

汽车材料 - 球墨铸铁的石墨中元素分布特征 的电子探针分析

EPMA-020

摘要：本文介绍了球墨铸铁的特点及在汽车行业材料中的应用，并使用岛津场发射电子探针 EPMA-8050G 观察了一种球墨铸铁的石墨球中各主要元素的分布特征，解释了这些元素存在的对应关系以及他们在形核和生长中的作用，即残留的片层状石墨、碳化物和氧化物是形核核心，Fe-Si-Mn 的排列可孕育出较为理想的球状石墨。

关键词：汽车材料 球墨铸铁 球化 轻元素 电子探针

铸铁，普遍被误认为是一种较为低端的材料，特别是在汽车工业目前轻量化、高强度合金以及复合材料的大规模应用的趋势下，显得有些格格不入。

但其实在目前的汽车行业，铸铁，包括灰铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁等传统型铸铁，在一个关键性部件中仍在普遍使用，如灰铸铁发动机气缸体、球墨铸铁的各种曲轴、凸轮轴、各类支架和转向节等。

同时铸铁也并非停滞不前，随着新理论、新工艺和新方法的引入，开发出了一系列新型的铸铁品类，如高合金化特殊铸铁、等温淬火球墨铸铁等。而且这些铸铁

部件也在朝高强度、薄壁化、耐高温高压性能方向发展，与整个汽车行业的发展趋势是一致的。

球墨铸铁是指铁液在凝固过程中碳以球状石墨析出的铸铁。球墨铸铁部件，目前在汽车材料行业的发展方向是高强度珠光体型球墨铸铁（QT700-2、QT800-2、QT800-5）和高韧性铁素体型球墨铸铁（QT400-18、QT400-15、QT600-10）。主要实现方法是通过优化熔炼工艺，控制好原铁液中的 S、P 含量和微量元素含量，选取适宜的球化剂、孕育剂、合金元素及加入方式，优化喂丝工艺、严控随流孕育工艺等措施来获得。

实验部分

1.1 仪器

EPMA-8050G 场发射电子探针显微分析仪



1.2 仪器配置

X 射线检出角：52.5°

罗兰圆尺寸：统一 4 英寸

晶体类型：约翰逊型全聚焦晶体

通道数：5 通道共 10 种晶体

1.3 分析条件

加速电压 (AccV) : 15 kV
束流 (Beam Current) : 500 nA
束斑直径 (Beam Size) : 20 μm
测试时间 (Sampling time) : 10 ms/point
强度单位 (Unit) : Counts

1.4 样品处理

导电树脂镶嵌、机械磨制及抛光，样品座夹持后直接测试。

结果与讨论

球墨铸铁的生产过程是向铁水中加入一定数量的球化剂和孕育剂，通过球化和孕育处理使铁液在凝固时碳以球状石墨的形式形核和生长，凝固后的铸铁组织中得到球状石墨的过程。球化和孕育处理使生产球墨铸铁的重要工艺环节。

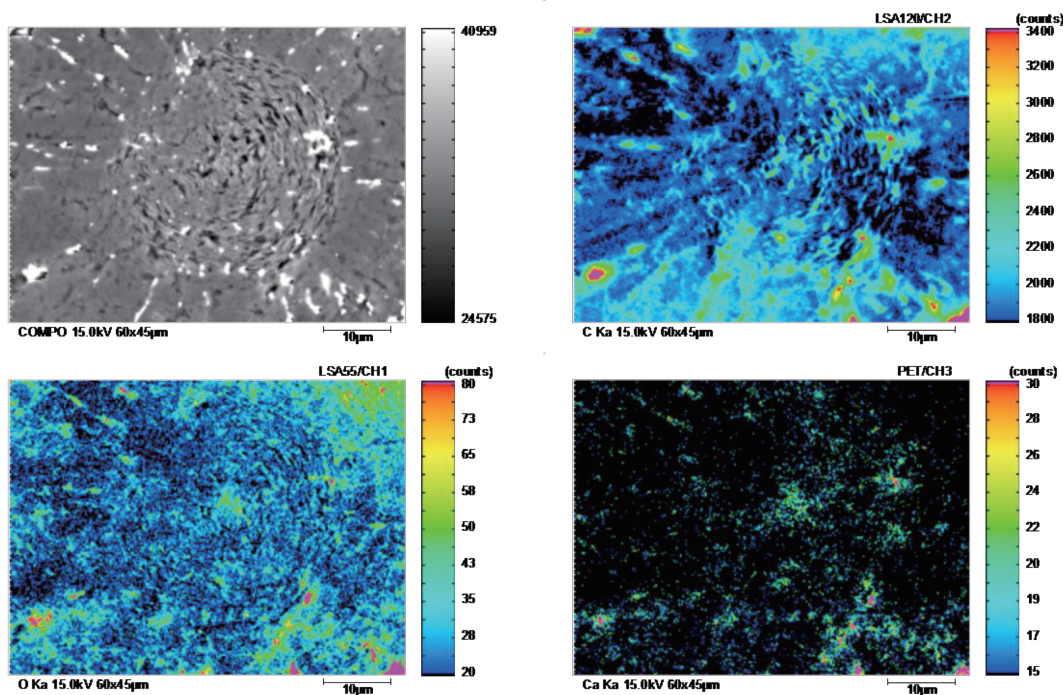
球化剂的种类很多，各国的选择也受限于各自的资源，而石墨球化理论研究方面，曾有多种球化理论和模型，其中硫化物、氧化物、碳等核心说是目前比较新的学说。

孕育处理是指在铸铁液中添加少量特殊的孕育剂促进石墨化的作用，防止渗碳体的形成，可以细化组织，提高材料的力学性能。同样的，孕育机理也没有定论，有碳化物核心理论、CaC₂ 核心以及 SiC₂ 核心等。目前硫氧化物学说和 Fe-Si 结晶化孕育理论是最新的孕育学说。

图 1 是使用岛津场发射型电子探针 EPMA-8050G 测试的某球墨铸铁中石墨球中各主要元素的分布特征，可以看到石墨心部片层状的石墨，在中心部位 Ca、Mg、C 和 O 的对应分布，以及 Fe-Si-Mn 放射性对应排列。

中间的片状石墨可能是由于生铁重熔时过热温度低，停置时间也较短，原有的片状石墨来不及彻底熔解而遗留下来。相对于异质形核，石墨本身的晶格失配度为零，中间的片状石墨也是理想的基底形核物质。而且其中存在的碳化物 (CaC₂ 等) 和氧化物也能成为石墨的形核核心。

Fe-Si-Mn 放射性对应排列也比较符合 Fe-Si 结晶化孕育理论，这种放射性的排列方式使得石墨不至于片层化二维方式生长，而是孕育成球形，在生长阶段逐渐长大成球状石墨。



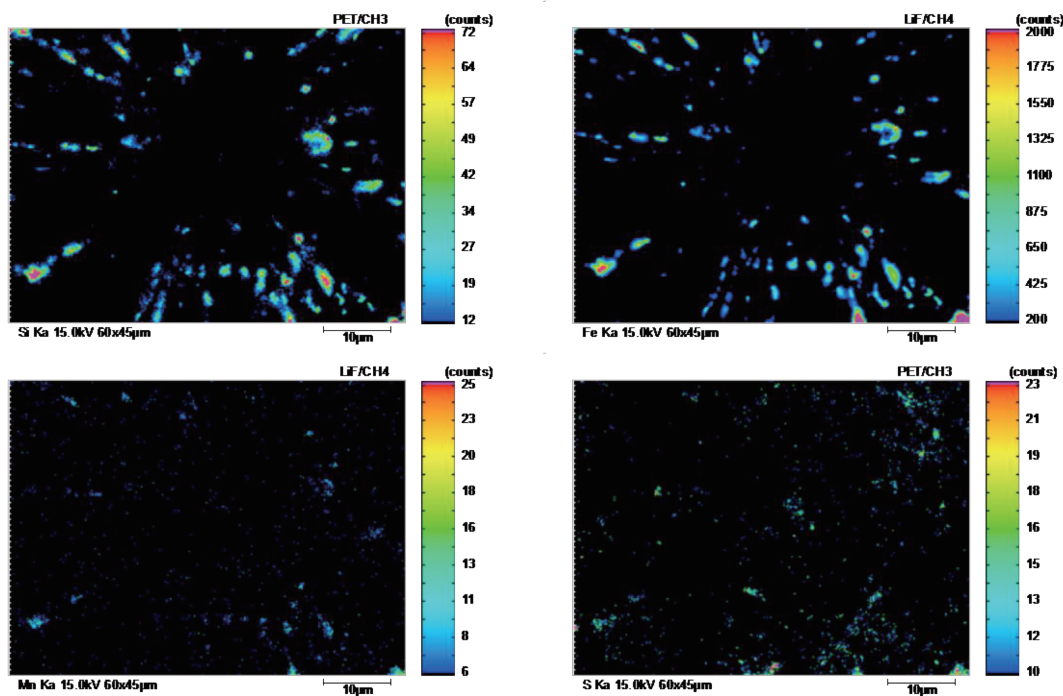


图1 球墨铸铁中石墨球的元素分布特征

■ 结论

尽管目前对于球墨铸铁中石墨的形核、球化、孕育等方面的理论学说还各有争论，各种机理解释虽不尽完美但各能解释一部分现象，正如很多研究者认为的那样，很可能不止是一种机理，并没有普适的大一统理论来描述所有的现象。然而，借助场发射电子探针可以直观地观察到各个元素的对应分布情况，对于解释元素之间的相互影响以及形成的化合物的分布都能够提供重要的参考。