

# 岛津场发射型电子探针显微分析仪 EPMA-8050G 表征钢中非金属夹杂物

## EPMA-075

**摘要：**非金属夹杂物的类型、数量、形态和尺寸，对钢材质量、性能有着关键影响。本文利用岛津电子探针对某碳钢中的夹杂物进行了测试，面分析结果表明，该样品中夹杂物主要有独立的  $Al_2O_3$  夹杂、独立的 MnS 夹杂以及 MnS+ $Al_2O_3$  复合夹杂等三种类型，并对三种类型夹杂物对钢材质量的影响进行了探讨。

**关键词：**钢 夹杂物 EPMA 岛津

### 技术特点：

- ❖ 岛津电子探针元素面分析可对钢中夹杂物类型、形态、尺寸及分布情况进行直观表征；
- ❖ 基于岛津电子探针超高能量分辨率的特性，对 Al 元素的结合状态进行了探讨。

钢中非金属夹杂物是影响钢材质量和产品性能的关键性因素，也是冶金工作者一直以来进行控制的重点和难点。按化学成分，钢中夹杂物分为硫化物、氧化物及氮化物夹杂，其中氧化物夹杂又可以进一步细分为简单氧化物、复杂氧化物（如尖晶石类夹杂、钙的铝酸盐）、硅酸盐及硅酸盐玻璃等。

夹杂物通常被认为是钢中的有害相，这是因为：

（1）钢中每类夹杂物的热膨胀系数各不相同，大多数情况下夹杂物的膨胀系数比奥氏体要小。因此，在后续冷却过程中会产生不同于基体的应变进而以残余应力的形式导致破坏；（2）非金属夹杂物作为独立相存在于钢中，破坏了钢基体的连续性，加大了钢中组织的不均匀性，尤其是脆性夹杂物，容易导致机械性能的不均匀从而改变局部的应力，由此会产生裂纹而导致钢中应力集中并发展；（3）几乎所有的非金属夹杂物与钢都存在弱的结合界面，在

钢的变形处理过程中沿塑性应变方向上，夹杂物存在的界面处会产生不变形张力，这将导致空洞的形成进而影响钢的质量和性能。

非金属夹杂物的种类、性质、形态、分布、尺寸及数量不同，对钢性能的影响也不同。如外形呈规则几何状的氮化钛夹杂，硬度高且脆，在钢材中易成群聚集分布，其有尖锐的棱角，与基体结合牢固，断裂后可导致尖的裂纹发展，随着钢中氮化物的增加，钢的脆性明显上升。而硫化物颗粒在热变形过程则表现出较好的塑性，轧制后会变形成细长条状或连续的带状分布，这对材料的横向冷弯和冲击性能会带来明显危害。

电子探针在微束分析领域中有广泛应用。本文利用岛津电子探针对某碳钢中的夹杂物进行了测试和探讨。

### ■ 仪器

岛津 EPMA-8050G 场发射型电子探针显微分析仪



## ■ 结果与讨论

对表面经磨抛处理后的某碳钢样品，利用岛津电子探针进行测试，从图 1 背散射电子像中可以观察到基体上分布有黑色及灰色两种衬度的颗粒相，背散射电子像表征的是平均原子序数衬度，图 1 中黑色及灰色两种衬度颗粒相表明该样品存在两种成分类型的夹杂物。

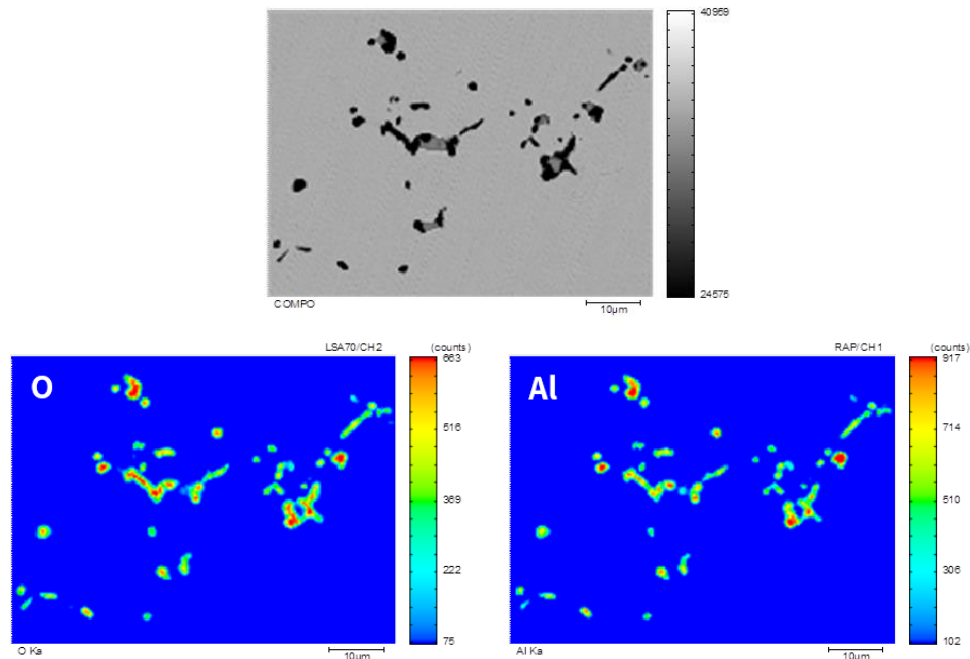


图 1 背散射电子像及元素面分布图

图 1 中 O、Al 元素分布特征表明，黑色颗粒应为  $Al_2O_3$  夹杂，从形态上来看，主要为近球状、长棒状及不规则状。

轨道电子跃迁时产生的特征 X 射线波长由轨道间的能级差所决定。当一个元素形成化合物时，其外层轨道电子会或多或少受其它元素的影响，特征 X 射线的波长也相应容易发生峰位的偏移或峰形的变化，岛津电子探针通过配置高位  $52.5^\circ$  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，可以通过这种变化对元素的结合状态进行表征。

将纯金属铝标样、氧化铝标样及样品中黑色颗粒夹杂的 Al K $\alpha$  元素特征谱图叠加显示于图 2，可见金属铝与氧化铝标样无论峰位还是峰形都存在明显差异，而黑色夹杂与氧化铝标样峰形特征基本一致，进一步确认了样品中的黑色颗粒为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂。

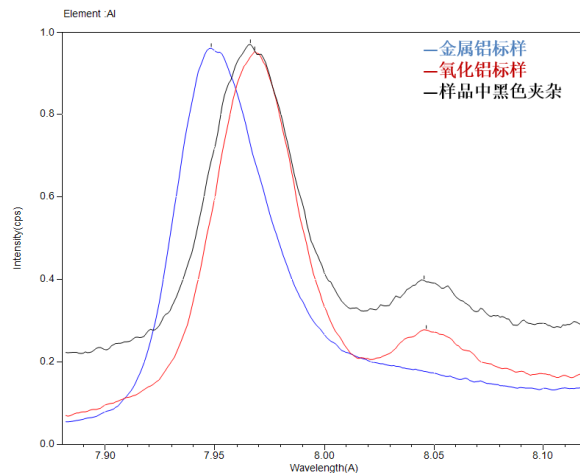


图 2 不同结合状态下 Al K $\alpha$  特征谱图叠加

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 属于高熔点不变形夹杂物，热加工过程中既不易变形，也不容易破碎，对钢铁产品尤其是帘线钢、轴承钢等高品质钢的质量和疲劳寿命有很大的危害。

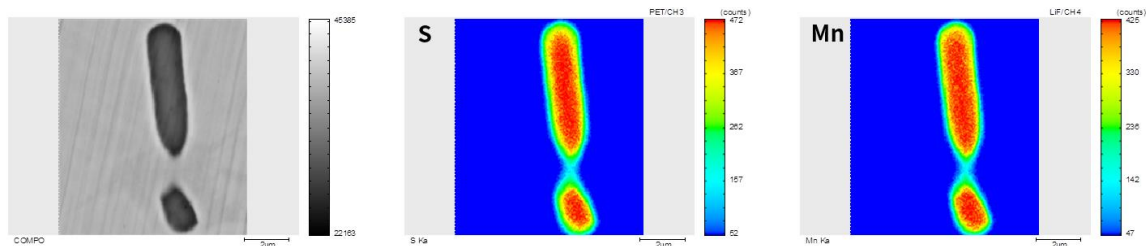
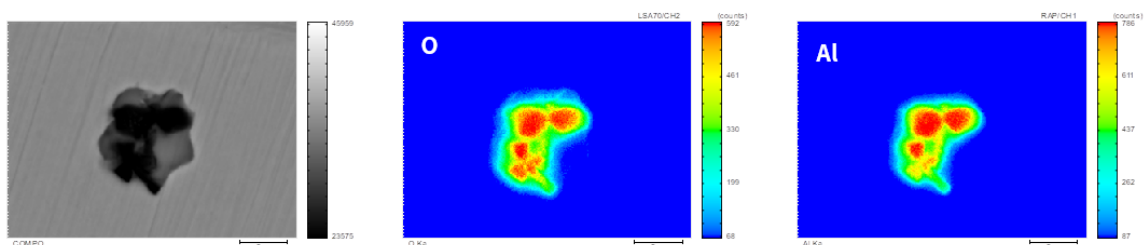


图 3 元素面分布图

图 3 元素面分布图显示，灰色颗粒为 MnS，形态有长条状及近球状。硫化锰具有较好的塑性，研究发现，当硫化物形态呈球形或纺锤形时，作为软质相起到润滑的作用，可以有效提高钢的切削性能，而长条状硫化锰不但破坏基体连续性，引起钢材的各向异性，还会造成切屑粘结，降低钢材的综合性能。

图 4 显示该样品中还含有呈包裹结构的 MnS+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 复合夹杂物，灰色的 MnS 包覆在黑色的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒之外。研究表明，钢液在凝固过程中，由于选分结晶造成钢液中的溶质元素发生微观偏析，钢液中的 Mn、S 是易偏析元素，液相中富集 Mn 和 S 元素，当二者实际溶度积超过平衡所达到的溶度积，钢液中开始大量析出 MnS，同时被推动到钢液凝固前沿的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，为 MnS 析出提供异质形核核心，生成 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnS 包裹型复合夹杂物。



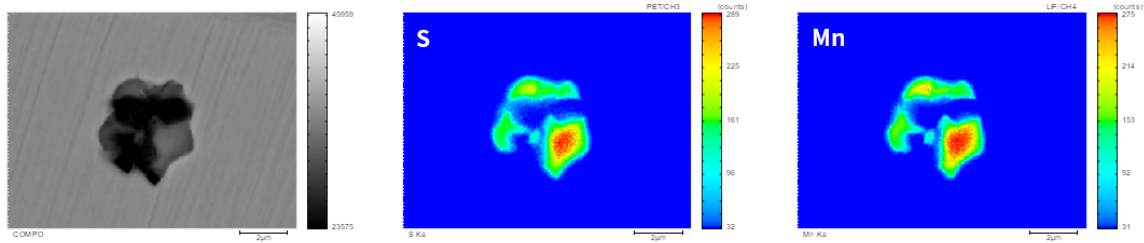


图4 复合夹杂元素面分布图

硫化锰具有较高的塑性，包覆在硬质的氧化铝夹杂上，可降低氧化铝夹杂与基体之间的应力集中，防止裂纹在氧化铝夹杂上的萌生及扩展，进而提高钢材的疲劳性能及韧性。

## ■ 结论

本文利用岛津电子探针对某碳钢样品中的夹杂物进行分析，面分析结果表明，该样品中夹杂物主要有三种类型，包括独立的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂、独立的  $\text{MnS}$  夹杂以及  $\text{MnS}+\text{Al}_2\text{O}_3$  复合夹杂，并通过对比纯金属铝标样、纯氧化铝标样及样品中夹杂物的  $\text{Al K}\alpha$  特征谱图，对样品中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂进行了确认。类似的分析工作，可拓展用于钢材各工艺环节夹杂物类型判定、工艺评价及机理研究等。

岛津应用云

