焊接结果最好;分析焊接过程中出现的缺陷表明,除了 3A21 铝合金母材内部的缺陷外,其表面较厚的氧化膜是影响焊接质量的重要因素。

本试验对 3A21F 铝合金 GTAW 工艺进行研究,确定合理的工艺参数,为飞机后整流罩用 3A21F 铝合金的 GTAW 工艺研究提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料母材为 3A21F 铝合金,规格为 $300\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 12\text{ mm}$,抗拉强度为 141 MPa ,金相组织如图 1 所示。焊丝选用 $\phi 2\text{ mm}$ 的 3A21 铝合金。母

材和焊丝的化学成分如表 1 所示。

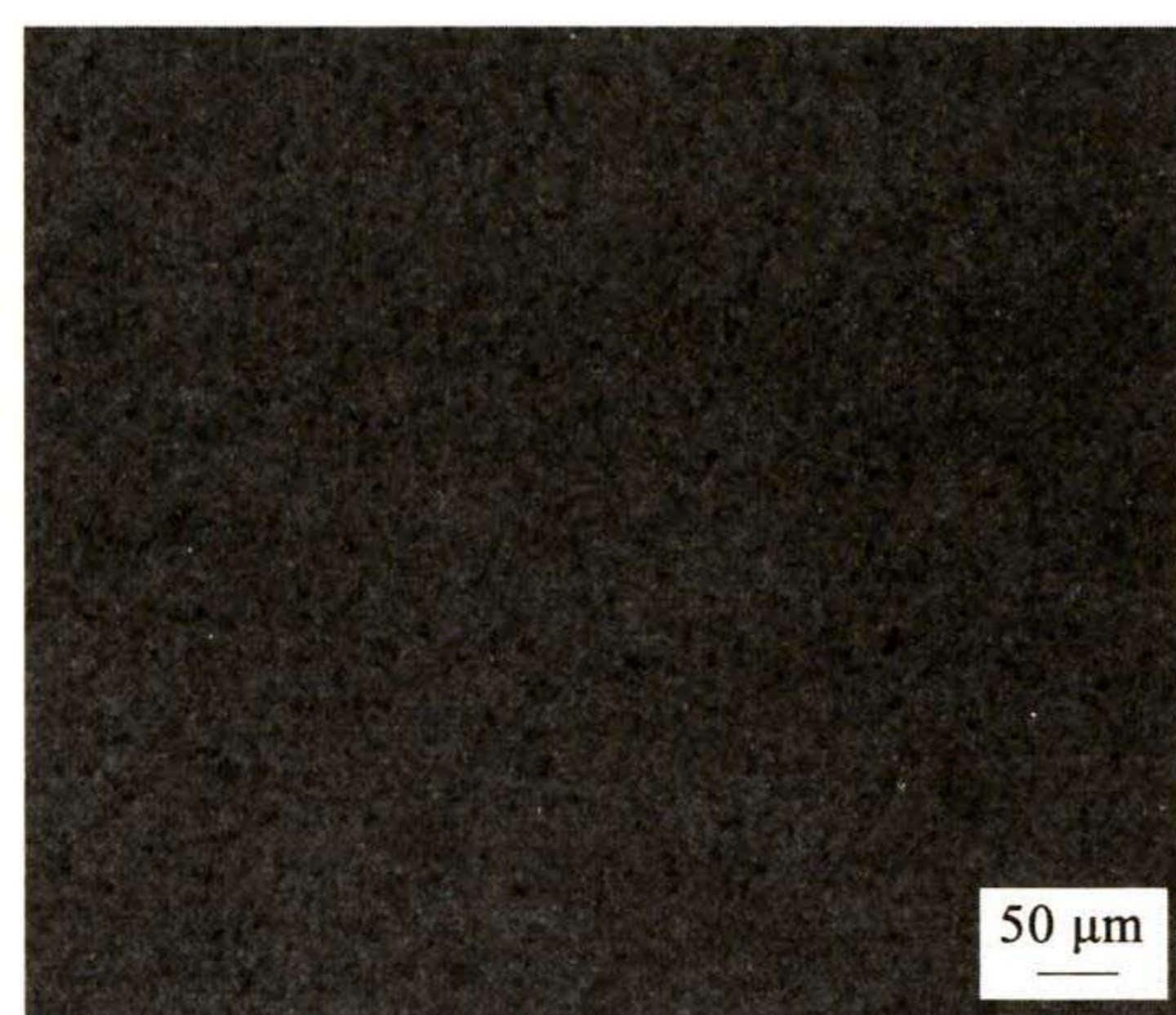


图 1 3A21F 铝合金金相组织

Fig. 1 Metallographic structure of 3A21F aluminum alloy

表 1 3A21 铝合金的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of 3A21 aluminum alloy (wt/%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.6	0.7	0.2	1.4	0.05	0.15	0.18	余量

1.2 试验方法

试验采用的设备是由美国林肯电气公司生产的 Precision TIG375 交直流氩弧焊机,焊接过程中保护气为纯度 99.99% 的氩气。焊接工艺参数:喷嘴直径 8 mm ,焊枪角度 40° ,钨极直径 2.4 mm ,钨丝伸出长度 5 mm ,焊丝直径 2 mm ,焊接速度 3 mm/s ,焊接电压 17.5 V ,按表 2 所示的工艺参数进行 GTAW。焊接完成后利用线切割沿焊接方向切割熔覆层与母材。对取得的试样进行镶嵌,磨光抛光后腐蚀,腐蚀液体积比为 $V_{\text{H}_3\text{PO}_4}:V_{\text{H}_2\text{O}}=1:9$,腐蚀时间为 15 s 。采用德国蔡司 AxioScope A1 金相显微镜观察熔覆层组织。使用 QnessQ10A 型显微硬度计对熔覆层硬度进行测量,加载载荷为 1.961 N ,加载时间为 15 s ,测量路径如图 2 所示。选用 CSS-44100 微机控制电子万能试验机测得不同工艺参数下的焊接接头抗拉强度和断后伸长率,拉伸速度为 10 mm/min ,每组截取 3 个试样取其平均值作为试验结果。

表2 GTAW 工艺参数

Table 2 GTAW parameters

试样编号	焊接电流/A	氩气流量/(L·min ⁻¹)
1#	40	6.5
2#	47	6.5
3#	54	6.5
4#	47	6
5#	47	6.5
6#	47	7

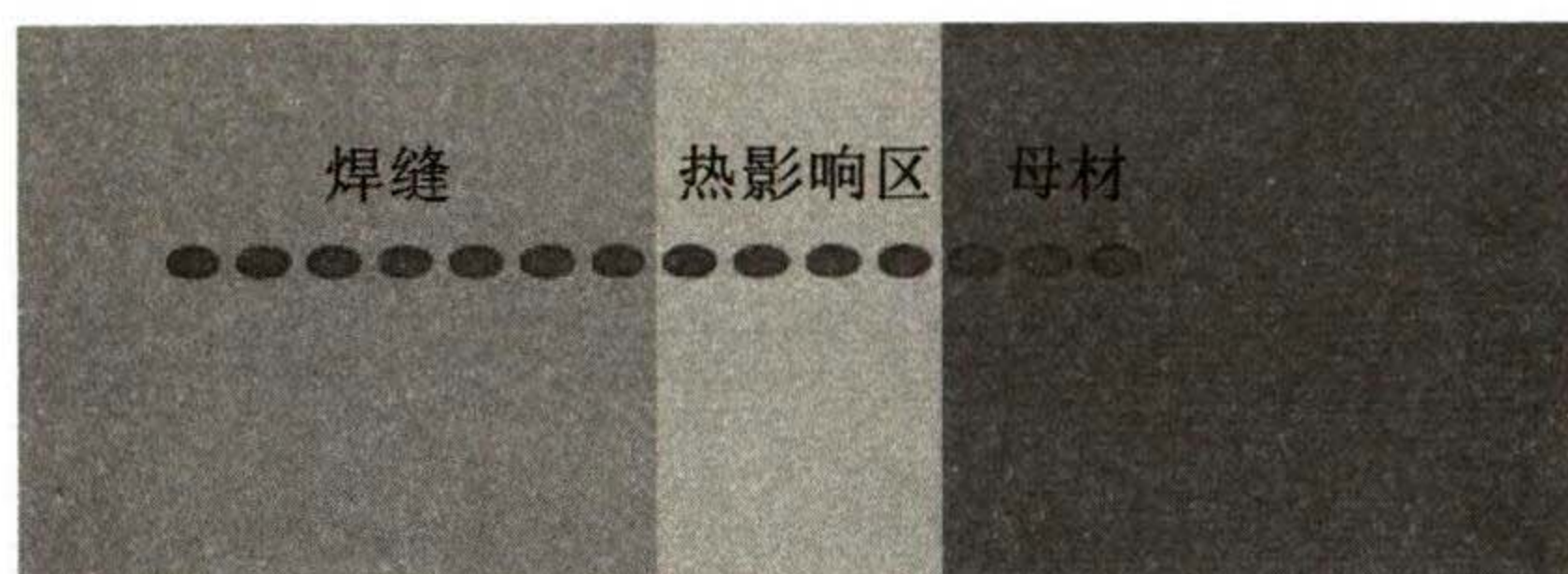


图2 硬度测试路径示意

Fig. 2 Schematic diagram of hardness test path

2 试验结果与讨论

2.1 工艺参数对焊缝成型的影响

图3为不同工艺参数下的熔深和熔宽图。由图3a可知,当氩气流量为6.5 L/min,焊接电流为47 A时,焊缝的熔深为0.81 mm,熔宽为2.18 mm。随着电流的增大,焊缝的熔深和熔宽逐渐增大,当焊接电流为54 A时,熔深和熔宽最大。这是由于在其他条件不变时,随着焊接电流的增大,GTAW焊的电弧热增加导致熔池受到的热量也会增大,而且焊接电流的增加也会增大电弧的宽度,因此焊接电流越大,热输入越大,焊缝的熔宽和熔深越大。

由图3b所示,当焊接电流稳定在47 A,氩气流量为6 L/min时,焊缝的熔宽为2.26 mm,熔深为1.05 mm。随着氩气流量的增加,焊缝的熔深和熔宽逐渐减小,当氩气流量为7 L/min时,熔深和熔宽最小。分析认为,当焊接电流保持不变时,熔池的热输入量不变,氩气流量的增加,会提高熔池的冷却速度,缩短熔池的凝固时间,因此氩气流量越大,焊缝的熔深和熔宽越小。

2.2 工艺参数对焊缝组织的影响

3A21F铝合金GTAW焊接接头典型(电流为47 A,氩气流量为6.5 L/min)宏观组织如图4所示。由图4可见,焊接接头由焊缝、热影响区和母材

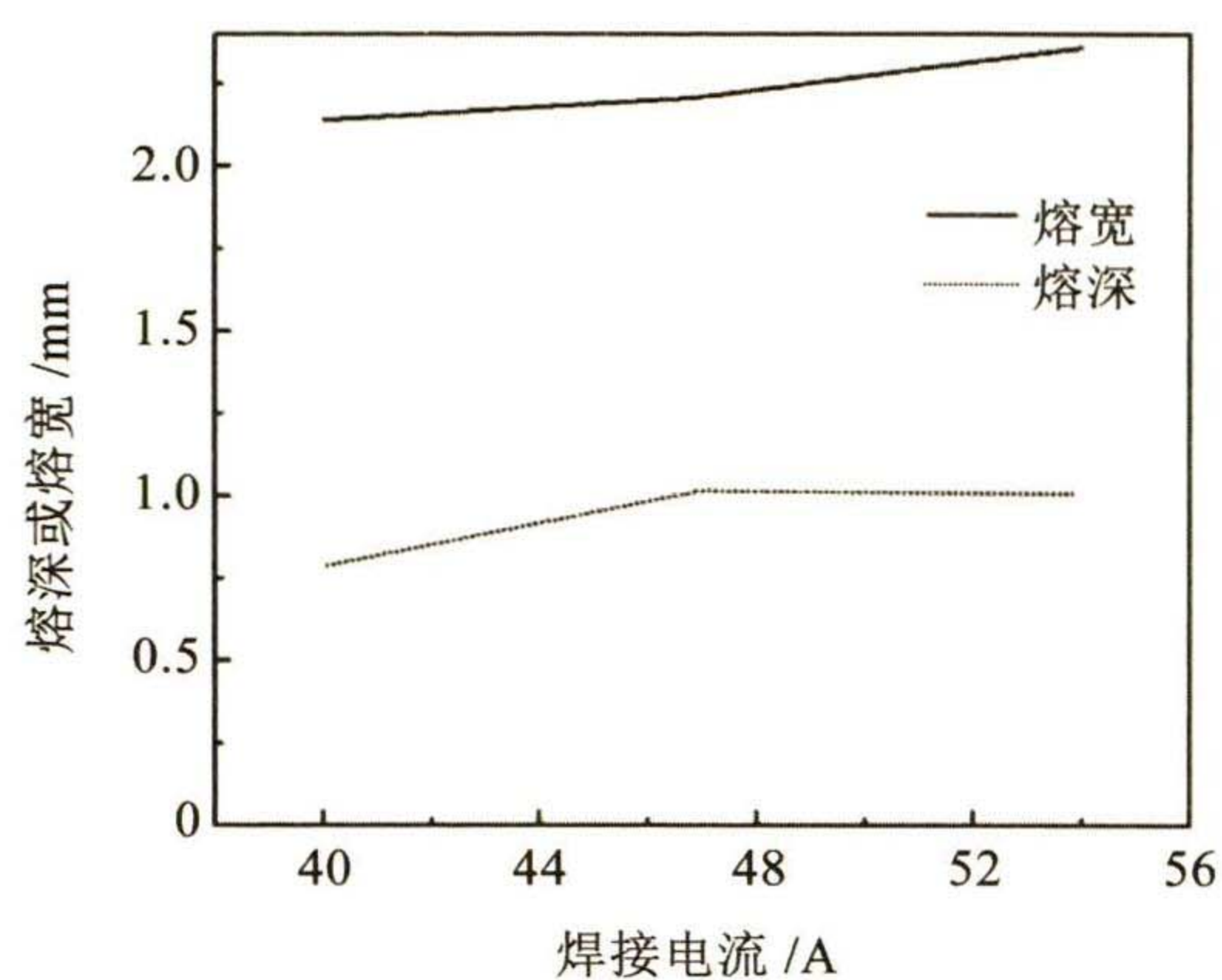
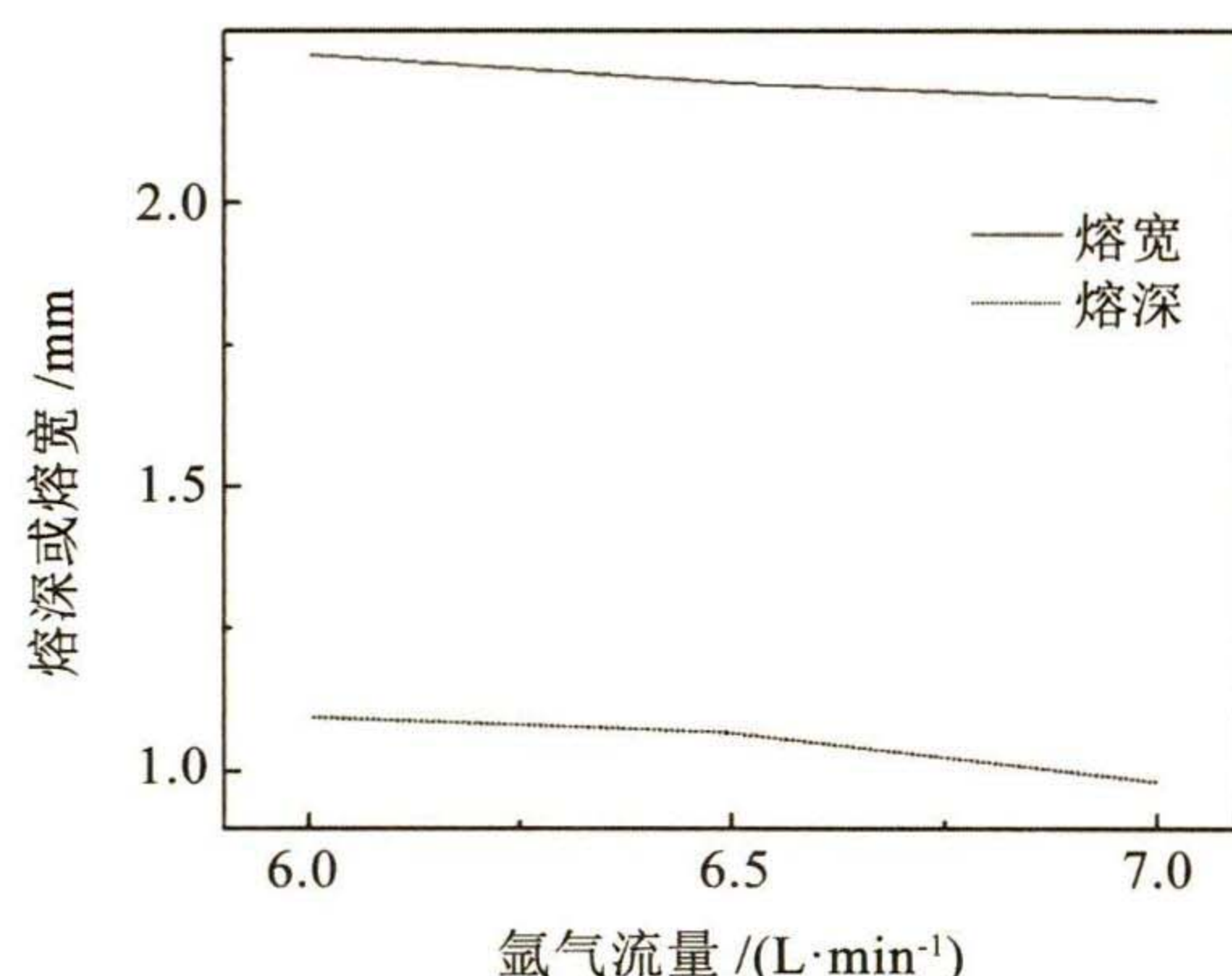
a- 氩气流量为6.5L/min时
焊接电流与熔深和熔宽的关系b- 焊接电流为47A时
氩气流量与熔深和熔宽的关系

图3 不同工艺参数下的熔深和熔宽

Fig. 3 Penetration depth and width under different process parameters

组成。焊缝边缘是柱状晶区,焊缝中心多为等轴晶。靠近3A21F铝合金母材的热影响区底部组织在外部热源的影响下比较粗大。

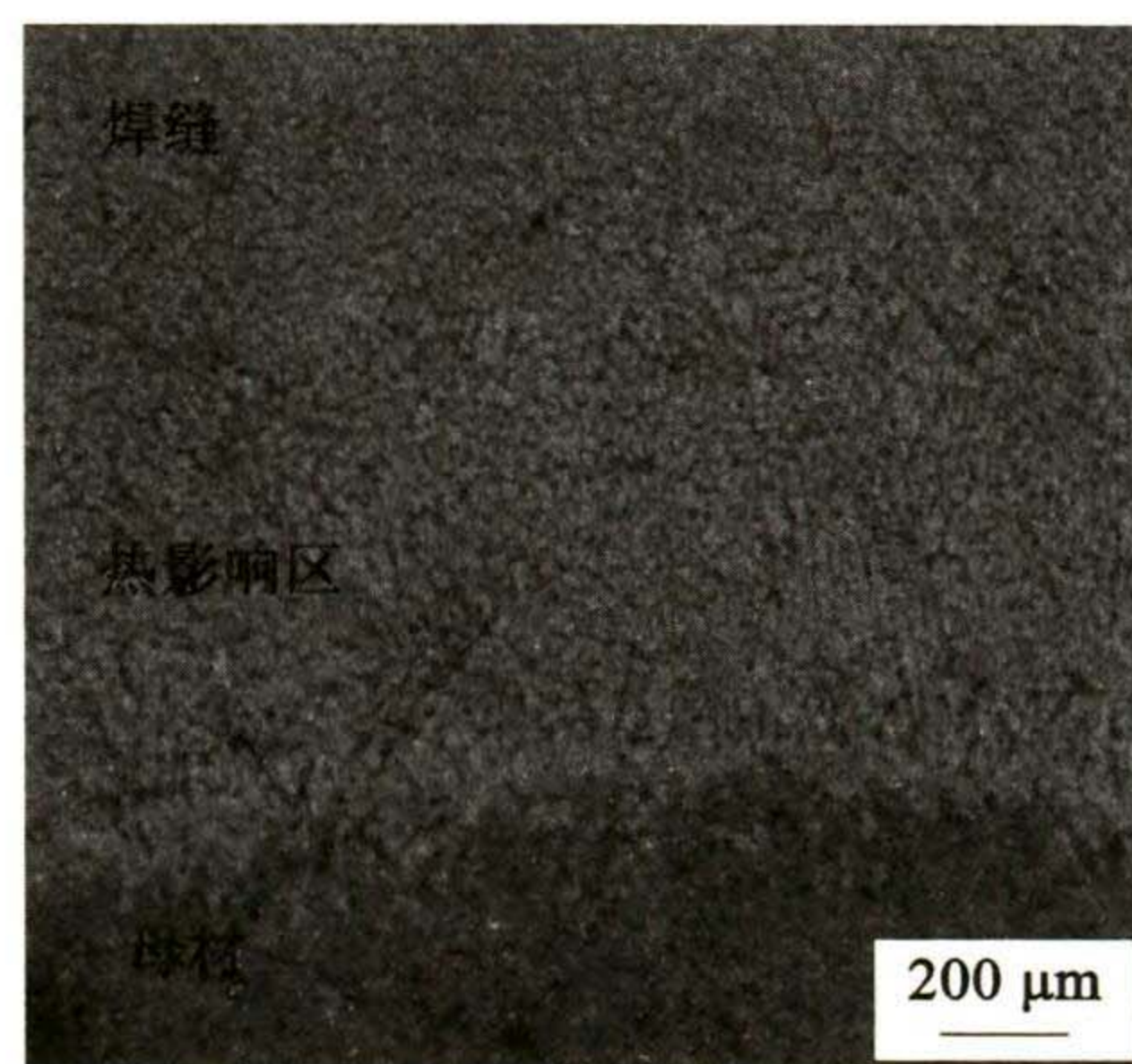


图4 3A21F铝合金GTAW焊接接头典型组织形貌

Fig. 4 Typical morphology of GTAW joint of 3A21F aluminum alloy

在氩气流量为6.5 L/min时,试样1#、2#、3#的

组织如图5所示。由图5可见,随着焊接电流的增大,焊缝边缘柱状晶区面积逐渐增大,枝晶间距也逐渐增大。

在焊接电流为47 A时,不同氩气流量下的组织

如图6所示。由图6可见,随着氩气流量的增大,焊缝边缘和焊缝中心区的组织基本没什么变化。当焊接电流不变时,熔池的热输入不变,故不同氩气流量下的组织没有变化。

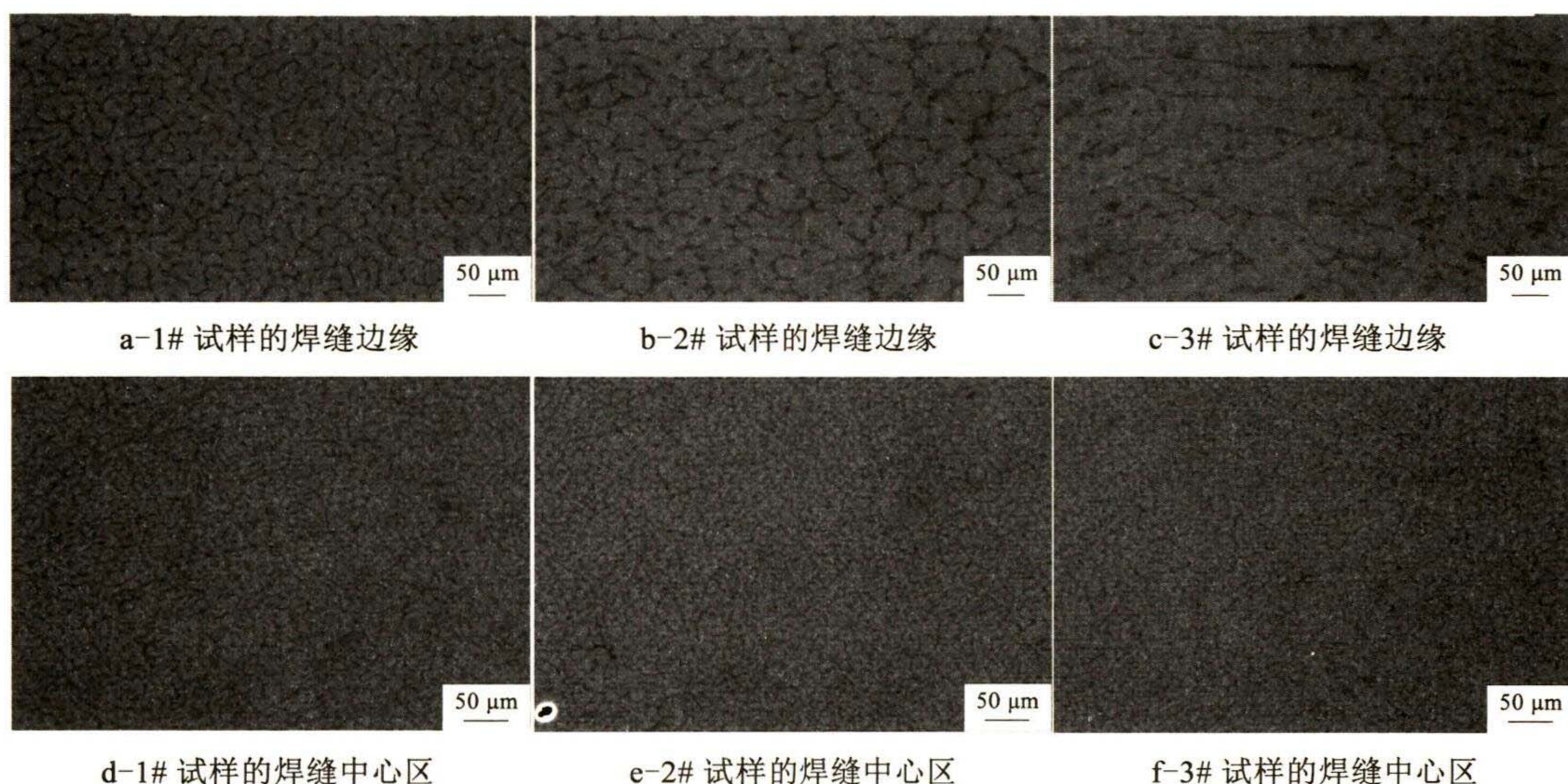


图5 氩气流量为6.5 L/min时不同焊接电流的热影响区和焊缝区组织

Fig. 5 Structures of HAZ and weld zone under different welding current

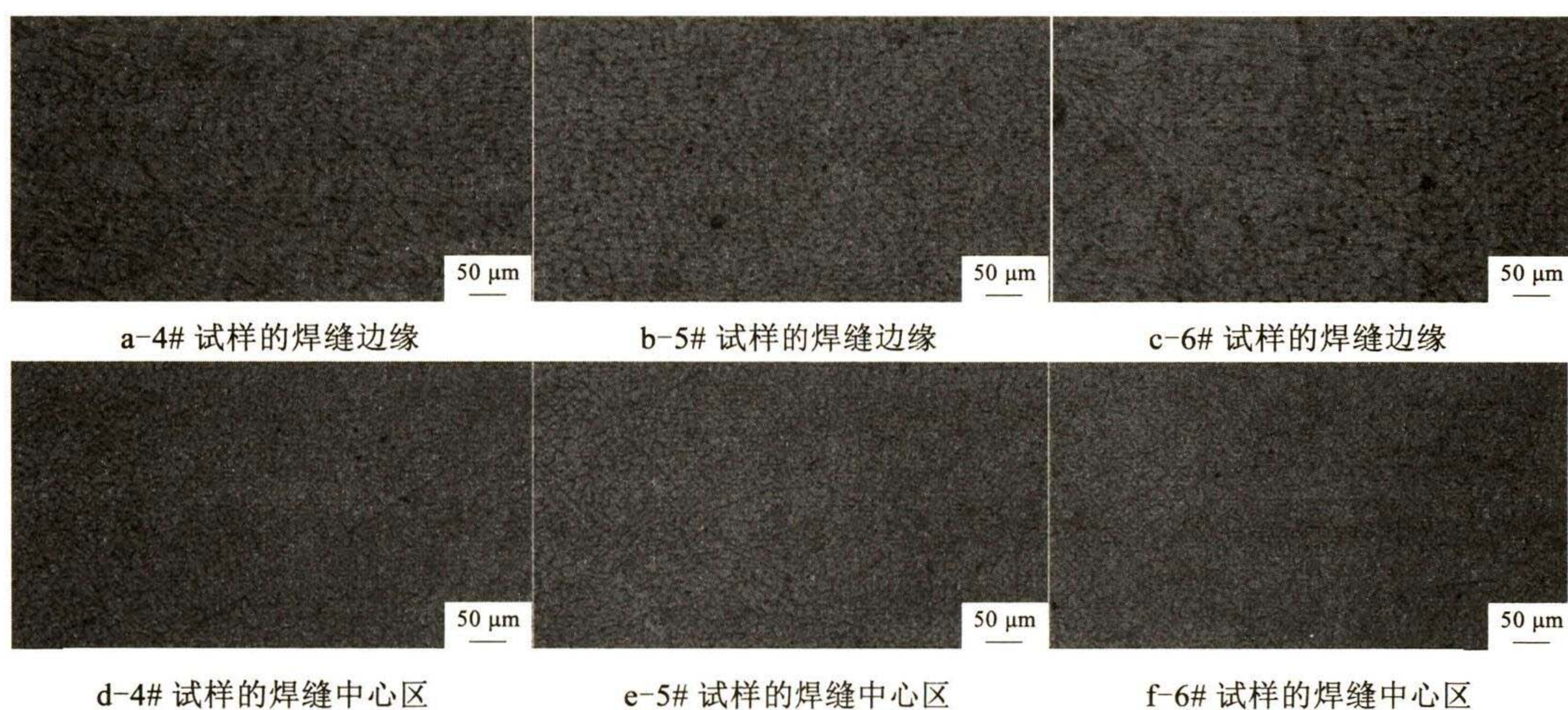


图6 焊接电流为47 A时不同氩气流量的热影响区和焊缝区的组织

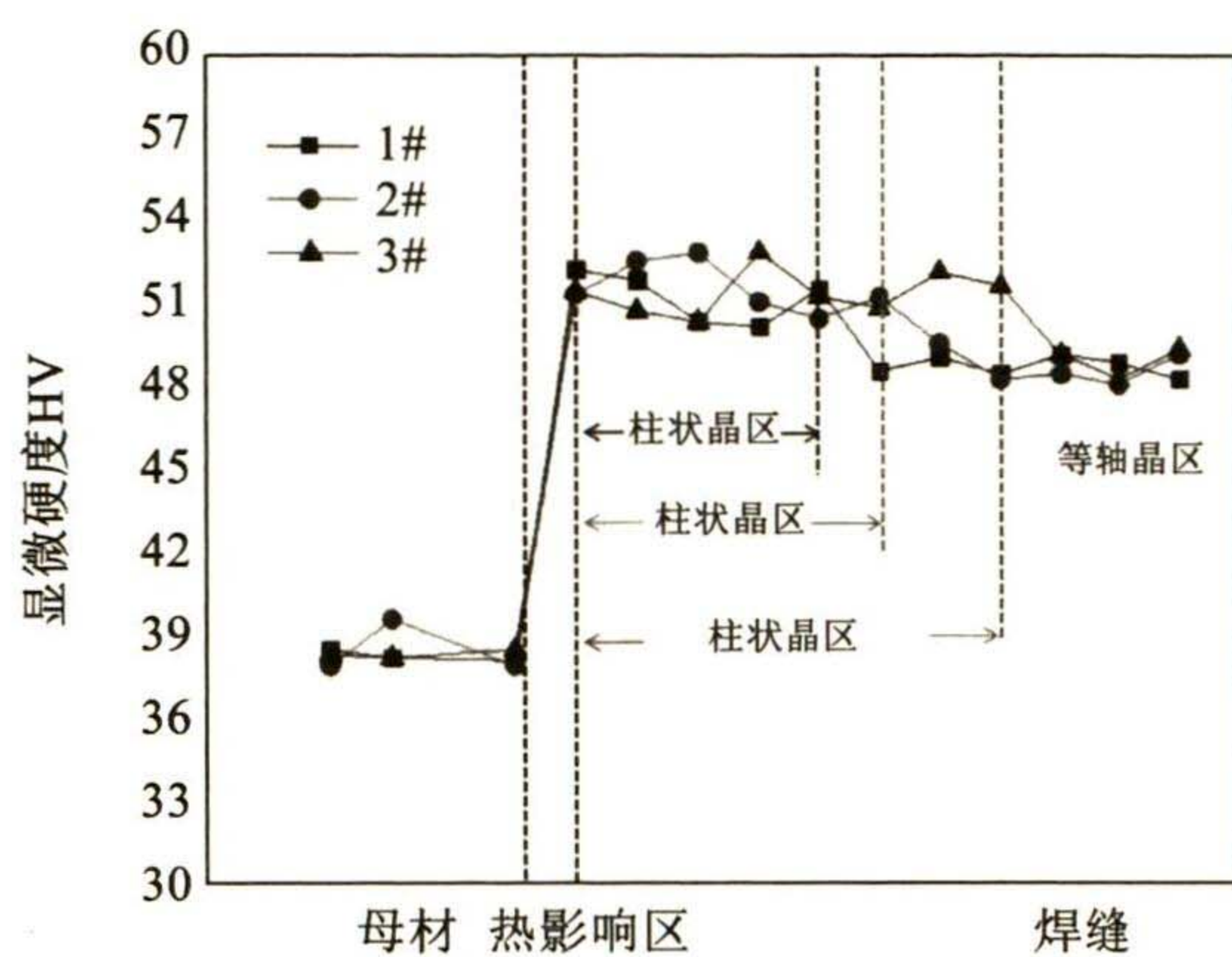
Fig. 6 Structure of HAZ and weld zone under different argon flow with welding current of 47 A

晶粒在长大过程中,其形态受温度梯度影响。金属在凝固时会产生温度梯度。液态金属在凝固后的形态和固—液界面处液相的温度梯度存在一定的关系,液固界面前沿液相温度梯度大时,晶粒会以平面晶的形式生长,故焊缝边缘的组织为柱状晶;当温度梯度 G 较小,结晶速度 R 又较大时,过冷度过大,导致晶粒以等轴晶生长,故焊缝中心区的组织为等轴晶。

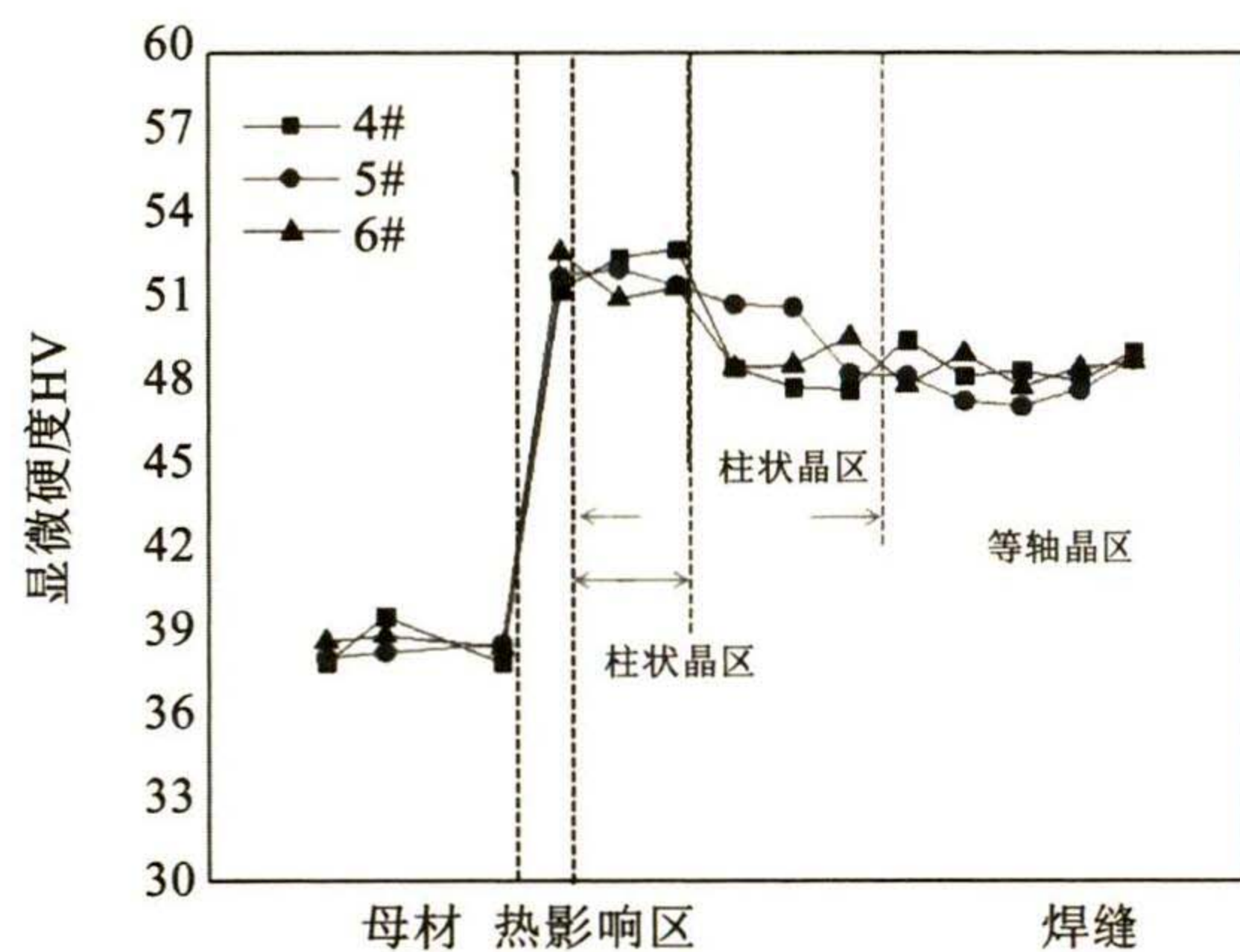
2.3 工艺参数对焊缝性能的影响

图7为不同工艺参数下焊缝的显微硬度值。由图7a可知,母材的显微硬度值约为38.9 HV。焊缝的显微硬度均高于母材的,焊缝的最高硬度为52.9 HV。随着焊接电流的增加,焊缝的硬度稍微增加,柱状晶区的宽度逐渐增加。这是由于焊接电流的增加会导致焊缝的热输入增大。不同焊接电流焊缝冷却时间不同,3#试样焊缝的冷却时间最长,焊缝

边缘的柱状晶有足够的时间的形核长大,因此,柱状晶区的宽度最大。



a-不同焊接电流焊接接头的硬度分布



b-不同氩气流量焊接接头的硬度分布

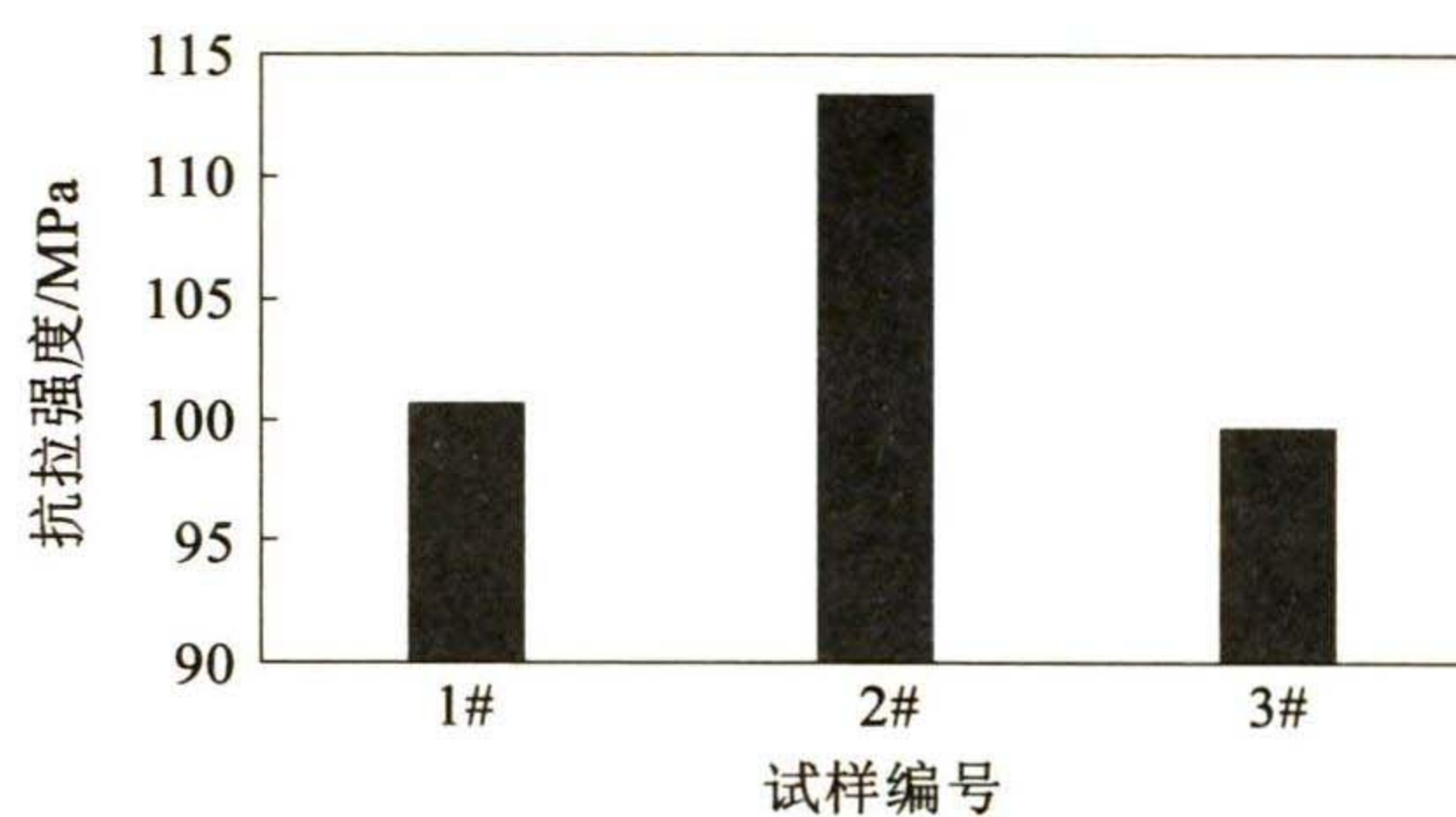
图7 不同工艺参数焊接接头的显微硬度值

Fig. 7 Microhardness of the weld joint under different process parameters

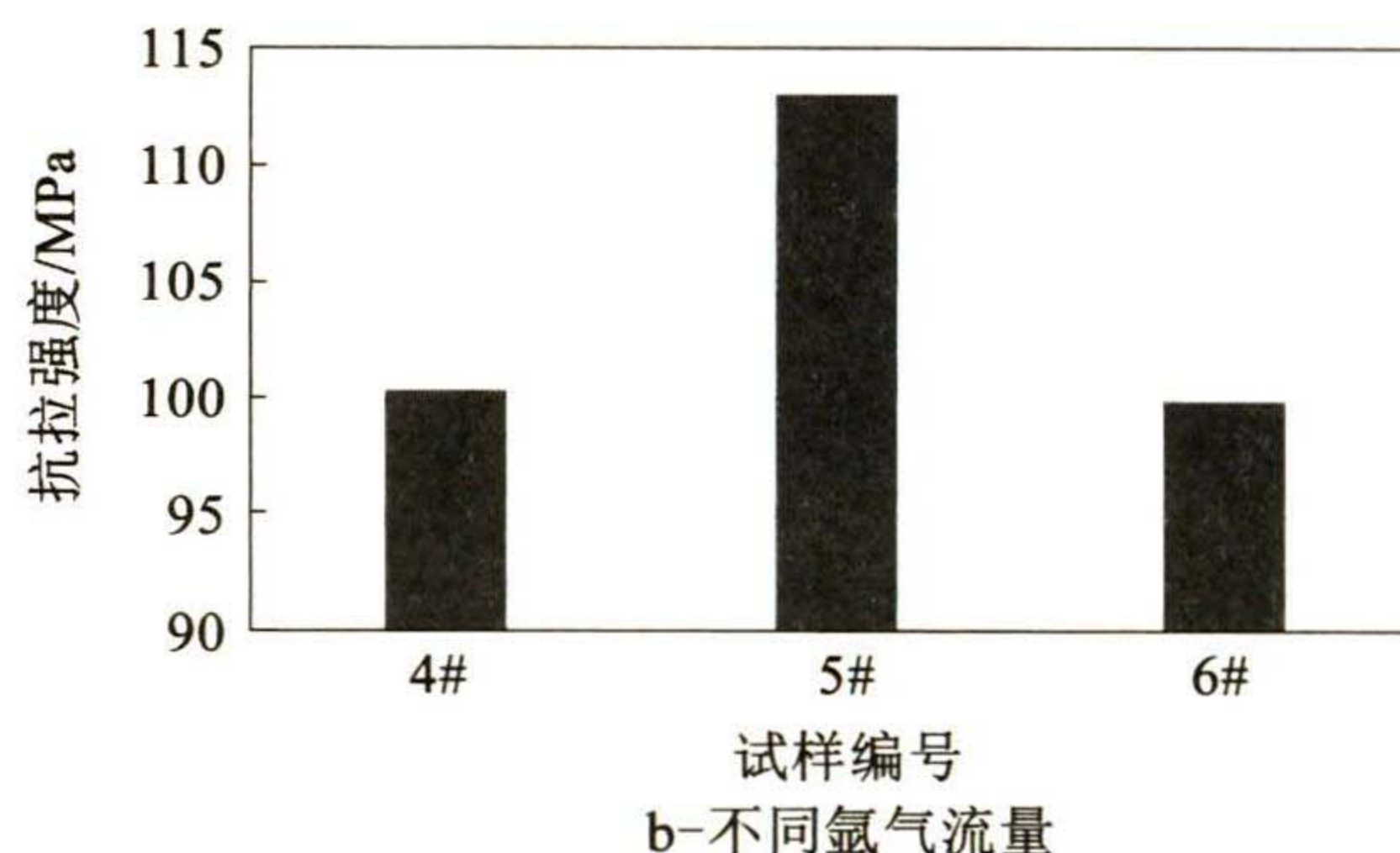
由图7b可知,由母材至焊缝,焊缝的硬度逐渐增加,热影响区和焊缝的硬度均高于母材的。4#试样焊缝中柱状晶区的宽度最大。分析认为,氩气流量为7 L/min时,流量过大,导致焊缝的冷却速度增大,焊缝边缘的柱状晶来不及长大,因此柱状晶区的宽度最小。

图8为不同焊接电流和氩气流量的焊缝拉伸性能测试结果。如图8a所示,保持氩气流量不变,改变焊接电流可知,1#试样抗拉强度为100.8 MPa,

随着焊接电流的增加,抗拉强度先增加后降低,2#试样的抗拉强度最大。如图8b所示,保持焊接电流不变,改变氩气流量可知,4#试样的抗拉强度为99.3 MPa,随着氩气流量的增加,平均抗拉强度先增加后降低,氩气流量为6.5 L/min时的抗拉强度最大,为112.89 MPa。



a-不同焊接电流



b-不同氩气流量

图8 不同工艺参数下焊缝的抗拉强度

Fig. 8 Tensile strength of weld seam under different process parameters

3 结 论

1)3A21F 铝合金钨极惰性气体保护焊接的焊缝边缘是柱状晶区,焊缝中心多为等轴晶,热影响区底部组织比较粗大。

2)随着焊接电流的增加,焊缝的熔深和熔宽逐渐增加,柱状晶区面积逐渐增大。氩气流量对接头处的组织几乎没影响。

3)随着焊接电流和氩气流量的增加,焊缝的硬度稍微增加,抗拉强度先增加后降低,焊接电流为47 A,氩气流量为6.5 L/min时焊缝的力学性能最好。

参考文献:

- [1] 杨宗辉,孙孝纯. 铝合金的现代焊接技术[J]. 电焊机, 2003, 33(12):5.
- [2] 陈国庆,树西,柳峻鹏,等. 真空电子束焊接技术应用研究现状[J]. 精密成形工程, 2018,10(1):9.
- [3] 高子强,晁耀杰,宋鸿武,等. 多次TIG补焊对LF6铝合金焊接接头组织的影响[J]. 兵器装备工程学

- 报, 2020, 41(3):5.
- [4] 袁建宇, 逢锦程, 谢国君, 等. 5A06 防锈铝合金的应力腐蚀开裂特性研究[J]. 金属热处理, 2019 (S01):5.
- [5] 周广涛, 黄海瀚, 方洪渊. 随焊超声波激振法控制铝合金薄板焊接应力及变形[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(4):7.
- [6] 周广涛, 胡庆睿, 刘 彪, 等. 随焊高速气流场辅助高强铝合金薄板焊接应力演变及控制变形机理[J]. 焊接学报, 2023, 44(2):9.
- [7] 郎利辉, 许爱军, 李 涛, 等. 基于单向拉伸的防锈铝合金温热力学性能研究[J]. 航空材料学报, 2012, 32(1):5.
- [8] 汪振华, 袁军堂, 胡小秋, 等. 3A21 铝合金的高速铣削试验[J]. 中国机械工程, 2009(14):5.
- [9] 严 铿, 叶友利, 王锡岭. 焊接材料对喷射成形 7475 铝合金 TIG 焊接头热裂纹的影响[J]. 焊接学报, 2012, 33(1):4.
- [10] 简俊岭. 铝合金的电阻焊工艺研究—以 3A21 为例[J]. 南方农机, 2017, 48(21):2.
- [11] 余 辉, 邢 丽, 柯黎明. 冷却条件对 DZ125 合金等离子弧喷焊熔覆层组织及性能的影响[J]. 电焊机, 2021, 51(5):8.

华建铝业公司吴维光获“山东省非公有制经济人士优秀中国特色社会主义事业建设者”称号

吴维光同志系山东华建铝业集团有限公司董事长,带领华建铝业集团不断提高核心竞争力。华建集团位于临朐,是中国铝合金建筑型材和工业型材重点生产和科研单位,是中国建筑铝型材十强企业(位居第三),中国制造业民营企业 500 强,中国房地产开发企业 500 强首选供应商,铝型材产能 800 kt/a,员工 1 万余人,始建于 2000 年,现已发展成为以铝型材产业为主,其他相关产业协同发展的大型企业集团。拥有“五区六园两平台”,五个生产厂:华建铝业一分厂、二分厂、三分厂、华建科技(四分厂)、五分厂;六个产业园区:中欧节能门窗产业园、中国铝模板产业园、华建工业园、华建科技园、华建科创园、华建农业生态园;两个服务平台:临朐国际会展中心会展服务平台、山东标正检验检测有限公司检验检测平台。

(王祝堂)