

团 体 标 准

T/CFA 0198—2025

铸铁件缺陷检测 电镜分析法

Detection of defects for iron castings electron microscopy analysis method

(公告稿)

2025-07-22 发布

2025-10-21 实施

中国铸造协会 发 布

目 次

前言.....III

引言..... IV

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 分析原理和分析内容..... 1

 4.1 扫描电镜工作原理..... 1

 4.2 分析内容..... 2

5 检验条件..... 3

 5.1 环境条件..... 3

 5.2 检测设备..... 3

 5.3 配件要求..... 3

 5.4 样品要求..... 3

6 检验项目和检验方法..... 3

 6.1 检验项目..... 3

 6.2 检验方法..... 3

7 缺陷判定..... 4

 7.1 夹渣缺陷判定..... 4

 7.2 缩松缺陷判定..... 5

 7.3 气孔缺陷判定..... 5

 7.4 砂眼缺陷判定..... 5

 7.5 夹杂物缺陷判定..... 5

 7.6 冷隔缺陷判定..... 5

 7.7 热裂缺陷判定..... 6

 7.8 氮气孔缺陷判定..... 6

 7.9 原始裂纹缺陷判定..... 6

8 检验报告..... 6

附录 A（资料性）铸铁件典型缺陷分析..... 8

参考文献..... 21

图 1 扫描电镜工作原理..... 2

图 2 能谱分析原理..... 2

图 A.1 缸盖 RuT350 铸件顶部夹渣缺陷低倍形貌..... 8

图 A.2 缸盖 RuT350 铸件顶部夹渣缺陷微观形貌..... 9

图 A.3 缸盖 RuT350 铸件顶部夹渣处选区能谱分析..... 9

图 A.4 机体 HT250 主螺栓孔处 缩松缺陷低倍形貌	10
图 A.5 机体 HT250 主螺栓孔处 缩松缺陷微观形貌	11
图 A.6 缸盖 RuT400 顶面加工处气孔缺陷低倍形貌.....	11
图 A.7 缸盖 RuT400 顶面加工处气孔缺陷微观形貌.....	12
图 A.8 机体 HT250 底平面 砂眼缺陷低倍形貌	12
图 A.9 机体 HT250 底平面 砂眼缺陷微观形貌	13
图 A.10 机体 HT250 底平面 砂眼选区能谱分析	13
图 A.11 缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物缺陷低倍形貌.....	14
图 A.12 缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物缺陷微观形貌.....	15
图 A.13 缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物选区能谱分析.....	15
图 A.14 排气管 QTRS4Mo1 薄管壁处 冷隔缺陷宏观形貌.....	16
图 A.15 排气管 QTRS4Mo1 薄管壁处 冷隔缺陷微观形貌.....	17
图 A.16 摇臂 QT600 断口 热裂缺陷低倍形貌	17
图 A.17 摇臂 QT600 断口 热裂缺陷微观形貌	18
图 A.18 缸盖 HT300 线束孔加工面 氮气孔缺陷低倍形貌	18
图 A.19 缸盖 HT300 线束孔加工面 氮气孔缺陷微观形貌	19
图 A.20 缸体 EN-GJL-250 原始裂纹缺陷形貌.....	19
图 A.21 缸体 EN-GJL-250 可能的异物对比能谱分析.....	20
表 A.1 缸盖 RuT350 铸件顶部夹渣处选区元素含量.....	10
表 A.2 机体 HT250 底平面 砂眼选区元素含量	14
表 A.3 缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物选区元素含量.....	16
表 A.4 缸体 EN-GJL-250 基体区域和原始裂纹区域元素含量对比	20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国铸造协会质量检测实验工作委员会、标准工作委员会提出。

本文件由中国铸造协会归口。

本文件起草单位：潍柴动力股份有限公司、中国重汽集团济南动力有限公司成型厂、上海大众汽车有限公司、徐州徐工施维英机械有限公司。

本文件主要起草人：刘宁、王增斌、代利强、刘莉、姜爱龙、丁富才、郭毅、曹鹏飞、李丹、龙腾、张凯。

本文件为首次发布。



引 言

铸铁件在铸造过程中会产生各种缺陷，降低本体的金属连续性，部分缺陷可能导致铸铁件在使用期间非正常失效，影响其工作可靠性。因而鉴别缺陷属性，查找产生原因，指导消除缺陷，保证铸铁件质量是非常必要的。

目前国内铸铁件缺陷类检验方法尚没有相关标准，缺陷判定大多依靠人工目视检验，具有相似特征的缺陷很容易产生混淆，所以，有必要制定本文件为铸铁件缺陷的电镜分析与判断提供分析方法，指导后续铸造工艺改进，推动铸铁件质量提升。

铸铁件缺陷检测 电镜分析法

1 范围

本文件规定了铸铁件缺陷检测的电镜分析法的术语和定义，分析原理、检验条件、检验项目和检验方法、缺陷判定、检测报告。

本文件适用于采用扫描电镜（以下简称 SEM）分析法对铸铁件夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔、原始裂纹等缺陷分析及判定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5611	铸造术语
GB/T 17359	微束分析 原子序数不小于 11 的元素能谱法定量分析
GB/T 41972	铸铁件 铸造缺陷分类及命名
JB/T 6842	扫描电子显微镜试验方法
JY/T 0584	扫描电子显微镜分析方法通则

3 术语和定义

GB/T 5611 界定的以及下列术语和定义适应于本文件。

3.1

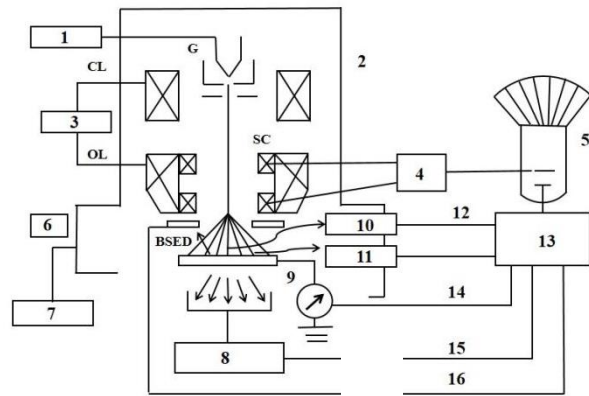
氮气孔 nitrogen blow hole

铸件凝固期间因氮的溶解度急剧下降，析出氮气而形成的气孔。

4 分析原理和分析内容

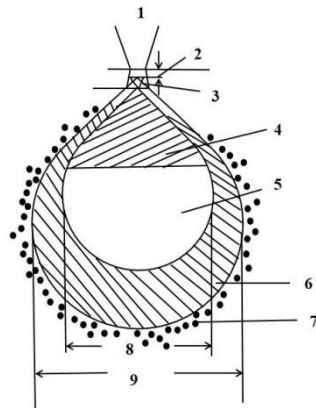
4.1 扫描电镜工作原理

扫描电镜一般包括真空系统，电子束系统，成像系统。工作原理是用一束极细的电子束扫描样品，在样品表面激发出二次电子，利用二次电子成像，显示出与电子束同步的扫描图像，能谱仪装配在扫描电镜上配合使用，检测并分析通过电子束激发样品产生特征 X 射线，确定样品元素组成和分布。扫描电镜景深可达毫米级，高低起伏表面亦可获得清晰成像。扫描电镜工作原理参见图 1，能谱分析原理参见图 2。



1. 电子枪电源 2. 镜筒 3. 透镜电源 4. 同步扫描发生器 5. 荧光屏 6. 样品室 7. 真空系统 8. 透射电子探测器 9. 样品
10. E-T 探测器 11. 荧光探测器 12. 二次电子 13. 视频放大器 14. 吸收电子 15. 透射电子 16. 背散射电子

图 1 扫描电镜工作原理



1. 入射电子束 2. 俄歇电子 3. 二次电子 4. 背散射电子 5. 特征 X 射线 6. 连续 X 射线
7. 由连续和特征 X 射线激发的二次荧光 8. 背散射电子的空间分辨率 9. X 射线的空间分辨率

图 2 能谱分析原理

4.2 分析内容

4.2.1 缺陷形貌

观测铸铁件缺陷的形态、衬度等特征。

4.2.2 缺陷成分

对铸铁件缺陷处的微区成分、元素的面分布及线分布情况进行分析和表征。

4.2.3 缺陷种类

利用电镜下形貌、成分等特征区分缺陷种类：夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔等。

5 检验条件

5.1 环境条件

温度要求：(20±5)℃，湿度要求≤ 65 %RH。

5.2 检测设备

扫描电子显微镜、X射线能谱仪。

5.3 配件要求

超声波清洗机、纯度大于 99.996 %的氮气、塑胶手套（无粉尘）和纯度大于 99.5 %的无水乙醇。

5.4 样品要求

5.4.1 大面积缺陷样品

对于缺陷面积特别大的样品，选取一个或几个有代表性的区域，用机械加工或线切割方法把缺陷切割，切取适合所用扫描电子显微镜观察分析的样块，若表面氧化严重须打开样块缺陷观察分析，缺陷观察面尽量与底面平行，高度适宜。

5.4.2 表面缺陷、加工面缺陷样品

用机械加工或线切割方法，切取适合所用扫描电子显微镜观察分析的样块，缺陷观察面尽量与底面平行，高度适宜。

5.4.3 内部缺陷、热裂纹、断口缺陷样品

超声波、CT 等探伤发现的内部缺陷、热裂纹等铸铁件样品，用机械加工或线切割方法去除周边多余部分，从缺陷处打开形成断口，再用机械加工或线切割方法，切取适合所用扫描电子显微镜观察分析的样块，缺陷观察面尽量与底面平行，高度适宜。

5.4.4 样品处理

缺陷样品底面磨平，用软毛刷或洗耳球清理样品表面，根据表面状况手动刷洗（1~3）min，去除残留碎屑，将样品缺陷朝下，完全浸在无水乙醇中进行超声波清洗（10~15）min，清洗完成后迅速干燥，确保样品表面干净无异物，用导电胶带牢固粘贴在样品台上。

6 检验项目和检验方法

6.1 检验项目

缺陷的形貌观察、电镜能谱分析。

6.2 检验方法

6.2.1 缺陷的形貌分析方法

本部分提供了缺陷形貌分析方法，供参考使用：

- a) 开启电镜及能谱软件界面，放置或更换样品，调节直至观察清晰图像；
- b) 低倍下对样品全貌进行观察，找出缺陷部位；
- c) 对缺陷部位进行逐一低倍至高倍观察分析，拍摄清晰的 SEM 图像照片。

6.2.2 缺陷的电镜能谱分析方法

本部分提供了缺陷的电镜能谱分析方法，供参考使用：

- a) 设置电镜至合适参数；加速电压一般取 15kV-20kV，工作距离可为 8.5 mm～ 11 mm，具体视电镜类型而定；
- b) 调节电镜找出缺陷部位；
- c) 调节至适合能谱分析的工作距离，并调节直至观察到清晰图像。

6.2.2.1 点分析

本部分提供了电镜能谱点分析方法，供参考使用：

- a) 进入能谱区域分析程序，采集目标区域图像，利用选区工具选择缺陷区域进行能谱采集；
- b) 根据采集的能谱图确定元素。因 C 元素易受污染干扰，一般不参与定量分析，O 为夹渣、砂眼、夹杂等主要元素成分，参与成分定量分析；
- c) 选择报告模板，输出相应的分析结果和报告；
- d) 每个缺陷至少选择三个有代表性的区域进行电镜能谱分析，以提高结果准确性。

6.2.2.2 线分析

本部分提供了电镜能谱线分析方法，供参考使用：

- a) 进入能谱线分析程序；
- b) 进入目标区域采集图像，选择线分析能谱采集；
- c) 根据采集的能谱图确定元素，进入线分析程序；
- d) 选择报告模板，输出相应的各元素线分析结果和报告。

6.2.2.3 面分析

本部分提供了电镜能谱面分析方法，供参考使用：

- a) 进入能谱面分析程序；
- b) 进入目标区域采集图像，开始面分布能谱采集；
- c) 根据采集的能谱图确定元素，进入面分析程序；
- d) 选择报告模板，输出相应的各元素面分析结果和报告。

7 缺陷判定

7.1 夹渣缺陷判定

7.1.1 通过SEM、能谱分析观察到的夹渣缺陷，判定时需综合以下要素：

- a) 位置及分布：多发生于浇冒口附近、浇注顶面、死角处等；
- b) 形貌特征：形状不规则，多呈颗粒状或团块状，一般较为圆滑，衬度变化明显；

c) 铸铁件缺陷部位的电镜能谱区域分析：在铸铁件缺陷处选三个有代表性区域电镜能谱分析，通常夹渣缺陷中含有 O、Si、Al、Ca、Mg、K 等元素。

7.1.2 符合以上方面的特征，就可判定属于夹渣缺陷，常见夹渣缺陷形貌参见附录 A 图 A.1、图 A.2；夹渣缺陷能谱分析参见附录 A 图 A.3、表 A.1。

7.2 缩松缺陷判定

7.2.1 通过SEM观察到的缩松缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：常产生在铸铁件厚大及热节部位，铸铁件结构不合理或壁厚变化突然部位、以及内浇道和冒口根部附近等；

b) 形貌特征：通常呈微小的孔洞，一般枝状晶特别发达，枝晶间有空隙，枝晶呈卵形，葡萄形，糖葫芦，棒形等形状，枝晶表面有生长花纹或台阶。

7.2.2 符合以上方面的特征，就可判定属于缩松缺陷，常见缩松缺陷形貌参见附录 A 图 A.4、图 A.5。

7.3 气孔缺陷判定

7.3.1 通过SEM观察到的气孔缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：产生于铸铁件内部、表面或近表面、铸件上部结构厚大凝固较慢区域、型腔死角或排气不良区域；

b) 形貌特征：孔壁光滑，内凹，呈大小不等的圆形及不规则形，有单个的，也有聚集成片的，表面常有氧化皮或碳膜出现。

7.3.2 符合以上方面的特征，就可判定属于气孔缺陷，常见气孔形貌参见附录 A 图 A.6、图 A.7。

7.4 砂眼缺陷判定

7.4.1 通过SEM、能谱分析观察到的砂眼缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：砂眼常产生于铸铁件表面、皮下或铸铁件内部，浇注系统、分型面、芯头等结构附近；

b) 形貌特征：形状不规则，衬度变化明显，一般较松散，颗粒感强、常伴有砂粒晶体出现；

c) 铸铁件砂眼缺陷的电镜能谱区域分析：铸铁件缺陷部位的电镜能谱区域分析结果中，以 SiO_2 、 Al_2O_3 等为主。

7.4.2 符合以上方面的特征，就可判定属于砂眼缺陷，常见砂眼缺陷形貌参见附录 A 图 A.8、图 A.9；常见砂眼能谱分析参见附录 A 图 A.10、表 A.2。

7.5 夹杂物缺陷判定

7.5.1 通过SEM、能谱分析观察到的夹杂物缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：夹杂物常产生于铸铁件表面及内部等；

b) 形貌特征：形态各异，与本体明显不同；

c) 缺陷部位的电镜能谱区域分析：缺陷部位各元素成分相对一致，与本体明显不同。

7.5.2 符合以上方面的特征，就可判定属于夹杂物缺陷，常见夹杂物缺陷形貌参见附录 A 图 A.11、图 A.12；常见夹杂物能谱分析参见附录 A 图 A.13、表 A.3。

7.6 冷隔缺陷判定

7.6.1 通过SEM观察到的冷隔缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：多出现在远离浇道的铸铁件表面上，特别是在宽大上表面或薄壁处，以及金属流汇合处和激冷部位；

b) 形貌特征：铸铁件存在穿透或不穿透的缝隙，缝隙的边缘通常呈圆角状，与基体存在明显分界，冷隔边缘可能形成氧化膜隔层。

7.6.2 符合以上方面的特征，就可判定属于冷隔缺陷，常见冷隔形貌参见附录 A 图 A.14、图 A.15。

7.7 热裂缺陷判定

7.7.1 通过SEM观察到的热裂缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：铸铁件热应力较大的位置、最后凝固的部位，复杂结构交汇处、冒口根部或补缩通道末端、大平面或收缩受阻区域；

b) 变色，裂口微观存在高温氧化、碳膜、枝晶等现象。

7.7.2 符合以上方面的特征，就可判定属于热裂缺陷，常见热裂形貌参见附录 A 图 A.16、图 A.17。

7.8 氮气孔缺陷判定

7.8.1 通过SEM观察到的氮气孔缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：多出现在铸铁件的平面、边角处、厚大位置、砂芯包围形成的中等壁厚处、最后凝固处、冒口处、浇注系统远端及表皮下和铸铁件上部等，一般较为分散，也可能聚集成片；

b) 形貌特征：有乳状枝晶，表面覆盖一层网格状石墨膜，多呈裂隙状，缺陷微观兼具气孔与缩松的特征，一般气孔特征为主，内凹，孔壁光滑，但有枝状晶出现，一般不发达。

7.8.2 符合以上方面的特征，就可判定属于氮气孔缺陷，常见氮气孔形貌参见附录 A 图 A.18、图 A.19。

7.9 原始裂纹缺陷判定

7.9.1 通过SEM、能谱分析观察到的原始裂纹缺陷，判定时需综合以下要素：

a) 位置及分布：多出现在铸铁件的机加工面，应力集中点，螺纹孔附近等位置；

b) 形貌特征：裂口有明显异物特征，二次电子相下，原始断裂面呈现与裂纹扩展面颜色差异较大，部分存在疲劳特征；

c) 缺陷部位的电镜能谱区域分析：缺陷部位存在异常元素与基体有部分差异，差异元素与后续工艺过程明显一致。

7.9.2 符合以上方面的特征，就可判定属于原始裂纹缺陷，常见原始裂纹缺陷形貌参见附录 A 图 A.20，可能的异物对比能谱分析图参见附录 A 图 A.21、表 A.4。

8 检验报告

检测报告应包括但不限于以下信息：

a) 样品名称、材料、牌号；

b) 设备仪器号、放大倍数、标准编号；

c) 送检内容；

d) 取样位置；

e) 检测日期和时间；

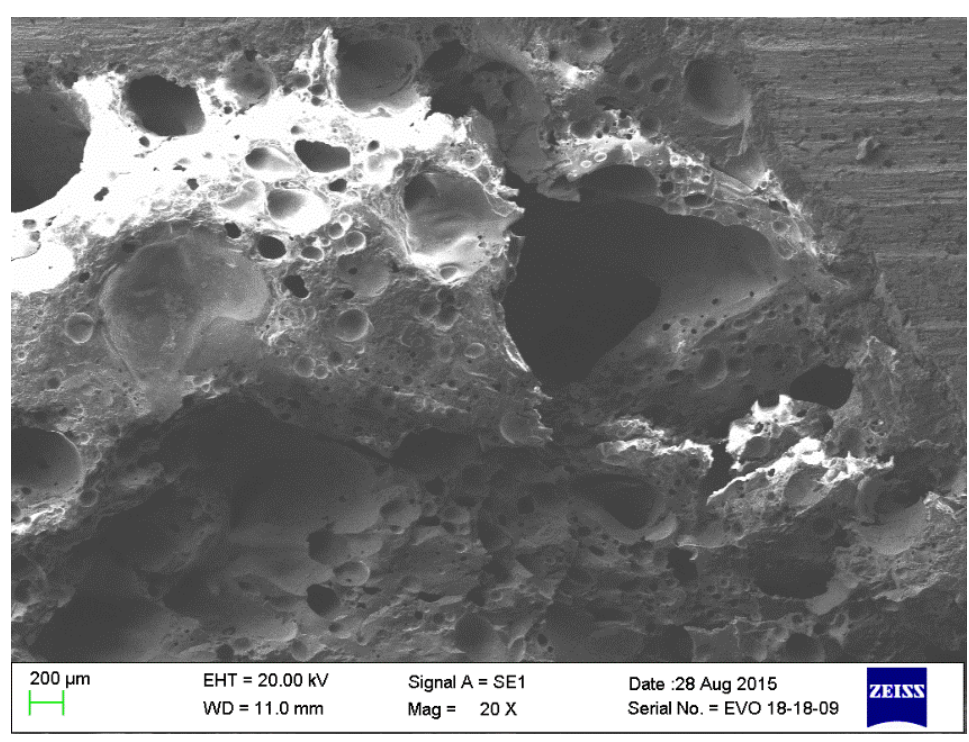
- f) 结果的描述：综合缺陷部位形貌特征，电镜能谱区域分析结果等，给出缺陷类别分析结论；
- g) 签字和日期等。



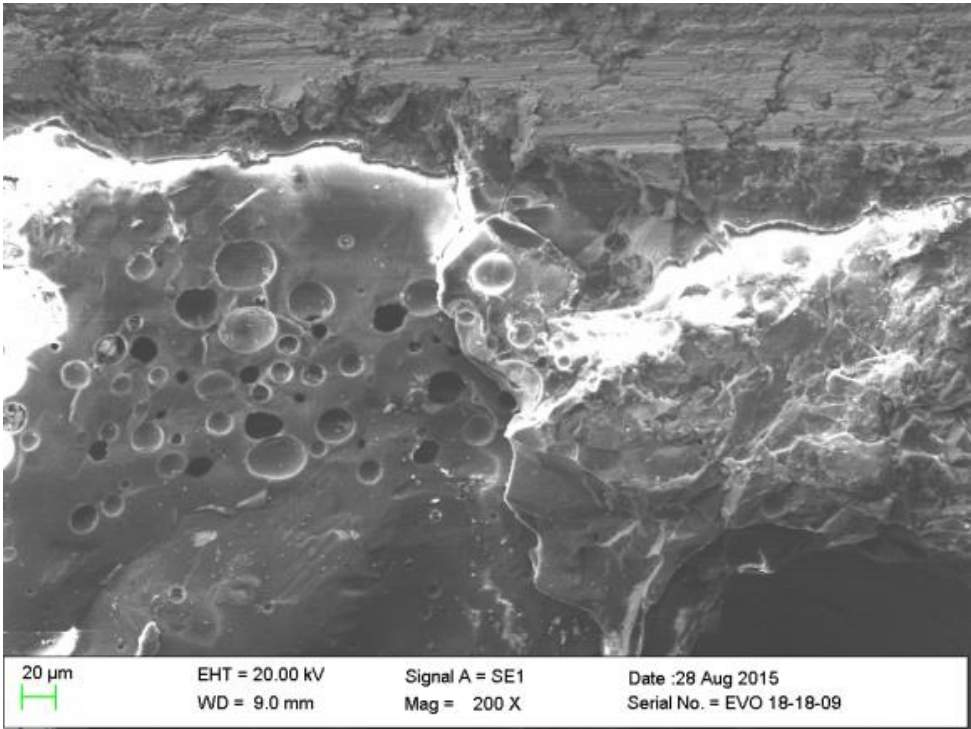
附录A
(资料性)
铸铁件典型缺陷分析

A.1 本附录内容涵盖铸铁件典型缺陷分析案例，包括缺陷图谱、能谱分析结果等补充信息，使用者可根据实际需求参考相关部分。

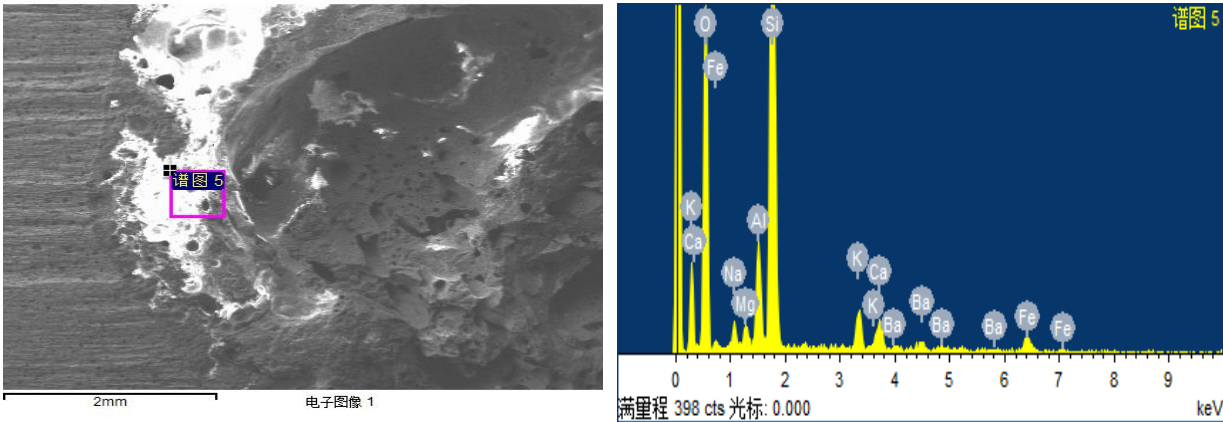
A.1.1 图 A.1、图 A.2 和图 A.3 给出了缸盖 RuT 350 铸件夹渣缺陷示意图，表 A.1 给出了夹渣处选区能谱分析结果。夹渣缺陷主要由熔渣未除净、浇注卷渣或型砂夹杂所致。样品经锯切加工处理后，用无水乙醇超声清洗后取样。



图A.1 缸盖RuT350 铸件顶部夹渣缺陷低倍形貌



图A. 2 缸盖RuT350 铸件顶部夹渣缺陷微观形貌



a) 夹渣处选区位置

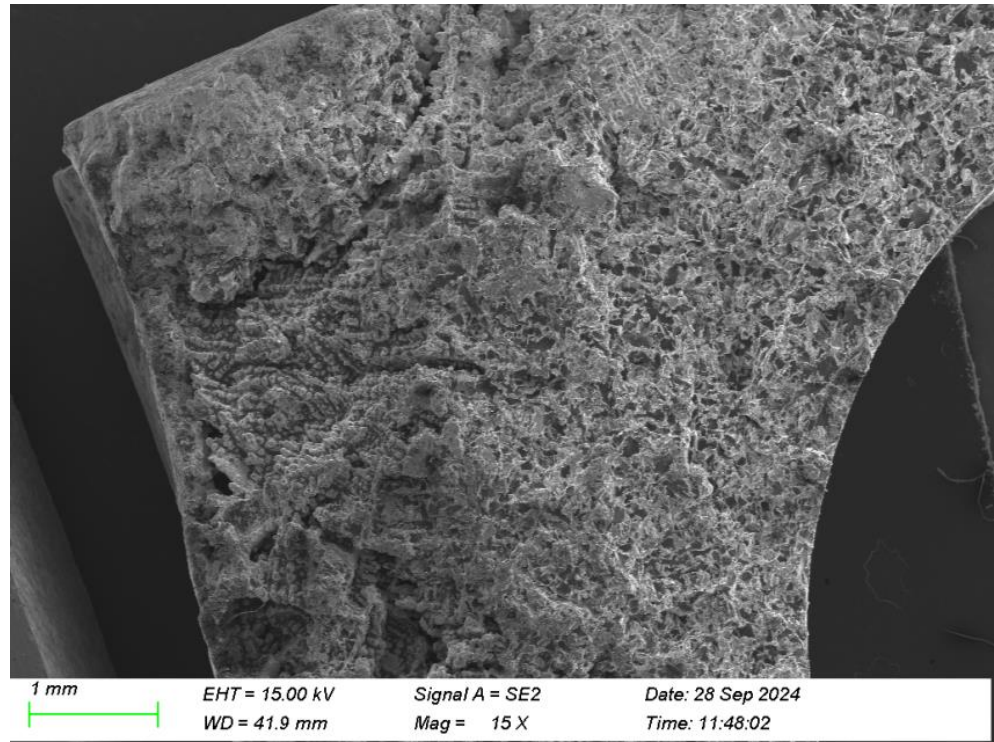
b) 选区能谱

图A. 3 缸盖RuT350 铸件顶部夹渣处选区能谱分析

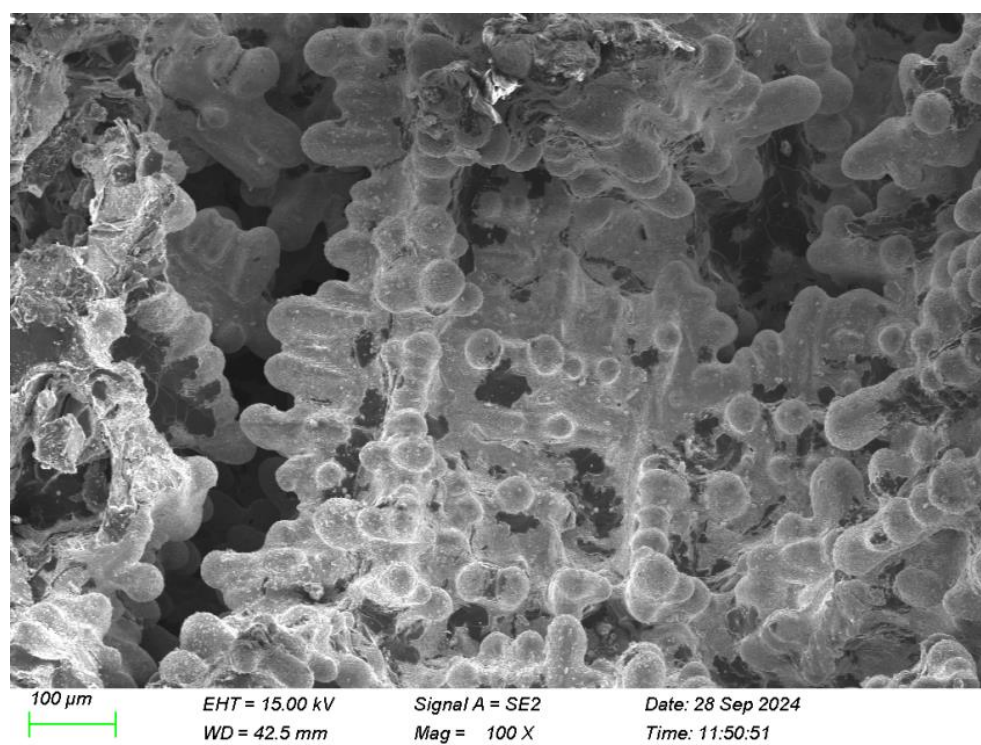
表A.1 缸盖RuT350 铸件顶部夹渣处选区元素含量

元素	重量百分比	原子百分比
O K	49.94	65.14
Na K	1.36	1.21
Mg K	1.00	0.84
Al K	6.19	4.17
Si K	31.60	24.81
K K	2.71	1.42
Ca K	1.90	0.97
Fe K	2.97	1.09
Ba L	2.33	0.35
总量	100.00	

A.1.2 图 A.4、图 A.5 给出了机体 HT250 主螺栓孔处缩松缺陷示意图。缩松缺陷主要由于金属液凝固补缩不足所致。样品为断口，用无水乙醇超声清洗后取样。

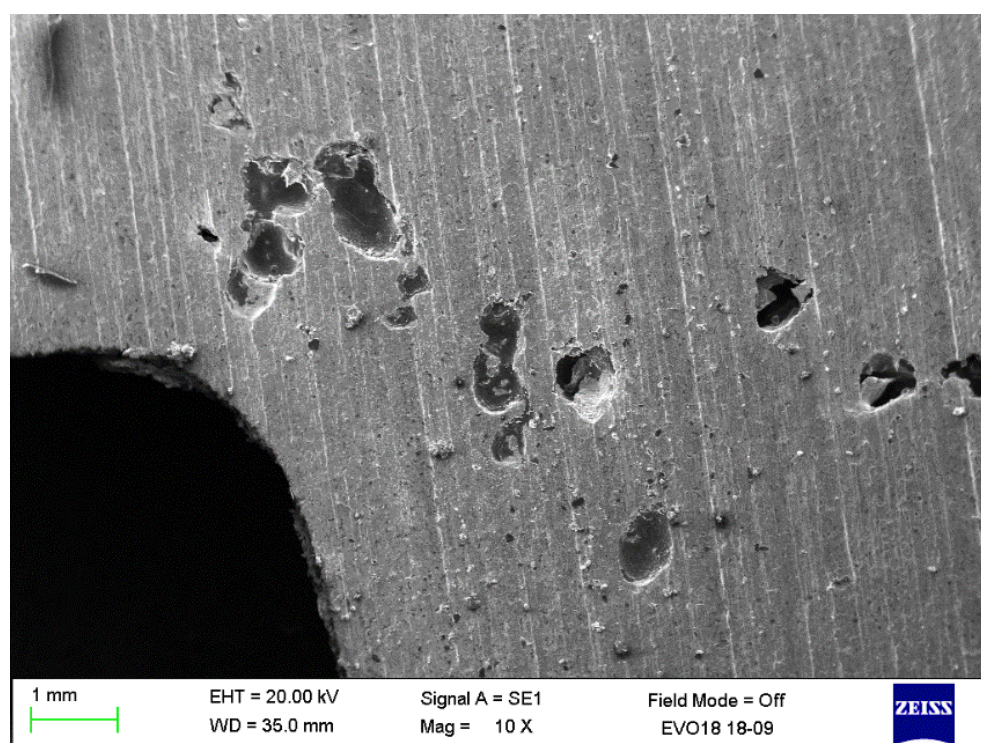


图A.4 机体HT250 主螺栓孔处 缩松缺陷低倍形貌

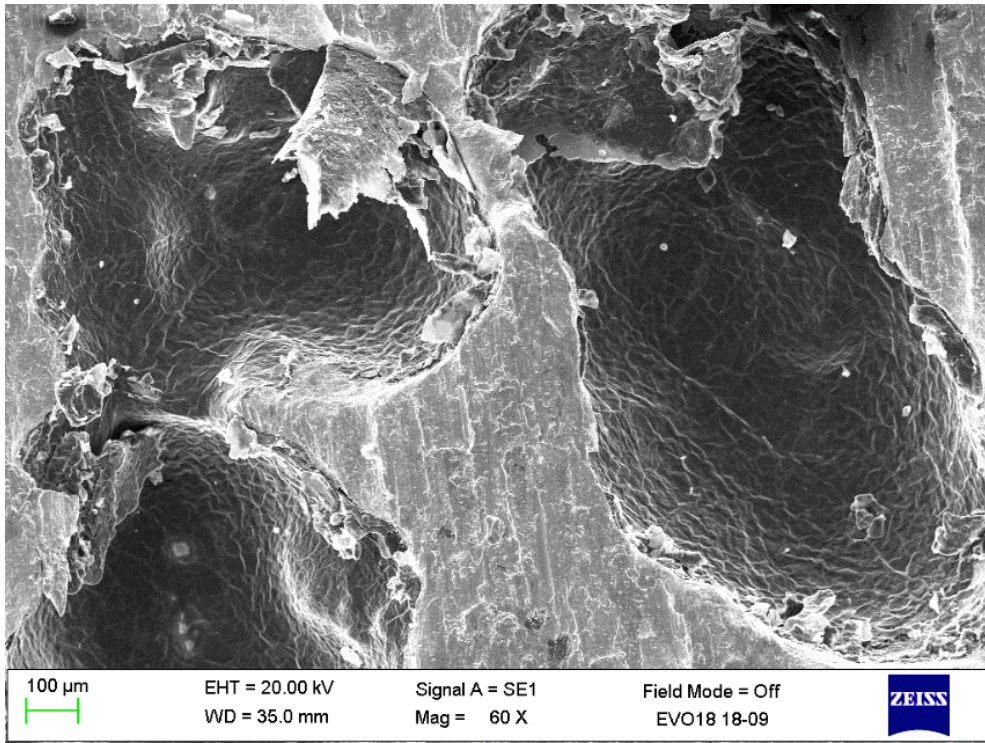


图A.5 机体 HT250 主螺栓孔处 缩松缺陷微观形貌

A.1.3 图 A.6、图 A.7 给出了缸盖 RuT400 顶面加工处气孔缺陷示意图。气孔缺陷多因熔体含气未逸出或型砂产气滞留所致。样品经锯切加工处理后，用无水乙醇超声清洗后取样。

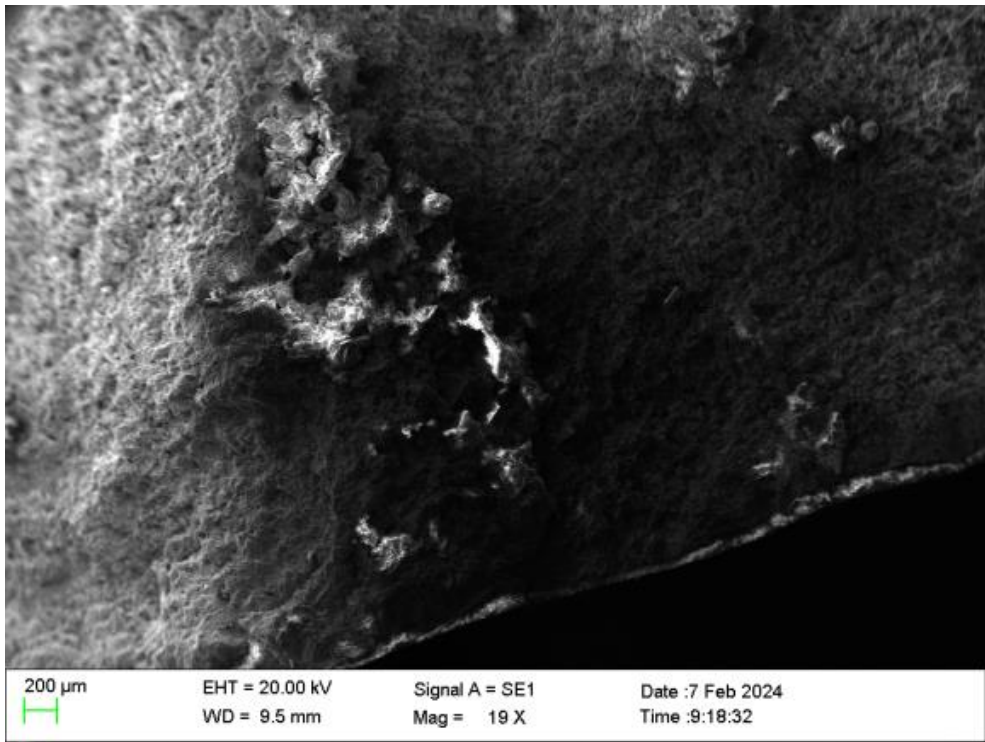


图A.6 缸盖 RuT400 顶面加工处气孔缺陷低倍形貌

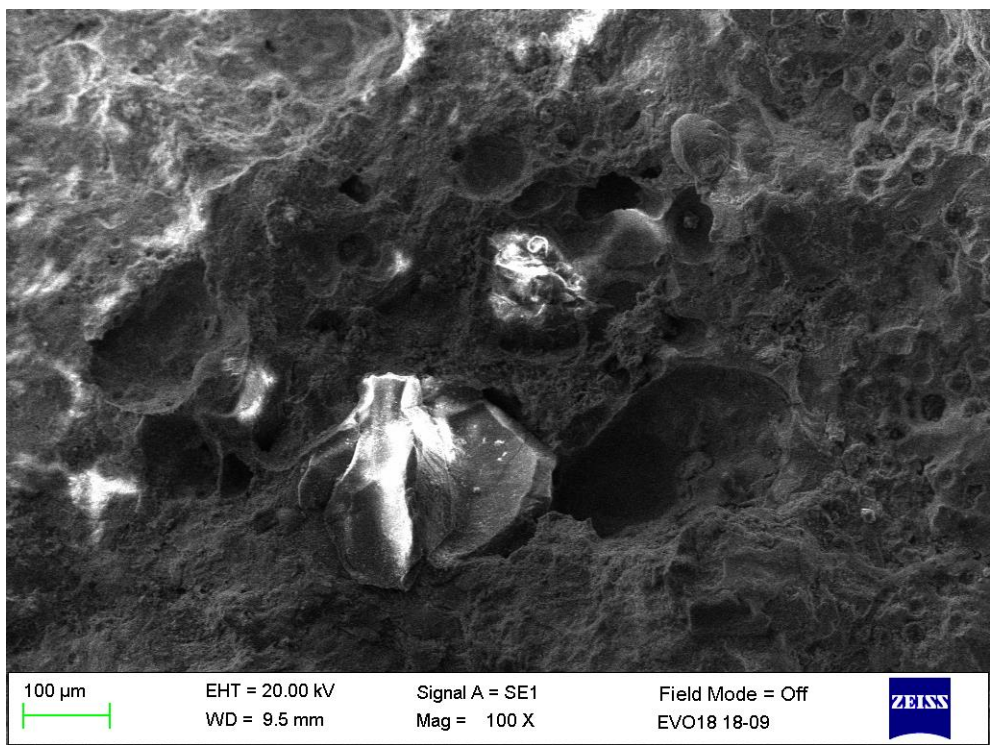


图A. 7 缸盖 RuT400 顶面加工处气孔缺陷微观形貌

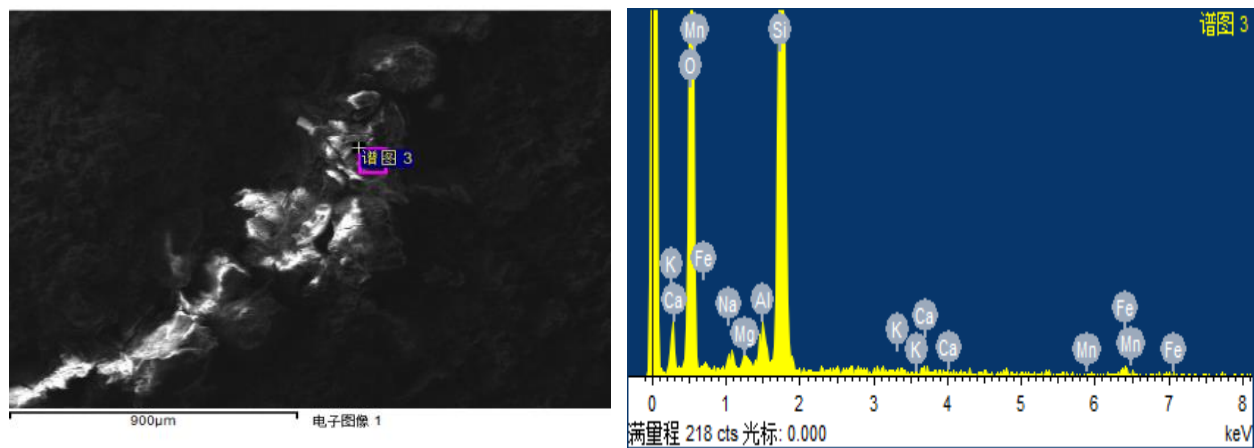
A. 1. 4 图 A.8、图 A.9 和图 A.10 给出了机体 HT 250 底平面砂眼缺陷示意图，表 A.2 给出了砂眼处选区能谱分析结果。砂眼缺陷多因型砂溃散或浇注冲砂带入所致。样品表面用无水乙醇超声清洗后取样。



图A. 8 机体HT250 底平面 砂眼缺陷低倍形貌



图A. 9 机体 HT250 底平面 砂眼缺陷微观形貌



a) 砂眼选区位置

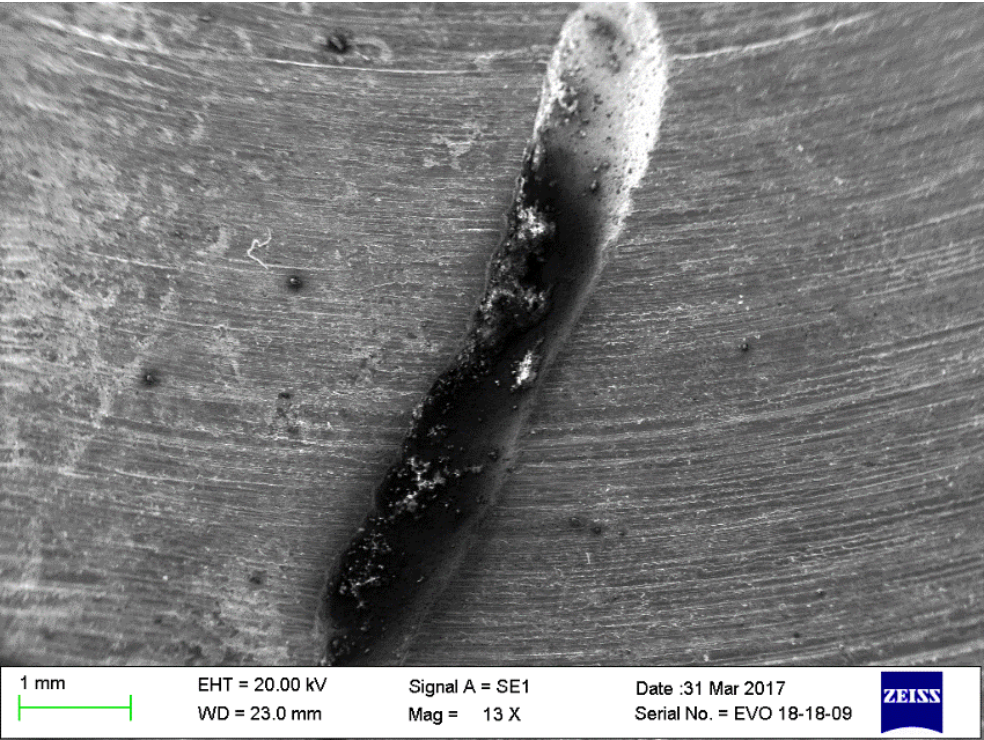
b) 选区能谱

图A. 10 机体HT250 底平面 砂眼选区能谱分析

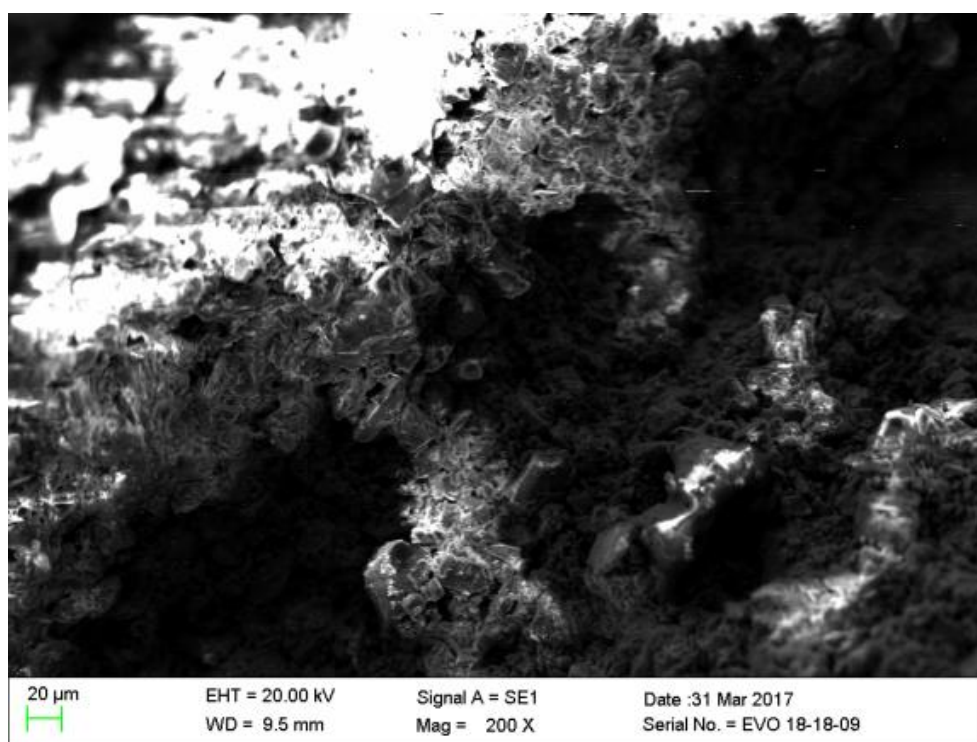
表A.2 机体HT250 底平面 砂眼选区元素含量

元素	重量百分比	原子百分比
O K	53.66	65.60
Na K	0.57	0.47
Mg K	0.64	0.50
Al K	1.44	1.01
Si K	42.50	31.83
K K	0.16	0.08
Ca K	0.22	0.10
Mn K	0.02	0.01
Fe K	0.79	0.40
总量	100.00	

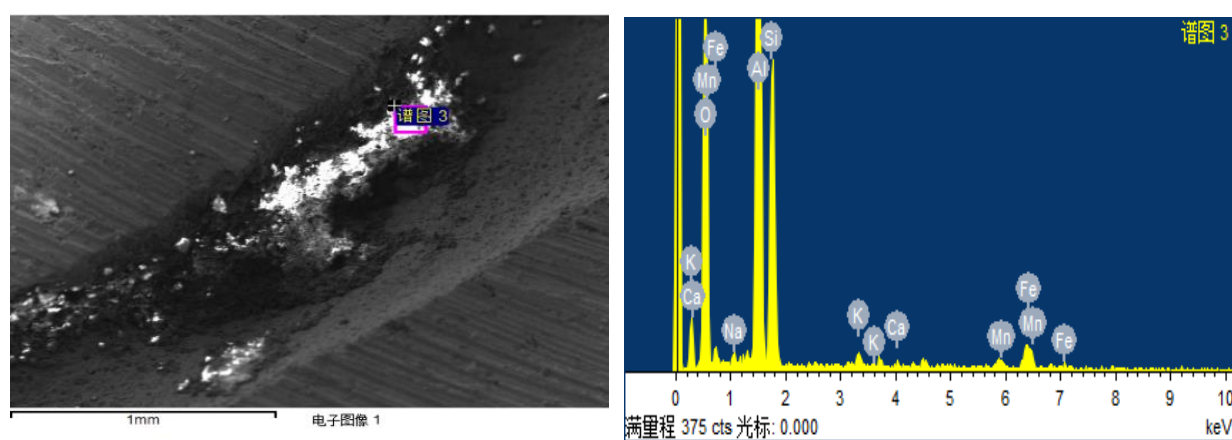
A. 1. 5 图 A.11、图 A.12 和图 A.13 给出了缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损夹杂物缺陷示意图，表 A.3 给出了夹杂物处选区能谱分析结果。夹杂物缺陷主要由熔炼渣滓未除净、浇注过程二次氧化或外来杂质混入所致。样品经铣加工处理后，用无水乙醇超声清洗后取样。



图A.11 缸盖HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物缺陷低倍形貌



图A. 12 缸盖HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物缺陷微观形貌



a) 夹杂物选区位置

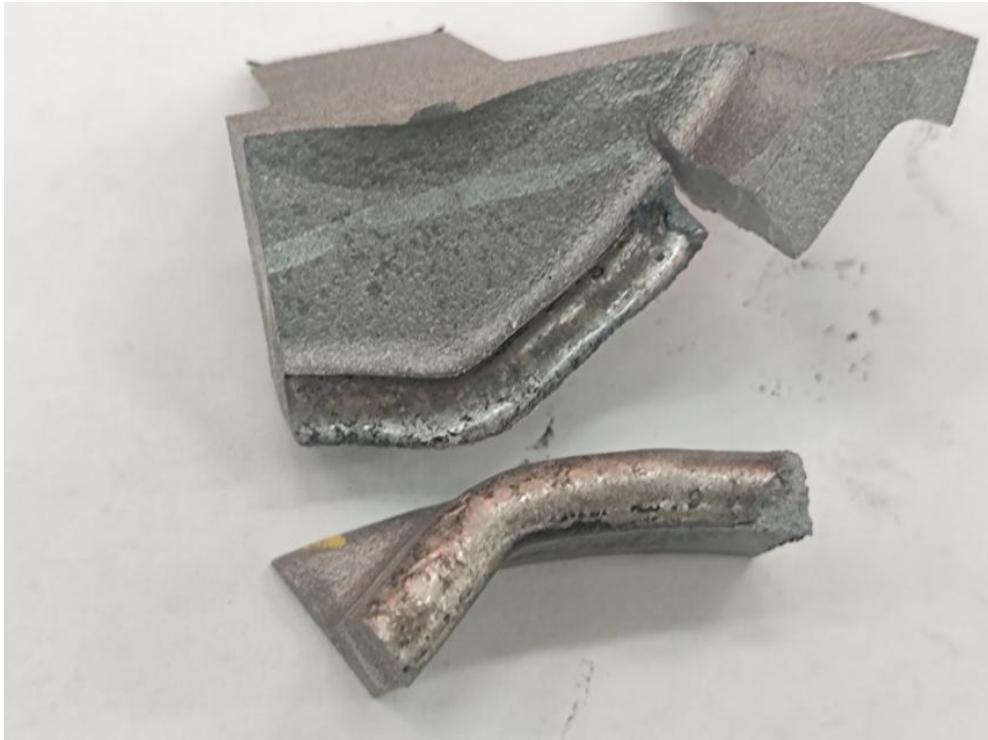
b) 选区能谱

图A. 13 缸盖HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物选区能谱分析

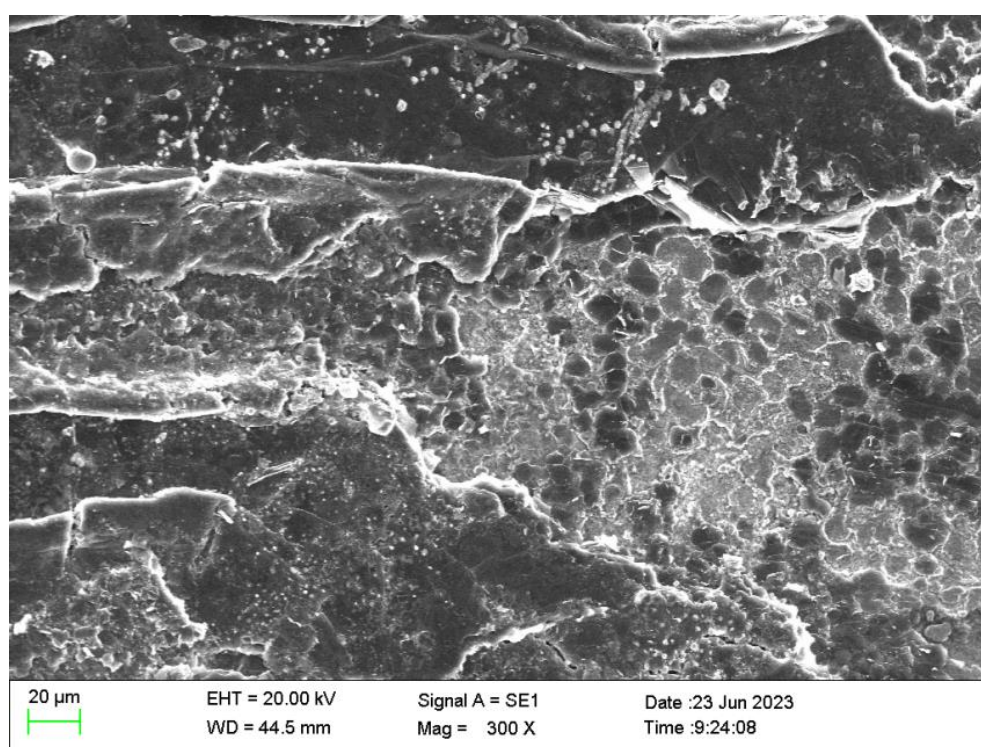
表A. 3 缸盖 HT250 铸造顶部 陶瓷过滤网破损 夹杂物选区元素含量

元素	重量百分比	原子百分比
O K	49.19	60.06
Na K	0.51	0.44
Al K	28.18	24.68
Si K	16.56	12.13
K K	0.57	0.29
Ca K	0.42	0.21
Mn K	1.07	0.39
Fe K	3.50	1.26
总量	100.00	

A. 1. 6 图 A.14、图 A.15 给出了排气管 QTRSi4Mo1 薄管壁处冷隔缺陷示意图。冷隔缺陷多因低温充型或流动性不足致使金属液未熔合。样品经锯切加工处理后，用无水乙醇超声清洗后取样。

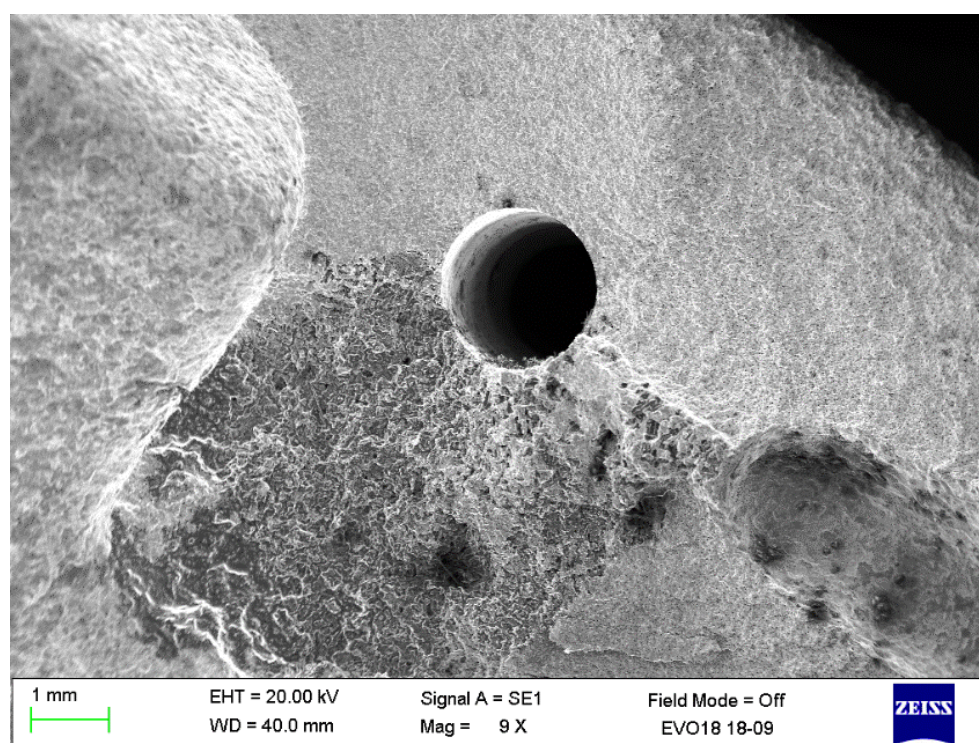


图A. 14 排气管QTRSi4Mo1 薄管壁处 冷隔缺陷宏观形貌

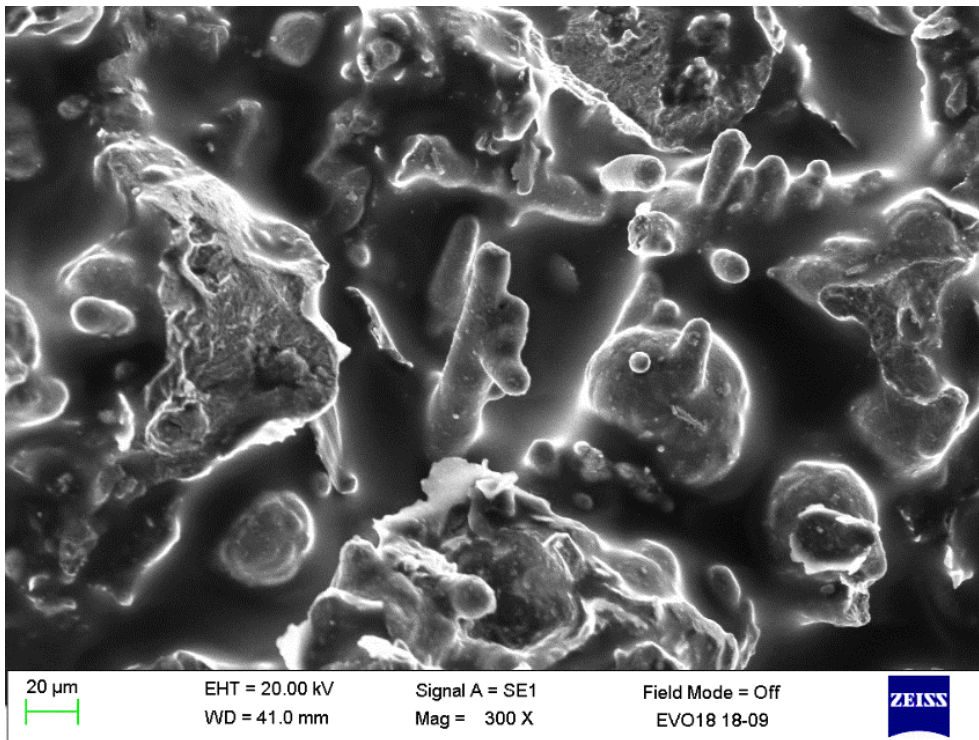


图A. 15 排气管QTRSi4Mo1 薄管壁处 冷隔缺陷微观形貌

A. 1. 7 图 A.16、图 A.17 给出了摇臂 QT600 断口热裂缺陷示意图。热裂缺陷多因凝固收缩受阻或冷却不均导致应力开裂。样品为断口，用无水乙醇超声清洗后取样。

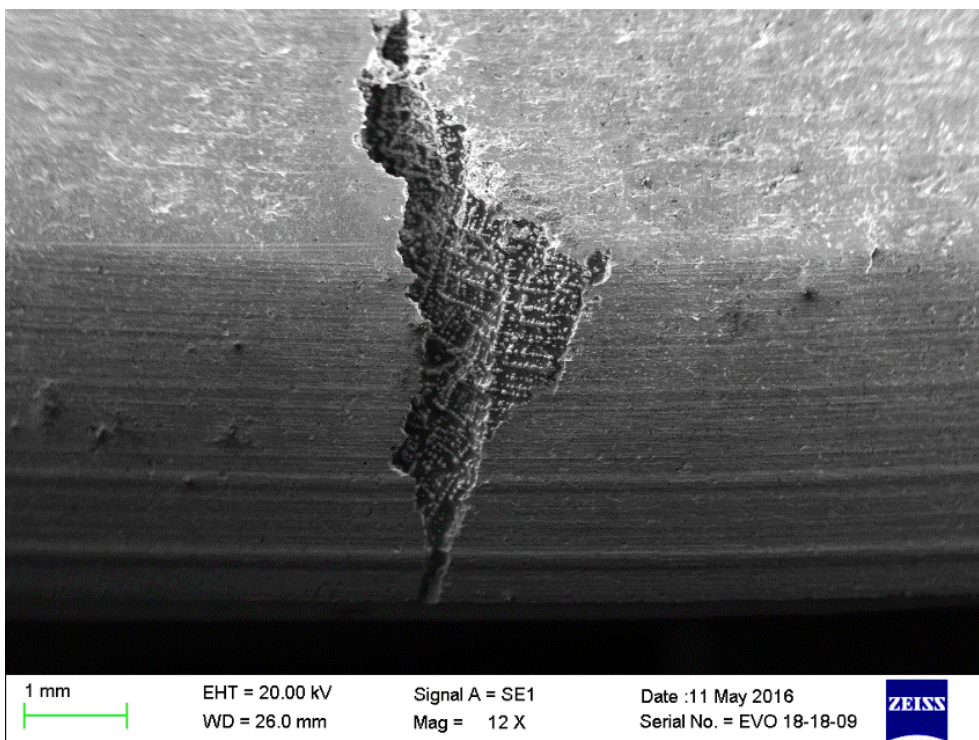


图A. 16 摇臂QT600 断口 热裂缺陷低倍形貌

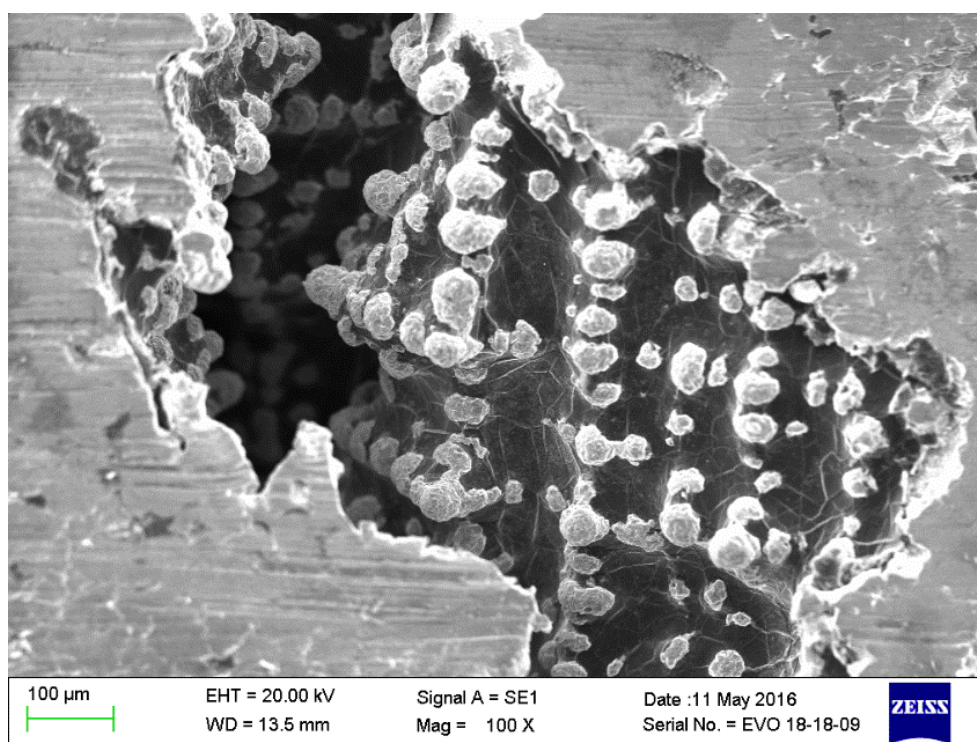


图A. 17 摇臂QT600 断口 热裂缺陷微观形貌

A. 1. 8 图 A.18、图 A.19 给出了缸盖 HT300 线束孔加工面氮气孔缺陷示意图，采用潮模砂工艺，氮含量 116 ppm。氮气孔缺陷多因熔体熔氮超限，凝固时氮气滞留形成。样品经铣加工处理后，用无水乙醇超声清洗后取样。

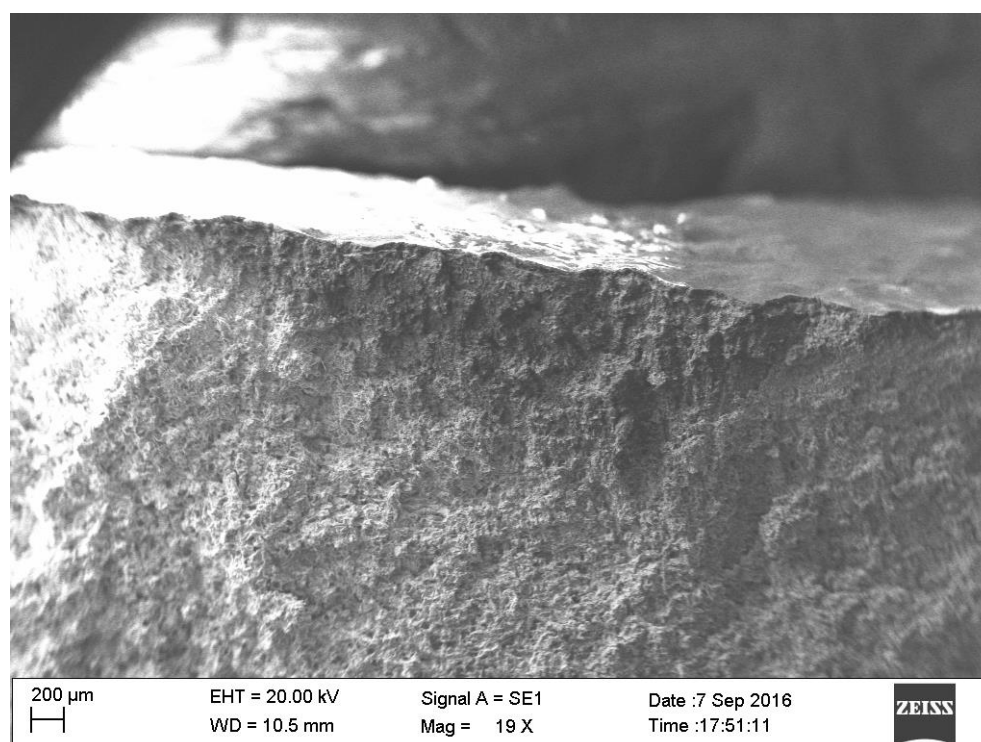


图A. 18 缸盖HT300 线束孔加工面 氮气孔缺陷低倍形貌

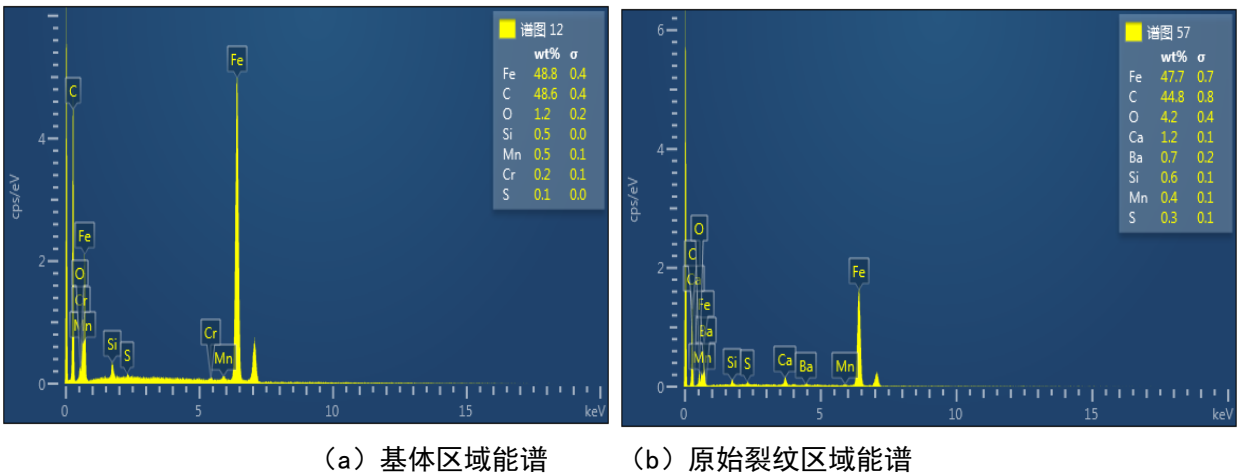


图A. 19 缸盖HT300 线束孔加工面 氮气孔缺陷微观形貌

A. 1. 9 图 A.20 给出了缸体 EN-GJL 原始裂纹缺陷示意图，表 A.4 给出了原始裂纹处选区能谱分析结果。原始裂纹缺陷多因凝固收缩应力超限或冶金缺陷诱发。样品为断口，用无水乙醇超声清洗后取样。



图A. 20 缸体EN-GJL-250 原始裂纹缺陷形貌



图A. 21 缸体EN-GJL-250 可能的异物对比能谱分析

表A. 4 缸体 EN-GJL-250 基体区域和原始裂纹区域元素含量对比

基体成分		原始裂纹区成分	
元素	重量百分比	元素	重量百分比
Fe K	95.1	Fe K	86.6
O K	2.3	O K	7.6
Si K	1.0	Si K	1.1
Mn K	1.0	Mn K	0.7
Cr K	0.4	Cr K	0.0
S K	0.2	S K	0.5
		Ca K	2.2
		Ba K	1.3
总量	100.00	总量	100.00

参考文献

- [1] 姜锡山 赵晗编著 钢铁显微断口速查手册 [M], 北京, 机械工业出版社, 2010.5.
- [2] 程俊伟;郭亚辉;张俊祥;范随长.缸体孔洞类缺陷的微观分析与研究[J].现代铸铁,2010,30(S1):66-69.

