

连铸结晶器保护渣结晶性能的研究

孙丽枫 宋智芳 刘承军 姜茂发
(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘要 实验研究了结晶器保护渣 (% : 37CaO、2MgO、40SiO₂、5Al₂O₃、5Na₂O、11CaF₂) 在 1 300 ~ 1 000 °C 的结晶过程和性能。结果表明, 冷却速率 ≤ 2 °C/s 时, 该渣的结晶化率达 100%。在冷却速率 0.1 °C/s 时, 保护渣首先析出树枝状晶体, 然后以片状晶体形态析出, 直到结晶终止。通过 X-射线衍射分析, 得出析出的晶体主要有枪晶石 (Ca₄Si₂O₇F₂)、镁黄长石 (Ca₂MgSi₂O₇)、硅灰石 (CaSiO₃) 及镁铝尖晶石 (Al₂MgO₄)。

关键词 结晶器保护渣 冷却速率 结晶性能

Study on Crystallization Performance of Mold Flux for Casting

Sun Lifeng, Song Zhifang, Liu Chengjun and Jiang Maofa
(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract Course and performance of crystallization of mold flux 37CaO, 2MgO, 40SiO₂, 5Al₂O₃, 5Na₂O, 11CaF₂ at 1 300 ~ 1 000 °C have tested and studied. Results showed that as cooling rate was ≤ 2 °C/s, crystallization ratio of the flux was 100%; and as cooling rate was 0.1 °C/s, dendritic crystal precipitated at first in flux, then lamellar crystal precipitated to last of crystallization. By X-ray analysis, crystal phases of flux consist of cuspidine Ca₄Si₂O₇F₂, akermanite Ca₂MgSi₂O₇, wollastonite CaSiO₃ and magnesia alumina spinel Al₂MgO₄.

Material Index Mold Flux, Cooling Rate, Crystallization Performance

连铸时铸坯与结晶器之间存在巨大的温度梯度, 当液态渣流入到铸坯与结晶器之间后, 迅速形成不同形态的渣膜^[1-3]。本实验采用热丝法熔化结晶性能测定仪, 研究保护渣在不同冷却速率下的结晶温度、时间和结晶化率。

1 实验方法

1.1 渣样制备

实验渣样由纯化学试剂配制而成, 渣样的成分 (%) 为: 36.56CaO、2.11MgO、40.00SiO₂、5.26Al₂O₃、5.26Na₂O、10.81CaF₂, CaO/SiO₂ 为 0.9, 粒度 < 0.147 mm。其中 Na₂O 以 Na₂CO₃ 代替。配制好的渣样由机械混合后, 装入垫有钼片的石墨坩埚内, 放入 MoSi₂ 炉升温到 1 400 °C, 恒温 30 min, 取出淬火, 实验过程中炉内通氩气保护, 淬火后的渣样磨细至 0.074 mm 待用。

1.2 实验步骤

实验设备为热丝法熔化结晶性能测定仪, 测定方法如下: 将制备好的渣样用无水酒精调成糊状, 取少量均匀平铺在热电偶上, 以 30 °C/s 的速度升温, 直至渣样完全熔清。渣样完全熔清后, 启动降温程序, 使渣样以 15 ~ 0.1 °C/s 的冷却速率降至室温, 利用试样上方的显微镜 (放大 20 倍) 及视频采集系统同时对渣样进行观测。采用相关软件计算结晶面积

及渣膜总面积, 以两者的比值作为结晶化率。将渣样有晶体出现时的温度记为结晶温度 (T_c), 渣样结晶终止时的温度记为结晶终止温度 (T'_c), 并用下式计算结晶时间 (t_c)。

$$t_c = \frac{T_c - T'_c}{v}$$

2 结果和讨论

2.1 连铸保护渣的结晶过程

连铸保护渣在 1 300 °C 时完全熔清 (图 1a)。以 0.1 °C/s 冷却速率降温至 1 232 °C 时, 连铸保护渣开始有晶体析出 (图 1b); 在 1 220 °C 时析出树枝状晶体 (图 1c)。树枝状晶体的析出是由于随着温度的降低, 逐渐接近了晶体生长最大速度的温度范围。在这个温度范围内, 晶体的生长速度加快, 导致析出晶体的主晶轴 (一次轴) 上又长出二次轴、三次轴等, 因此晶体呈树枝状形态生长。随着温度的继续下降, 树枝状晶体持续长大 (图 1d), 枝晶间隙缩小, 析出晶体数量增加, 使晶体堆砌在一起形成了片状晶体形态 (图 1e)。温度继续下降, 晶体继续生长 (图 1f、g), 在 1 146 °C 时连铸保护渣全部析出晶体, 即结晶终止 (图 1h)。

2.2 连铸保护渣的结晶温度和结晶化率

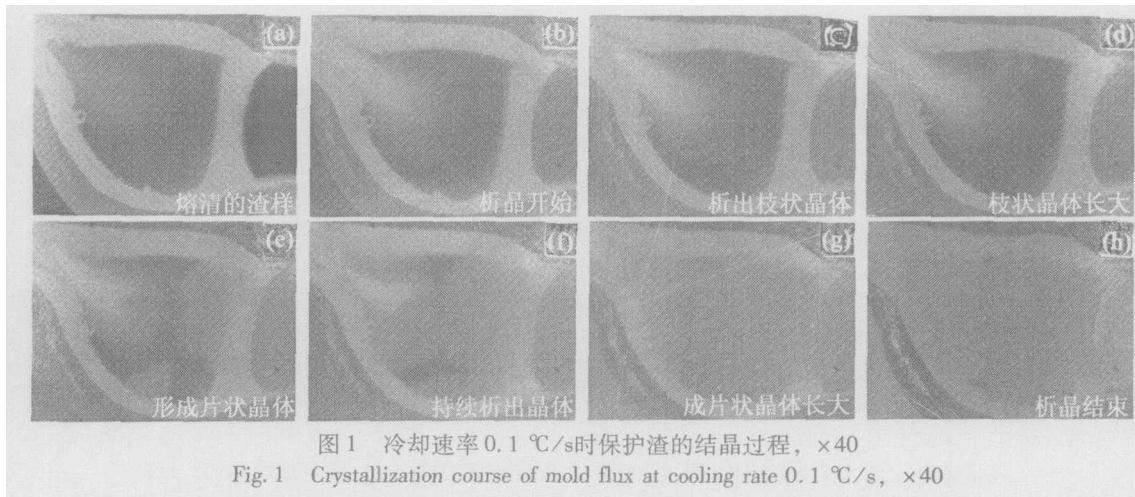


图1 冷却速率0.1 °C/s时保护渣的结晶过程, ×40
Fig.1 Crystallization course of mold flux at cooling rate 0.1 °C/s, ×40

随着冷却速率的增加,过冷度增大,连铸保护渣的结晶温度下降(图2a)。连铸保护渣的结晶时间及结晶化率都是随着冷却速率的增加而减小(图2b、c)。在冷却速率 ≤ 2 °C/s时,连铸保护渣的结晶化率为100%。这是因为当冷却速率 ≤ 2 °C/s时,相

对的过冷度降低,使晶核能在高温下形成,并有充足的时间长大,因此,结晶化率达到了100%。当冷却速率超过2 °C/s时,虽然达到了结晶温度,但不能达到晶体成核及生长所需的时间。

2.3 连铸保护渣的结晶相组成

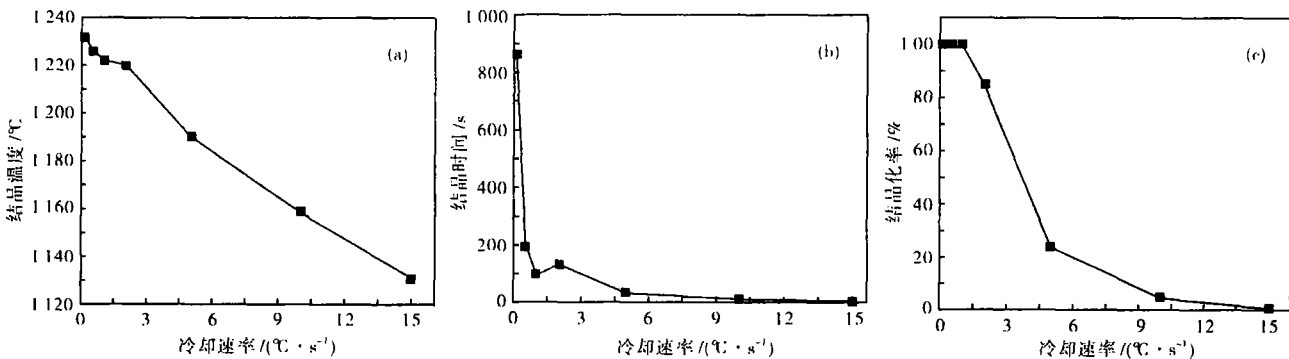


图2 冷却速率对保护渣结晶温度(a)、时间(b)、结晶化率(c)的影响

Fig.2 Effect of cooling rate on temperature (a), time (b) and rate (c) of crystallization of mold flux

从X射线衍射分析结果中得到,保护渣在1000 °C下析出晶体为枪晶石($\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$)、镁黄长石($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$)、硅灰石(CaSiO_3)及镁铝尖晶石(Al_2MgO_4),根据相图其熔点分别为1400,1450,1540,2135 °C。在本实验条件下, Na_2O 和 Al_2O_3 的含量都为5.26%,故没有析出霞石,这一结果与文献[4]报道相符。

3 结论

(1)随着冷却速率的增加,结晶温度下降,同时结晶时间和结晶化率减小。冷却速率 ≤ 2 °C/s时,连铸保护渣的结晶化率达到100%。

(2)连铸保护渣的结晶相,主要包括枪晶石($\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$)、镁黄长石($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$)、硅灰石(Ca -

SiO_3)及镁铝尖晶石(Al_2MgO_4),没有霞石析出。

国家自然科学基金资助项目(50204005)

参考文献

- 1 迟景灏,甘记年.连铸保护渣.沈阳:东北大学出版社,1993
- 2 舒俊,金山同,张丽,等.冷却速率对连铸保护渣结晶性能的影响.北京科技大学学报,2001,23(5):421
- 3 刘承军,朱英雄,姜茂发,等.连铸保护渣的熔化温度、凝固温度和结晶温度研究.炼钢,2001,17(1):43
- 4 Grieveson P, Bagha S, Machingawuta N, et al. Physical Properties of Casting Powders; Part 2 Mineralogical Constitution of Slag Formed by Powders. Ironmaking and Steelmaking, 1988, 15(4):181

孙丽枫(1976-),女,博士研究生,2004年东北大学钢铁冶金专业毕业,冶金辅助材料系列化开发。

收稿日期:2006-10-16