

岛津电子探针测试热轧复合板材界面处的元素扩展特征

EPMA-082

摘要：使用岛津电子探针对热轧复合板界面结合处元素的分布和扩散特征进行了面分析和线分析，可以掌握具体热处理工艺过程中元素的扩散深度和浓度，计算对应的扩散物理量。测试结果表明岛津电子探针通过配置高位52.5°的X射线检出角以及兼具灵敏度和分辨率的全聚焦分光晶体，对于超轻元素具有很高的测试灵敏度，对于元素含量的相对微量波动变化具有很好的测试效果。

关键词：热轧板 元素扩散 面分析 电子探针 岛津

技术特点：

- ❖ 岛津电子探针配置高位52.5°的X射线检出角以及兼具灵敏度和分辨率的全聚焦分光晶体，测试元素具有高灵敏度的特点；
- ❖ 岛津电子探针可以直观地表征热轧复合板界面处超轻元素和元素微量波动变化的线分析和面分析，为热处理工艺过程中元素扩散的现象与机理的研究提供数据支持。

高层建筑物常使用钢阻尼器来吸收外部振动能量，减轻外部振动对建筑物的破坏作用。孪生诱发塑性 (Twinning-induced plasticity, TWIP) 钢具有低周疲劳寿命长、循环加工硬化程度低以及低屈服强度等特点，是有潜力的下一代钢阻尼器的芯部材料。但由于其 TWIP 效应，使之具有较高的准静态变形加工硬化率，对于阻尼器的性能是不利的。

研究发现 TWIP 复合现有的低屈服点铁素体钢具有更好的性能特点。比如一种三层复合结构板材，其上下表层为低层错能高锰合金钢、中心层为超低碳铁素体钢。力学分析表明，该层状复合板材具有良好的延展性；同时，与上下表层的低层错能高锰合金钢相比较，该层状复合材料的屈服强度和准静

态变形加工硬化率明显降低；更为重要的是，在低周疲劳变形过程中，上下表层低层错能高锰合金钢对中心层超低碳铁素体钢中疲劳裂纹的扩展具有抑制作用。

层状复合板材的结合界面在变形时起到协调界面两侧材料的作用。层状复合材料必须具有良好的界面结合强度，才能抑制复合板材在使用和成型过程中的界面分层现象。较强的结合界面可以防止金属复合板材在成型过程中起皱、过早缩颈、隧道裂纹形成和扩展以及界面分层。因此，可靠的结合界面是使界面两侧材料在界面处保持变形连续性以及使复合板材整体具有良好延展性的基本保障。

■ 仪器

岛津 EPMA-1720 型电子探针显微分析仪



■ 试样制备

用三层复合板材由热轧复合工艺制备。将具有相同长宽尺寸且表面氧化皮清理干净的 2 块 30 mm 厚 TWIP 钢板坯和 1 块 65 mm 厚无间隙原子钢 (Interstitial-Free Steel, 即 IF 钢) 板坯交替排列并堆垛形成一个三层结构, 其中 TWIP 钢板坯分别位于 IF 钢板坯的上、下方。组坯完成后, 将总厚度为 125 mm 的复合坯在 1150°C 下加热 4 h, 再将其热轧成厚度为 15.7 mm 的三层复合板材。热轧终轧温度为 880°C, 轧制压下率约为 87%。随后, 将热轧复合板材在 750°C 下退火 1 h, 空冷至室温。

■ 结果与讨论

使用岛津电子探针对 TWIP-IF 钢的截面结合处进行了元素面、线分析。

图 1~2 给出复合板材结合界面区域及其周围 C、Mn 和 Fe 元素的分布情形, 其中, 图 1.a ~ 1.f 为界面周围宏观区域的分析结果, 电子束扫描步距为 3 μm; 图 2.a ~ 2.f 为界面周围微观区域的分析结果, 电子束扫描步距为 0.5 μm。图 1.e、1.f、2.e、2.f 所示的元素平均含量为沿扫描区域宽度方向 (平行于结合界面) 上元素含量的平均值, 图 2.a 所示的二次电子像明确给出结合界面区域所在位置 (图中用两条红线标出)。

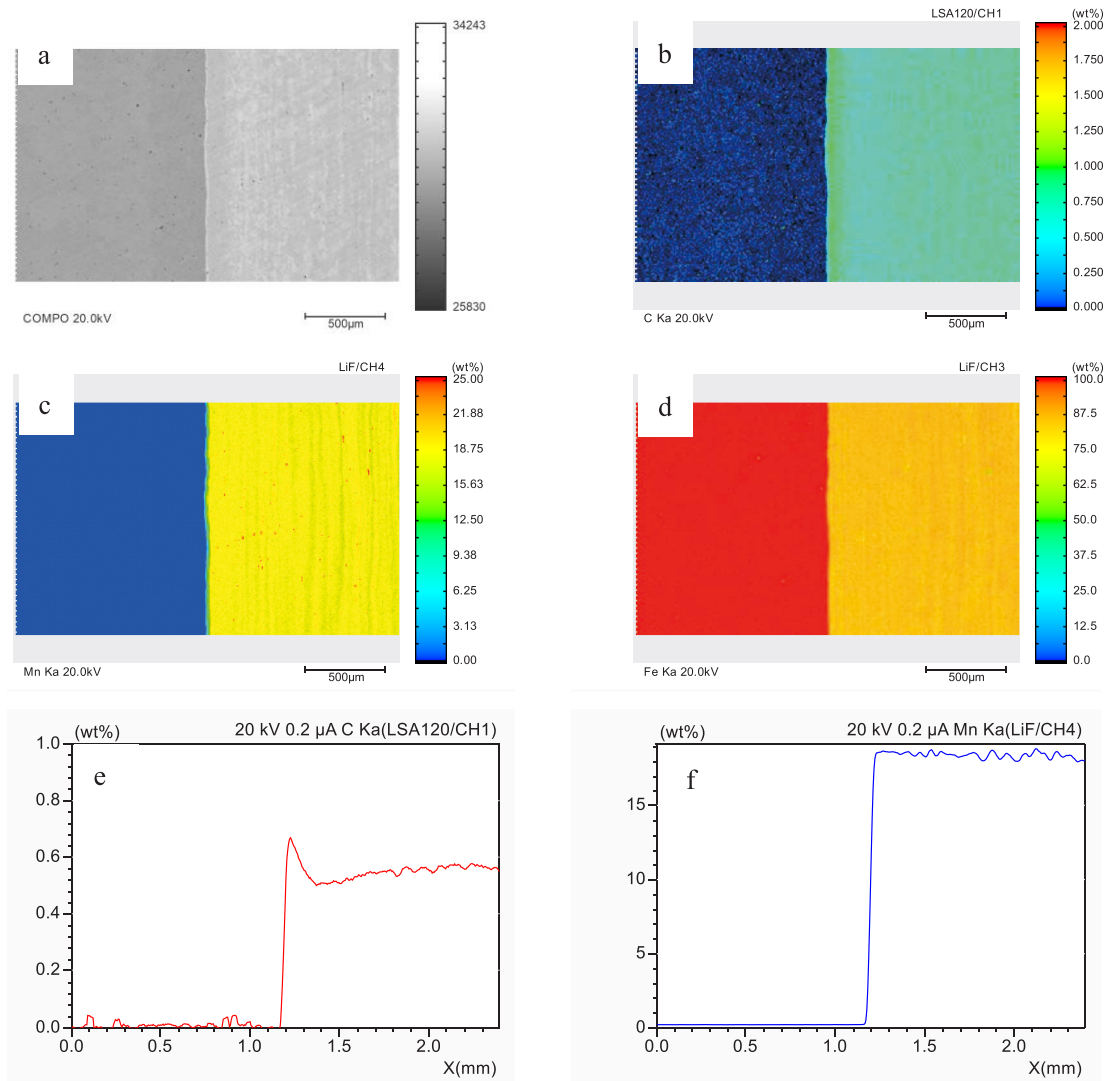


图 1 复合板材结合界面区域及其附近宏观低倍的元素分布

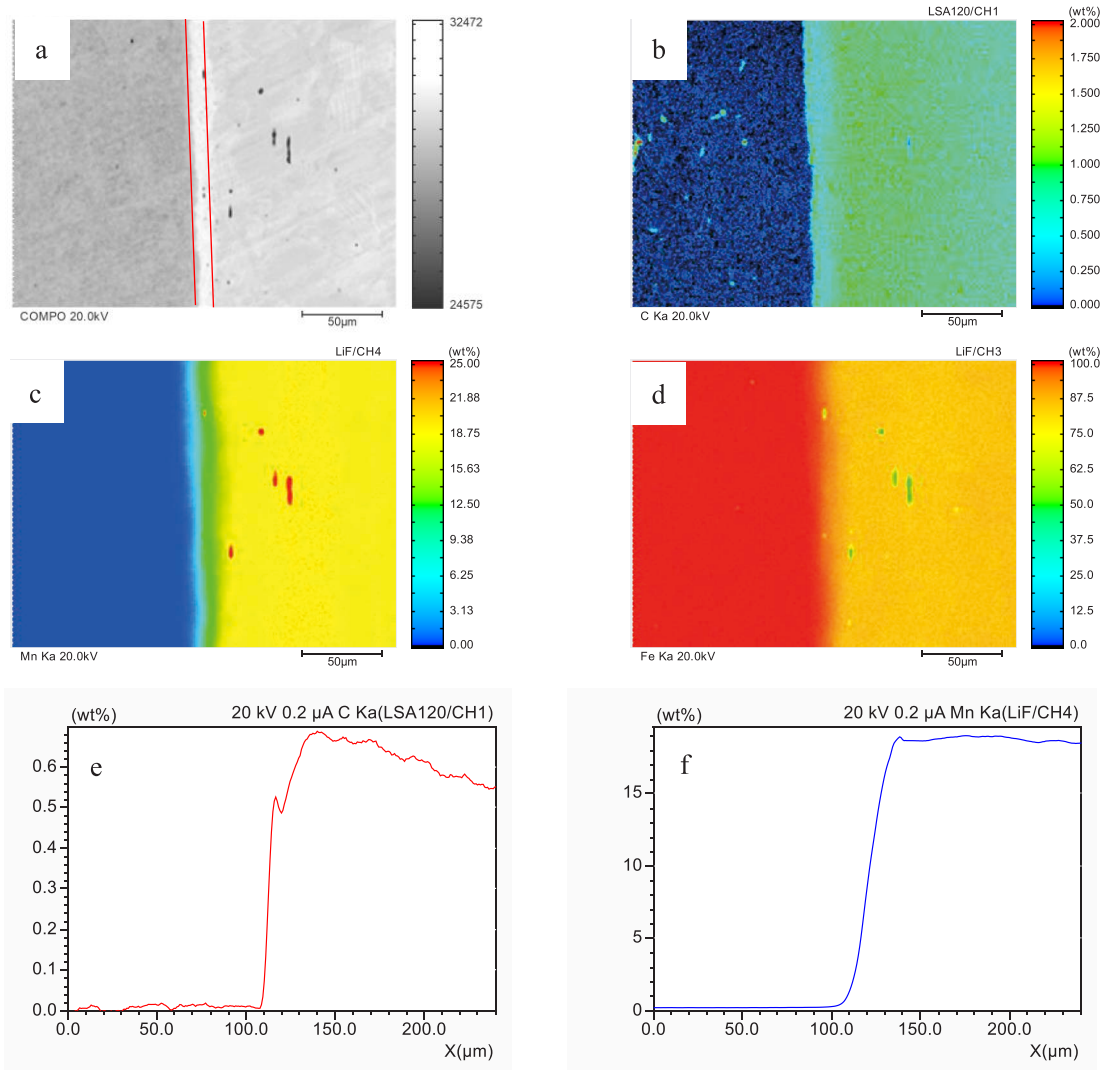


图 2 复合板材结合界面区域及其附近高倍微观的元素分布

图 1.b、1.e 为结合界面周围宏观区域 C 元素含量的变化情况。由图可见，沿着表层 TWIP 钢至中心层 IF 钢的方向，C 含量首先在距离结合界面约 1 mm 处开始逐步降低；至 TWIP 钢一侧距离结合界面 200 µm 处，C 含量迅速增加，紧邻结合界面时 C 含量达到 0.68 wt.%(超过 TWIP 钢的原始平均 C 含量 0.54 wt.%)；此后，C 含量降低进入结合界面区域，在结合界面区域另一侧（即 IF 钢一侧）时 C 含量迅速降至约 0 wt.%。

图 1.c、1.f 为界面周围宏观区域 Mn 元素含量的变化情况。由图可见，Mn 含量只在紧邻结合界面附近发生变化；从 TWIP 钢一侧越过结合界面至 IF 钢一侧，Mn 含量迅速从约 18 wt.% 降至 IF 钢中 Mn 含量水平。

图 2.b、2.e 和图 2.c、2.f 分别给出结合界面周围微观区域 C 元素含量和 Mn 元素含量的变化情况，由图可以清晰看出结合界面区域内部和紧邻结合界面元素含量的精细变化，结合界面区域位于 C 和 Mn 元素的扩散区域之内。图 1~2 所示的结合界面区域及其周围元素分布情形可以判断，复合板材在热轧和退火过程中，结合界面的形成伴随着较为复杂的原子（尤其是 C 原子）扩散过程。

元素面分布结果也可以看出，岛津电子探针通过配置高位 52.5° 的 X 射线检出角以及兼具灵敏度和分辨率的全聚焦分光晶体，对于超轻元素具有很高的测试灵敏度，对于元素含量相对微量的波动变化具有很好的测试效果。

■ 结论

使用岛津电子探针对热轧复合板界面处宏观和微观两个层级中元素的分布和扩散特征进行了面分析和线分析，测试结果表面岛津电子探针对超轻元素 C 的浓度和梯度变化具有很好的响应，能够获得灵敏度较高、准确性较好的测试结果，对于扩散波动变化亦可得到直观地测试效果。

岛津应用云

