

# 高锰奥氏体钢的热处理试验研究

李智丽, 岳祎楠, 靳燕

(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:** 文章以 Fe-Mn-Al-C 系高锰奥氏体试验钢为研究对象, 开展 1 000 ~ 1 250 °C 系列温度的热处理试验研究, 分别对试验钢的表面氧化层及内部组织、晶粒度进行了检测分析。研究表明, 随着加热温度升高, 试验钢的表面氧化层增厚, 当加热温度高于 1 150 °C 时, 试验钢的表面出现晶界氧化; 随着加热温度升高, 试验钢的晶粒长大, 在 1 150 °C 出现混晶, 1 250 °C 晶粒明显增大。

**关键词:** 奥氏体高锰钢; 热处理; 氧化层; 晶粒度

中图分类号: TG155.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)05-0001-04

## Experimental Study on Heat Treatment of High Manganese Austenitic Steel

Li Zhi-li, Yue Yi-nan, Jin Yan

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

**Abstract:** In the paper, it is introduced the experimental study on heat treatment at a series of temperatures of 1 000 ~ 1 250 °C was carried out by taking the Fe-Mn-Al-C high manganese austenitic test steel as object of study. The surface oxide layer, microstructure and grain size of test steel were detected and analyzed separately. The results showed that the thickness of surface oxide layer increased with heating temperature increased, there was grain boundary oxidation when heating temperature was above 1 150 °C; the grain size of test steel increased with heating temperature increased, there was mixed crystal at 1 150 °C and the grain size increased obviously at 1 250 °C.

**Key words:** austenitic high manganese steel; heat treatment; oxide layer; grain size

高锰钢经适当成分设计后, 表现出优异的强度、塑性、低温韧性、加工硬化性以及抗冲击安全性, 在汽车、低温容器、建筑等领域展示出广阔的应用潜力<sup>[1-2]</sup>。但高锰钢因其成分设计的特殊性, 在连铸和轧制等生产过程中存在困难, 钢材表面容易产生缺陷<sup>[3]</sup>。本文以 Fe-Mn-Al-C 系高锰奥氏体试验钢为研究对象, 开展了加热温度对试验钢表面和内部晶粒的影响研究。

### 1 热处理试验方案

本文中所用的材料为 Fe-18Mn-2Al-0.6C 系高锰奥氏体试验钢。使用钼丝切割机将试验钢切割成 10 mm × 10 mm × 20 mm 的块状试样。采用 RX4-150-13 型高温箱式电阻炉对试样进行热处理, 加热温度分别为 1 000 °C、1 050 °C、1 100 °C、1 150 °C、1 200 °C、1 250 °C。待炉温升至目标加热

温度,将试样放入加热炉中保温 1 h 后取出水冷。热处理后的试样从长边的中间部位切开,磨制金相样进行表层和内部晶粒的观察分析。

## 2 热处理试验结果

将热处理后的试样切开磨制金相试样,分别用蔡司金相显微镜和蔡司扫描电镜进行观察分析。对应的热处理加热温度依次为 1 000 ℃、1 050 ℃、1 100 ℃、1 150 ℃、1 200 ℃、1 250 ℃。

### 2.1 热处理试验钢的表面氧化层特征分析

不同热处理温度试验钢表面氧化层形貌见图 1。如图 1(a)、(b)所示,1 000 ℃和 1 050 ℃加热温度试样表面无明显氧化层;图 1(c)为 1 100 ℃加热温度试样,表面有轻微的氧化层,厚度约 5 μm;图 1(d)为 1 150 ℃加热温度试样,表面氧化层厚度约 44 μm;图 1(e)为 1 200 ℃加热温度试样,表面氧化层厚度约 82 μm;图 1(f)为 1 250 ℃加热温度试样,表面氧化层厚度约 122 μm。

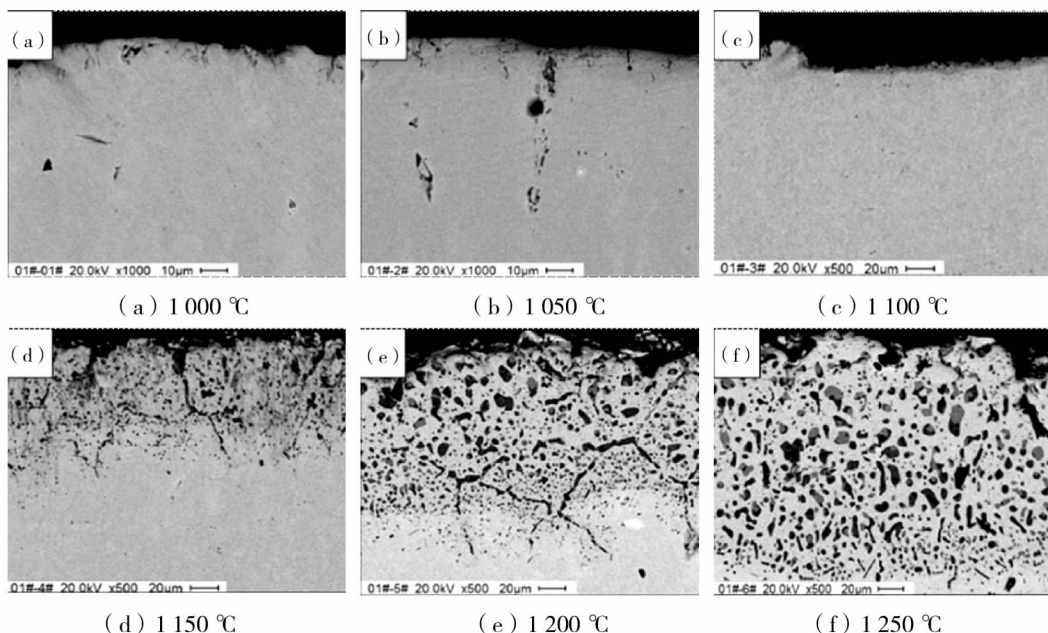


图 1 不同热处理温度的试验钢表面氧化层形貌

随着加热温度的提高,试验钢表面氧化层逐渐增厚,如图 1(d)、(e)、(f)所示,加热温度在 1 150 ℃以上,试验钢的氧化层可见大量颗粒状氧化产物。对其进行扫描电镜能谱分析,靠近外表面的浅灰色颗粒成分为 O、Mn、Fe 元素,灰黑色颗粒成分为 O、Mn、Si、Al、Fe 元素,黑色颗粒成分为  $Al_2O_3$ ,氧化层靠近基体一侧可见杆状 AlN,晶界氧化特征明显,晶界氧化产物组成元素为 O、Al、Mn、Si、Fe、Ti 等,见图 2。对 1 250 ℃试验钢氧化层进行了 XRD 检测分析,氧化层由 68.3% 的 Fe、9.9% 的 FeO、6.9% 的  $Fe_3Mn_3O_8$ 、9.9% 的  $Fe_2(SiO_4)$ 、5% 的  $(Mn_2Fe)Al_2(SiO_4)_3$  组成,见图 3。XRD 检测分析结果与扫描电镜检测分析结果具有较好的一致性。

由于试验钢试样采用 RX4-150-13 型高温箱式电阻炉对试样进行热处理,在加热过程中试样表面与空气接触,在 1 150 ℃以上的较高温度下,钢中易于氧化的元素能够和空气中的氧、氮发生反应,首先是表面的 Mn、Si、Al、Fe 等元素与空气中的氧反应生成颗粒状氧化物,随着氧气在试样表面的进一步扩散反应,氧化层逐渐增厚,氧化反应之后在氧化层与基体的过渡区内 Al 与 N 反应生成 AlN。随着试验钢加热温度的提高,试验钢表面出现晶界熔化,给空气扩展形成了通道,氧气更易于在晶界富集,从而导致晶界氧化,同时在晶界氧化的周围区域生成大量杆状 AlN。

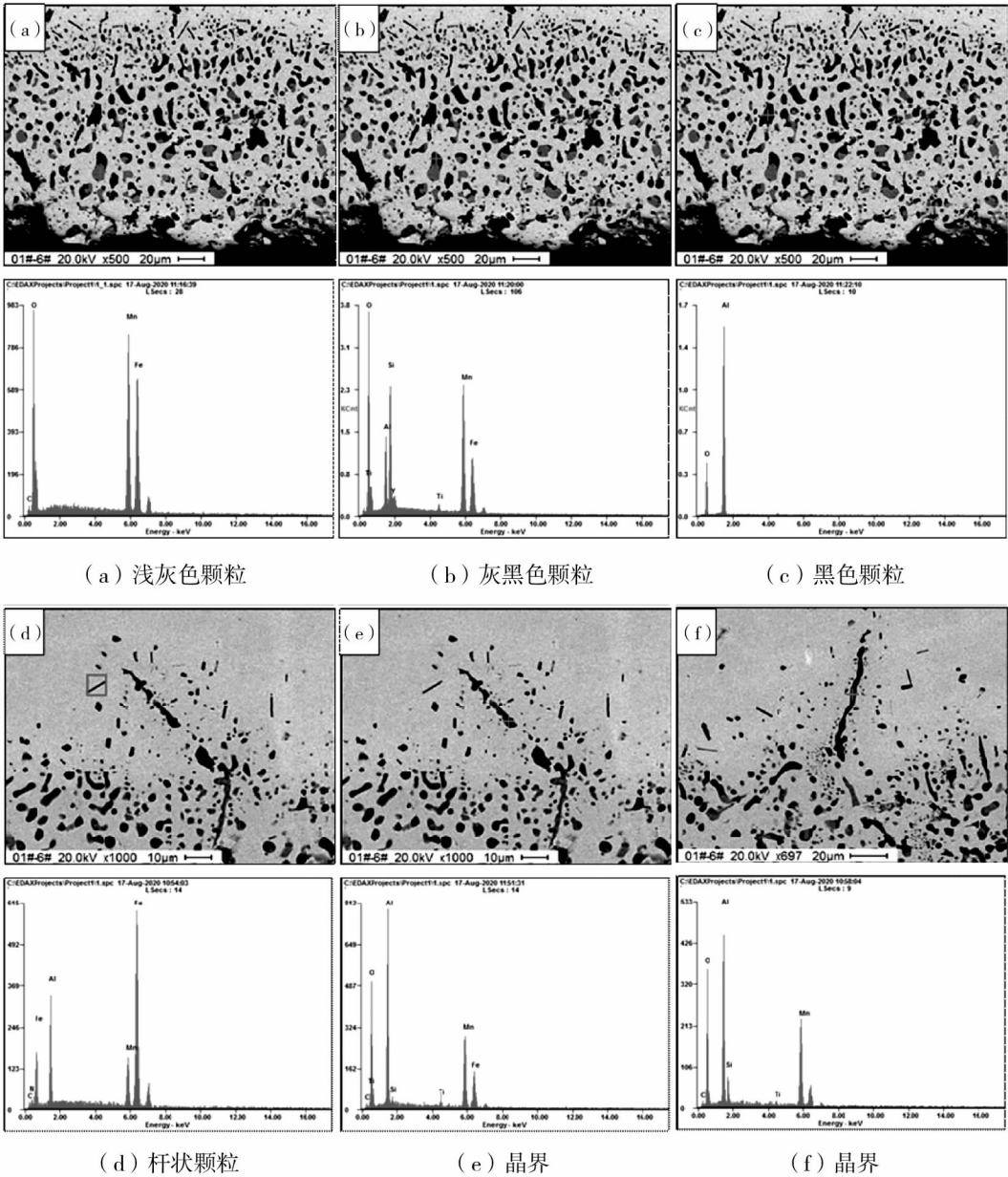


图 2 1 250 °C 试验钢氧化层产物的扫描电镜能谱分析

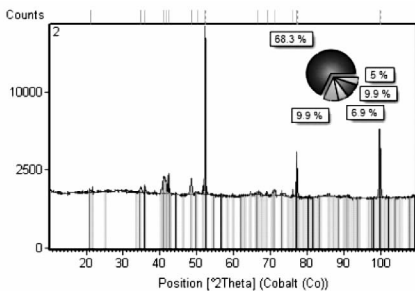


图 3 1 250 °C 试验钢氧化层的 XRD 分析

### 2.2 热处理试验钢的组织晶粒度分析

对不同热处理温度的试验钢进行显微组织和晶粒度检测,显微组织为奥氏体,奥氏体中可见大量孪晶,见图 4。

热处理试验钢加热温度从 1 000 到 1 250 °C 的平均晶粒度测量结果依次为 29.35  $\mu\text{m}$ 、33.85  $\mu\text{m}$ 、37.38  $\mu\text{m}$ 、42.50  $\mu\text{m}$ 、53.08  $\mu\text{m}$ 、91.20  $\mu\text{m}$ ,随着热处理温度的升高,晶粒逐步长大,其变化规律如图 5 所示。热处理温度在 1 150 °C 之前晶粒长大较为缓慢,从图 4 可见在温度为 1 150 °C 时,开始出现混晶,1 200 °C 时晶粒长大并均匀化,到 1 250 °C 时晶粒明显增大。

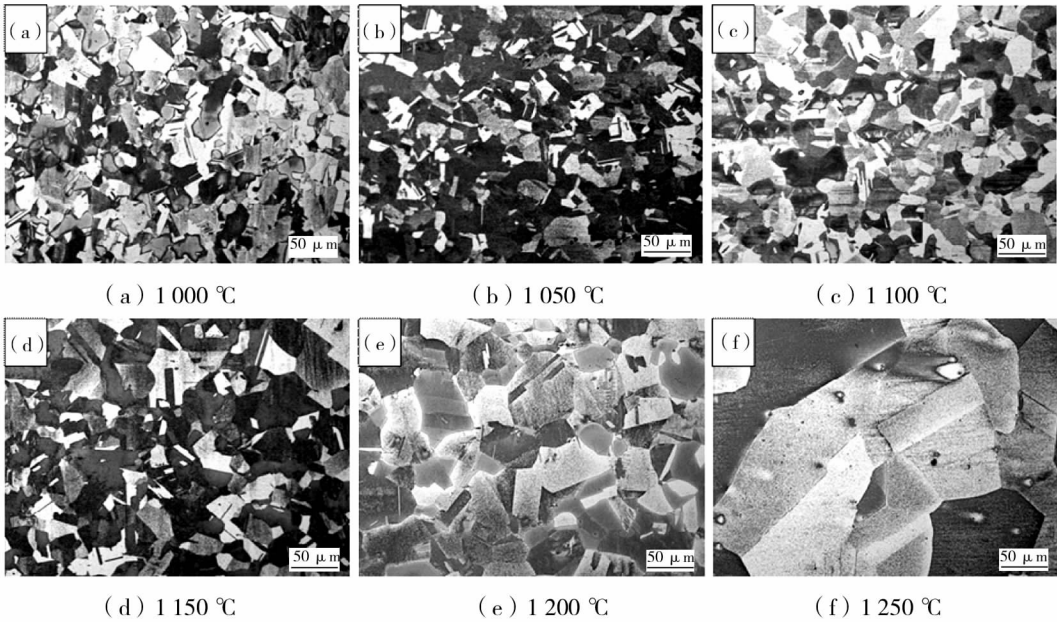


图 4 试验钢不同热处理温度的显微组织

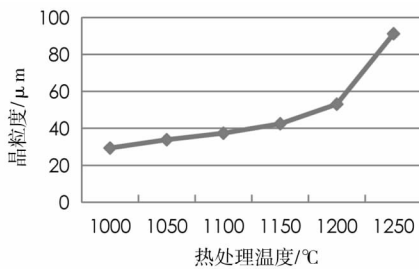


图 5 试验钢不同热处理温度的晶粒度变化

### 3 结论

(1) 试验钢在 1 100 °C 开始表面形成氧化层, 1 150 °C 晶界开始氧化, 氧化层产物为 68.3% 的 Fe、9.9% 的 FeO、6.9% 的  $Fe_3Mn_3O_8$ 、9.9% 的  $Fe_2(SiO_4)$ 、5% 的  $(Mn_2Fe)Al_2(SiO_4)_3$ 。

(2) 随着热处理温度的升高, 试验钢晶粒逐步长大, 1 150 °C 之前晶粒长大较为缓慢, 在温度为 1 150 °C 时开始出现混晶, 1 200 °C 时晶粒长大并均匀化, 到 1 250 °C 时晶粒明显增大。

### 参 考 文 献

- [1] 赵培峰, 国秀花, 宋克兴. 高锰钢的研究与应用进展 [J]. 材料开发与应用, 2008, 23(4): 85-88.
- [2] 范勇斐, 张恒. 热轧高锰钢晶间氧化的研究 [J]. 热处理, 2017, 32(3): 32-35.
- [3] 梁高飞, 林常青, 于艳, 等. 高强塑性高锰钢的研究进展 [J]. 铸造技术, 2009, 30(3): 404-407.