

0Cr16Ni22Mo2Ti 钢在闪光焊接过程中 纳米晶的形成

张福成 张 明 胡白桃 王天生

(燕山大学材料与化工学院, 秦皇岛 066004)

摘要 0Cr16Ni22Mo2Ti 奥氏体钢在闪光焊接过程中, 材料经快速加热到熔融温度并强烈变形, 焊接熔合区内形成纳米晶组织, 熔合线处纳米晶的尺寸为 20 nm, 随距熔合线距离的增大纳米晶尺寸增大, 纳米晶层的厚度为 50 μm . 此纳米晶形成的原因是半固态金属经强烈塑性变形使其中固相组织碎化及其引起的细化.

关键词 纳米晶 闪光焊接 塑性变形

纳米材料在力学、光学、电学、化学及磁学等方面表现出的优异性能向人们展示了其诱人的应用前景, 已成为当前材料科学工作者研究的一个热点. 机械合金化、超细粉烧结、非晶晶化处理等是人们熟知的可以得到纳米级超细晶材料的工艺方法. 快速加热可显著细化钢铁材料的奥氏体晶粒, 金属材料在室温强烈变形可以得到超微晶组织^[1], 利用深过冷处理方法也可以制备纳米材料^[2], 对于半固态金属进行强烈搅拌可获得细晶凝固组织^[3]. 对半固态钢铁材料进行强烈变形能否获得纳米晶材料方面的研究未见报道. 高速铁路要求将高锰钢辙叉与碳钢钢轨焊接到一起, 然而由于这两种材料在物理性质和组织结构等方面的显著差异, 它们的焊接存在很大的困难. 我们借助焊接介质材料, 并利用材料性质梯度过渡的思想结合闪光焊接方法进行试验, 获得焊接成功^[4]. 在研究焊接接头组织时, 发现 0Cr16Ni22Mo2Ti 奥氏体钢焊接介质与高锰钢闪光焊接后, 其熔合区组织为纳米晶. 闪光焊接时熔合区材料的热/力条件为熔融温度和强烈变形. 本研究分析纳米晶的组织结构和其形成机理.

1 实验

试验用材料为 0Cr16Ni22Mo2Ti 奥氏体钢和普通 ZGMn13 奥氏体钢. 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢经真空感应炉熔炼后进行锻造, 锻件空冷后, 再将其加热到 850°C 保温 10 min 空冷. 利用瑞士制造的 GAAS 80/700 型闪光焊机, 将 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢与 ZGMn13 钢进行预热闪光焊接. 闪光焊接工艺过程是利用大电流使对焊端面材料迅速加热到熔化状态, 然后通过施加压力快速将两者对焊到一起. 在闪光焊接时两对焊材料熔合区所受的热/力条件相同, 加热速度为 30°C/s, 变形温度在液固两相温度区间, 变形速度 100 mm/s, 变形压力 70 MPa, 焊后材料在熔点温度附近的冷却速度 30°C/s, 从高温到室温的平均冷却速度 1.2°C/s. 由于闪光焊接时顶锻压力很大, 熔化的金属被迅速挤出, 熔合区实际上是半熔化区. 通过 Formarst-F 型膨胀仪模拟闪光焊接时材料熔合区的热循环过程, 分析两种对焊材料熔合区在焊接热循环过程的相变过程, 同时测定了它们的熔点. 利用 EM420 型透射电子显微镜观察熔合区组织结构, 并用扫描透射能谱分析各微区合金元素的化学成分. 电子显微镜试样的制备是首先机械减薄至 30 μm 以下, 再利用离子减薄方法获得观察所需的薄区.

2 结果与讨论

0Cr16Ni22Mo2Ti 钢焊接前组织为再结晶的等轴晶粒, 晶粒尺寸为 $60\ \mu\text{m}$ 左右. 热膨胀模拟分析结果表明, 在闪光焊接热循环过程中 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢和 ZGMn13 钢熔合区组织始终都为单一的奥氏体, 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢的熔点为 $1\ 285^\circ\text{C}$, ZGMn13 钢的熔点为 $1\ 370^\circ\text{C}$.

0Cr16Ni22Mo2Ti 钢焊接后熔合区组织为纳米晶, 且通过对其衍射环标定确定这种纳米晶的结构为面心立方结构, 在熔合线处纳米晶的平均尺寸为 $20\ \text{nm}$ 左右, 如图 1 所示. 经扫描透射能谱分析该区合金元素成分为 Cr: 16.8, Ni: 21.2, Mo: 2.3, Ti: 0.51, 与合金元素的基体平均化学成分相当. 纳米晶区域约为在熔合区内沿熔合线宽为 $50\ \mu\text{m}$ 左右的带, 且有随距熔合线距离的增大纳米晶尺寸增大的规律, 如图 2(a)~(c) 所示, 而热影响区为变形奥氏体组织, 其中存在呈点状分布的高密度的位错(图 2(d)). 纳米晶粒尺寸分布如图 3 所示. ZGMn13 钢焊接熔合区内组织为变形奥氏体, 无纳米晶产生.

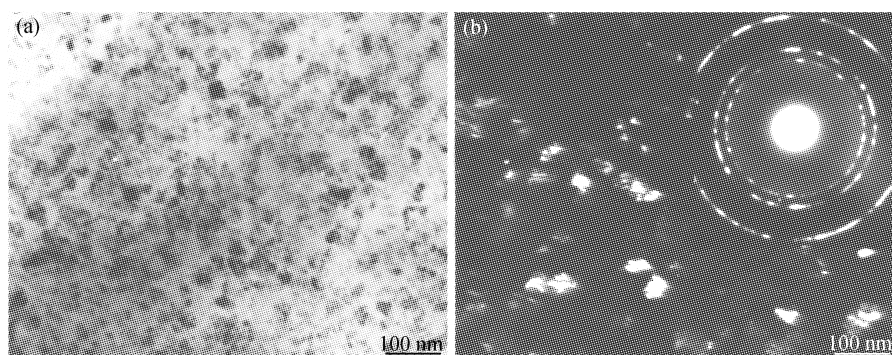


图 1 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢闪光焊接熔合线处纳米晶组织

(a) 明场; (b) 暗场像和衍射斑点

0Cr16Ni22Mo2Ti 钢焊接熔合区内纳米晶形成的原因是, 在闪光焊接过程中, 闪光预热阶段材料对焊端面熔化, 顶锻时大的顶锻压力将熔化的材料迅速从焊缝中挤出, 此时熔合区实际上为半熔化区, 顶锻压力使半熔化区产生强烈的塑性变形, 其中的原始固相晶粒被强烈的碎化, 随即形成超细化组织. 如同金属在室温经强烈变形后, 由于其晶粒被强烈碎化而形成纳米晶组织一样^[5]. 另外, 对比在焊接过程中受热/力状态完全一样的 ZGMn13 钢熔合区组织, 说明 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢中纳米晶的形成与其化学成分和熔点有重要的关系, 由于 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢的熔点较低, 在焊接顶锻时其熔合区材料变形较大, 可使其中的原始固相晶粒充分碎化, 另外, 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢中存在强烈阻碍晶粒长大的元素 Ti, 因此熔合区在结晶和结晶后的冷却过程中晶粒不易于长大, 从而形成纳米晶组织结构. 随着距熔合线距离的增大, 在焊接时材料的温度降低且变形量较小, 因此其中原始固相晶粒的碎化程度较低, 结晶后其纳米晶粒尺寸较大, 如图 2 所示.

图 2 的结果也说明, 此纳米晶形成的原因不是由于人们熟知的快速凝固造成的, 因为在焊接时熔合线处材料的温度最高, 其凝固速度最慢. 若纳米晶的形成是由于快速凝固造成的, 那么熔合线处纳米晶尺寸应最大, 远离熔合线处由于温度较低凝固较快, 形成的晶粒尺寸应

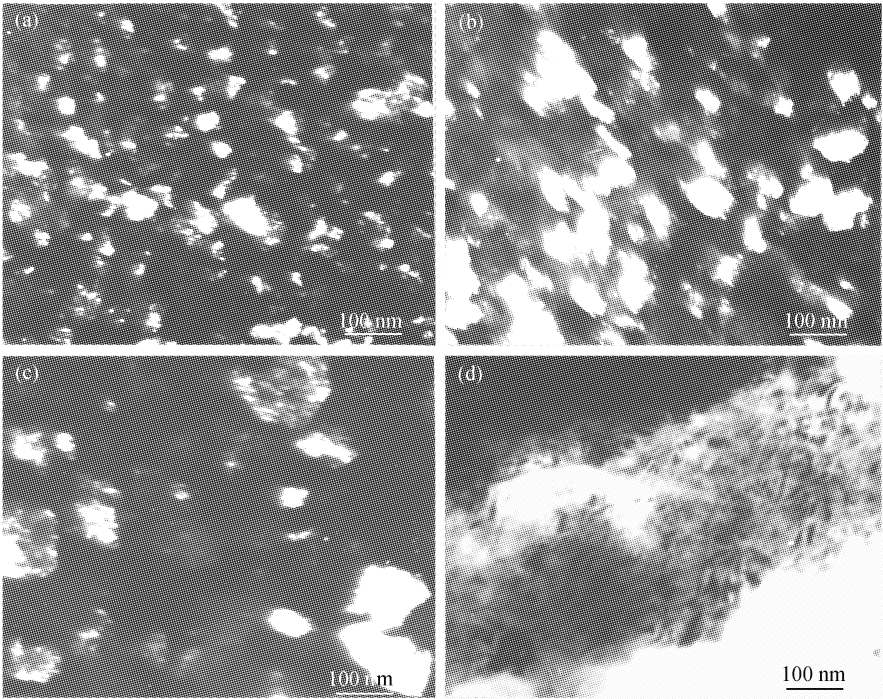


图 2 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢闪光焊接熔合区内距熔合线不同距离处的组织
(a) 5 μm (暗场像); (b) 20 μm (暗场像); (c) 40 μm (暗场像); (d) 100 μm (明场像)

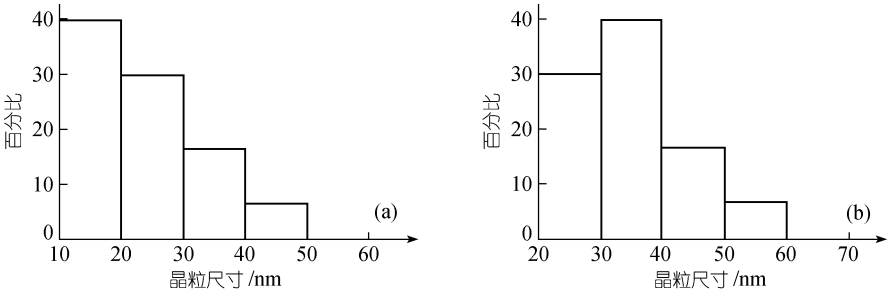


图 3 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢熔合区内纳米晶粒尺寸分布
(a) 对应于图 1; (b) 对应于图 2 (a)

较小，而这里所得的实际结果与此恰好相反。实际上，闪光焊接后熔合区的冷却速度较慢，在其熔点温度附近，冷却速度仅为 $30\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ，远达不到所谓快速凝固的条件。

上述试验结果与分析表明，0Cr16Ni22Mo2Ti 钢闪光焊接熔合区组织为面心立方结构纳米晶，其形成机制是半固态金属经强烈塑性变形使其中原始固相晶粒碎化及其引起的细化。

由于纳米晶结构材料在力学性能方面表现出超高强度和高韧性^[6]，它可用于制作十分重要的零部件。在清楚 0Cr16Ni22Mo2Ti 钢纳米晶组织形成机理的基础上，研究并确定其制备工艺，从而利用对半固态金属进行压力加工的方法制备出具有纳米晶结构的精密工件，这无疑具有重要的实际意义。

参 考 文 献

- 1 Valiev R Z, Korznikov A V, Mulyukov R R. Structure and properties of ultrafine-grained materials produced by severe plastic deformation. *Materials Science and Engineering*, 1993, A168: 141~148
- 2 张振忠, 宋广生. 深过冷 FeBSi 共晶块体纳米材料的凝固组织特征. *金属学报*, 1999, 35(7): 693~696
- 3 吴炳尧. 半固态金属铸造工艺的研究现状及发展前景. *铸造*, 1999, 3: 45~49
- 4 张福成, 徐安友, 王天生. 借助梯度涂层进行 ZGMn13 钢和 U71Mn 钢的焊接性研究. *机械工程学报*, 1999, 35(4): 67~69
- 5 Popov A A, Pyshmintsev I Yu, Demakov S L, et al. Structural and mechanical properties of nanocrystalline titanium processed by severe plastic deformation. *Scripta Materialia*, 1997, 37: 1089~1094
- 6 Jia D, Ramesh K T, Ma E. Failure mode and dynamic behavior of nanophase iron under compression. *Scripta Materialia*, 2000, 42: 73~78

(2000-03-01 收稿, 2000-06-05 收修改稿)