扫描电子显微镜在物理分析检测中的应用*

靳 燕,寇沙沙,张 娜

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了扫描电镜的基本组成及在钢铁材料领域的技术优势,重点对扫描电镜在物理分析检测中典型应用实例进行了归纳、分析。

关键词: 扫描电镜;物理分析;检测

中图分类号: TG115.21+5.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)02-0091-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.02.027

Application of Scanning Electron Microscope in Physical Analysis and Detection

Jin Yan, Kou Sha-sha, Zhang Na

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is introduced the basic composition of scanning electron microscope and its technical advantages in the field of steel material. The focus is to conclude and analyze the typical application examples of scanning electron microscope in physical analysis and detection.

Key words: scanning electron microscope; physical analysis; detection

扫描电镜(SEM)是材料分析和研究的重要手段。自1965年12月由英国剑桥科学仪器公司首次作为正式商品仪器以来发展很快,一直在材料分析检测领域发挥着重要作用[1]。

1 扫描电镜的配置及功能

文中介绍的扫描电子显微镜,型号为LEO EVO50HV,能谱仪的型号为EDAX GENESIS,分辨率达3.5 nm,可连续放大15~100 000倍,同时配有二次电子成像仪、能谱仪、背散射仪、电子背散射衍射仪(EBSD)配件,见图1。能够结合计算机的成像显示与软件分析,可以不破坏断口对样品进行直接观察,不但能观察样品宏观、微观形貌,材料显微组织形貌,同时配合能谱仪对微区进行元素定性定量分析,因此被广泛应用在材料检测分析领域[2],图2为扫描电镜原理示意图。



图1 扫描电镜实物照片

* 收稿日期:2020-01-15

作者简介:靳 燕(1982-),女,内蒙古乌海市人,工程师,现从事扫描电镜检测及失效分析工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

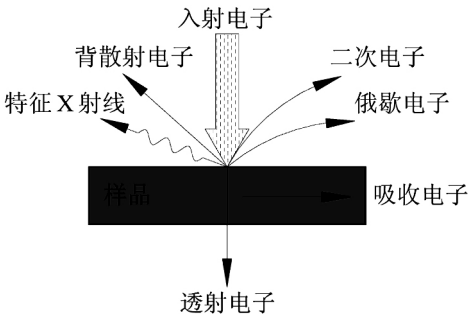


图2 扫描电镜原理示意图

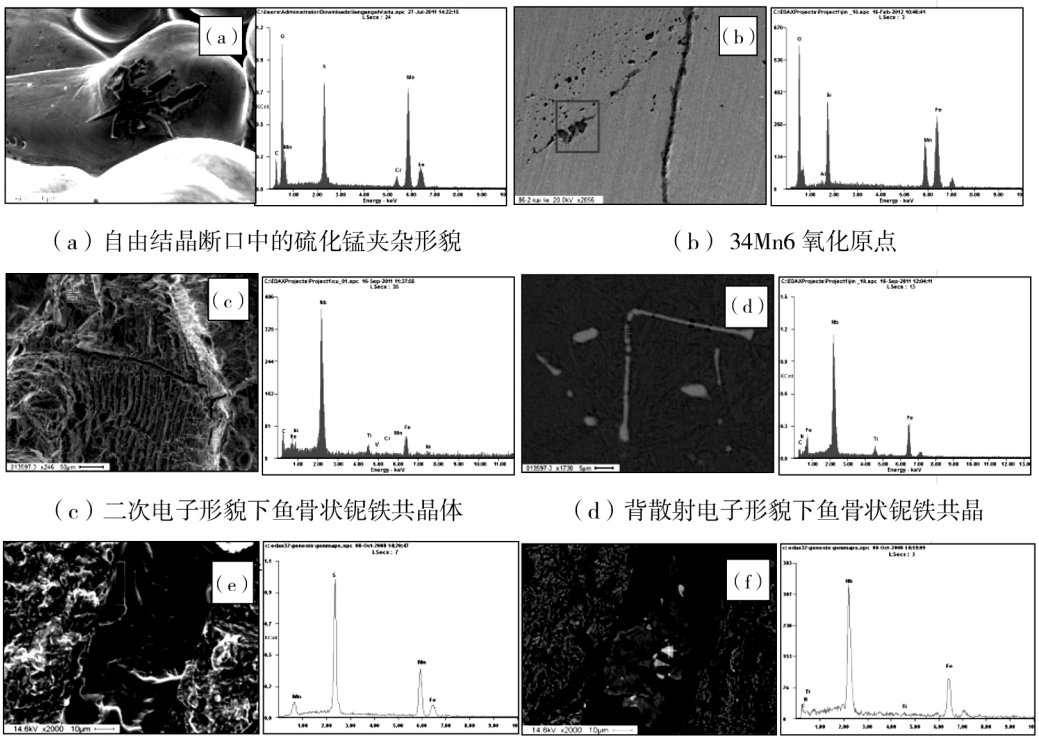
2 扫描电镜技术优势

2.1 金属组织观察同微区化学成份分析对应起来

扫描电镜的技术优势之一就是可以对样品进行非破坏性分析，可以分析样品微小区域中的元素，能在微观尺度范围内同时获得样品的形貌分析及其化学元素的分布形态，为研究样品的形态结构、组成元素及其分布状态提供了便利。

图3(a)是一个铸坯样品断口的扫描电镜分析结果，通过断口的扫描电镜分析，观察到光滑的自由表面及其析出物形貌，对析出物进行了对应的能谱分析确认是硫化锰，从而确定了原因是在炼钢凝固过程中钢液补缩不充分；图3(b)是34Mn6钢管试样裂纹尖端氧化圆点形貌及能谱，通过形貌观察和能谱分析能够得出，氧化圆点的产生是高温下氧在裂纹内富集，与裂纹两侧及裂纹尖端基体中的硅锰元素发生氧化反应在裂纹周围形成颗粒状的圆点，为判定裂纹产生于铸坯上提供了依据；图3(c)(d)是二次电子及背散射电子下鱼骨状铌铁共晶体形貌及能谱，观察到在不同状态下铌铁共晶体形貌相和成分相的区别；图3(e)(f)是二次电子及背散射电子下硫化锰夹杂上铌的化合物析出，找出了导致Z向拉伸不合的原因。

图4是Q235E核电钢中夹杂物Fe、La、Ce、Ti、Mg、Al、Ca含量面分布，通过观察检测可以清晰了解到核电钢稀土混合夹杂物的形貌、成分组成，以及各元素尤其是稀土元素在夹杂物中的面分布。



(a)自由结晶断口中的硫化锰夹杂形貌　(b) 34Mn6氧化原点

(c)二次电子形貌下鱼骨状铌铁共晶体　(d)背散射电子形貌下鱼骨状铌铁共晶

(e)二次电子形貌下硫化物　(f)背散射电子形貌下铌化合物

图3 典型能谱分析应用实例

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

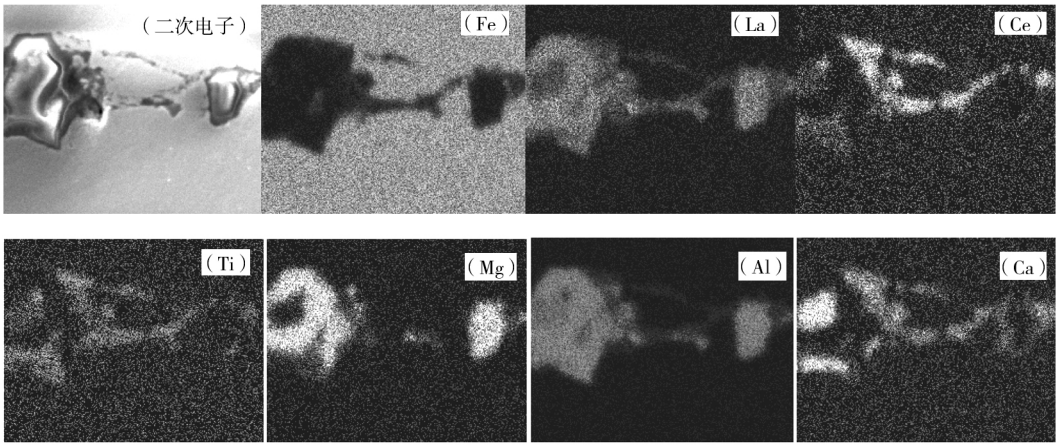
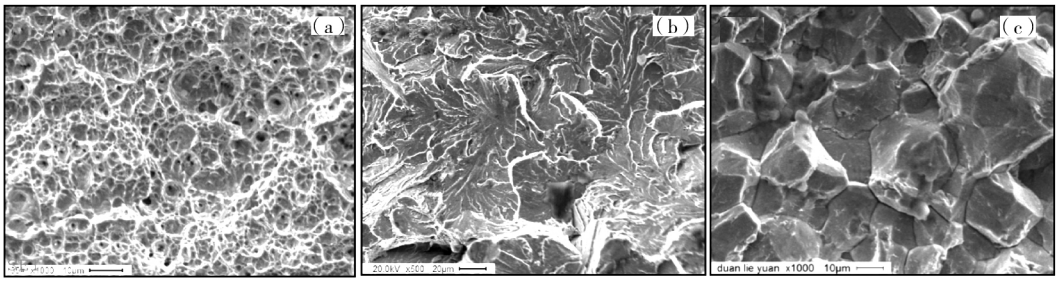


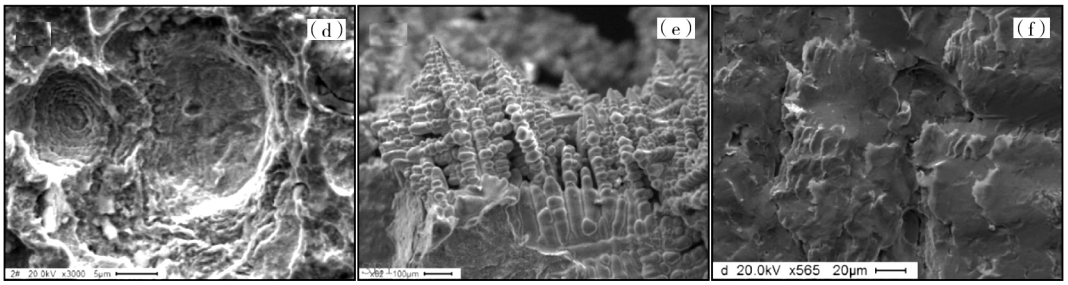
图 4　面扫描应用实例—Q235E 核电钢中稀土夹杂物的含量面分布

2.2　**景深大**

扫描电镜的景深大，电子图象有立体感，可直接观察起伏较大的粗糙表面，特别有利于金属断口分析。图 5（a）—（f）依次为韧窝断口、解理断口、沿晶断口、腐蚀断口、自由结晶断口、疲劳灰纹断口的断口形貌，可以观察到不同断口各自的形貌特征，通过一些特征结合原始情况、能谱化学成分分析等多种手段找出其形成机理，判断断裂产生原因。图 5（g）—（i）分别为 82B 线材二次渗碳体沿奥氏体晶界的析出形貌，可以清晰观察到高碳钢中渗碳体网的形貌；DX51D + Z 冷轧镀锌板碳化物沿晶界析出形貌；X80 管线钢中马奥岛、多边形状铁素体的组织形貌，凹凸立体感很强，结合能谱化学成分分析，为研究组织组成提供了大量理论依据。

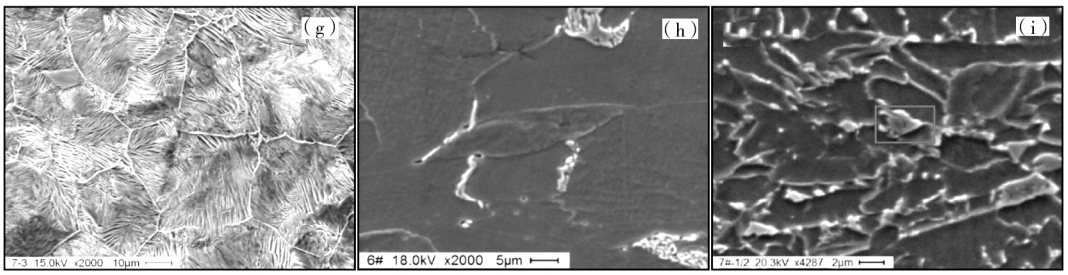


（a）韧窝断口　　（b）解理断口　　（c）沿晶断口



（d）腐蚀断口　　（e）自由结晶断口　　（f）疲劳辉纹断

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



（g）82B线材二次渗碳体沿奥氏体晶界析出　（h）DX51D+Z冷轧板碳化物沿晶界析出　（i）X80管线钢组织形貌

图5　典型断口形貌

2.3　仪器分辨率高

扫描电镜的仪器分辨本领较高，放大倍数从10～10 000倍，可连续调节，由于景深大，分辨率较高，可以从十几倍到几千倍连续放大，使宏观形貌与微观组织观察对应起来。更有利于观察检测断口的立体形貌及组织结构中的微观形态。二次电子像分辨本领可达1.0 nm（场发射），3.0 nm（钨灯丝）。图6（a）—（c）为高铬耐腐蚀管冲击断口逐渐放大的二次电子形貌，断口依次放大过程中，可以清晰的观察到断裂源区及扩展区位置，断口形貌为河流状花样的解理断口。

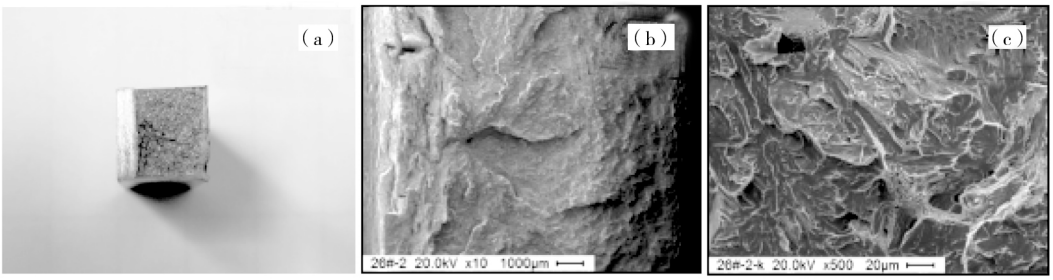


图6　冲击断口由小到大逐渐放大形貌

2.4　试样制备简单

扫描电镜的试样制备简单，一般情况下将要求试样高度不超过30 mm，重量不超过1.5 kg的导电样品。例如钢铁材料冲击、拉伸等断口试样，金相检块状检测试样，导电试样直接放入电镜中就可以进行断口形貌的观察及金相组织分析。不导电的矿样及粉末样品也可以通过表层喷金、喷碳及粘在导电胶上放入电镜中进行化学成分分析。图7（a）—（c）分别为冲击断口试样、磨制后的线棒材金相试样以及粉末样品。

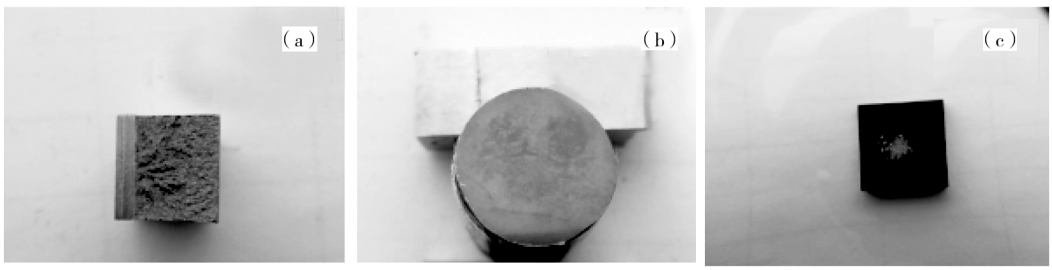


图7　断口、组织、粉末样品形貌

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3　结束语

扫描电镜分析是材料分析工作者必不可少的工具，本文旨在通过扫描电镜在断口、失效分析、材料微观组织形貌观察及成分分析方面的应用实例，对其特点进行归纳，以便更好地发挥扫描电镜的作用。

参　考　文　献

[1] 杨建军，刘瑞峰，张伟东，等. 失效分析与案例[M]. 北京：机械工业出版社，2018.

[2] 龚桂仙，陈士华，浦绍康，等. 钢铁产品缺陷与失效实例分析图谱[M]. 北京：冶金工业出版社，2012.

关于《包钢科技》2018 年增设“专家论坛”栏目的启示

《包钢科技》是经国家科技部和国家新闻出版广电总局批准，由包头钢铁（集团）有限责任公司主管，内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心主办的科技类综合性刊物。45 年来，《包钢科技》刊物质量和学术影响力不断提高，已成为展示包钢科技进步、创新成果的重要窗口和交流平台。为加强办刊特色，丰富栏目内容，《包钢科技》2018 年开始增设“专家论坛”栏目，邀请公司内外学术与管理方面的权威、专家学者在期刊上发表论文。一般为特约稿件，包括省内外各学科的院士、知名专家、各学会会长、各大专院校的校长或在某专业、学科方面有特殊贡献的专家、教授撰写的学术论文。《包钢科技》真诚期待您在百忙之中赐稿，为技术人员提供指导，不断提高期刊影响力，促进技术传承，使《包钢科技》期刊进入更好更健康的发展轨道。

感谢大家对《包钢科技》给予的大力支持！

联系地址：内蒙古包头市昆区包钢技术中心信息研究所

邮政编码：014010

联系人：安琪

联系电话：0472－2186065　0472－2183081

传真：0472－2183081

投稿途径（任选其一）：

（1）包钢协同平台：技术中心——信息研究所——安琪；

（2）E－mail：bgkj2005@126.com

《包钢科技》编辑部

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net