

钛合金中 Al 元素的补加量为 20% 时,其挥发率的精确控制较为困难,最大挥发率达到 15%;TA15 钛合金中 Al 元素的补加量为 20% 时,Al 元素挥发率较为稳定,在 10%~12.68% 之间波动,而 Zr 元素的挥发率控制在 3.33% 以下。通过逐步优化 EB 熔炼工艺参数,将 Ti6242 钛合金中 Sn 元素的挥发率由最初的 15% 以上逐步优化至 $\leq 8.5\%$ 。

3 结 论

(1) 采用 EB 炉熔炼 TC4、Ti6242、TA15 钛合金过程中,合金元素的挥发规律与 Langmuir 定律及挥发模型计算结果吻合度较高。通过合理选择熔炼工艺参数,可有效控制 Al、Sn、Zr 等元素的挥发率。

(2) Al 元素在 3 种钛合金中的挥发率有所不同,挥发率由大到小顺序为 TC4 > Ti6242 > TA15; Zr、Mo 元素则表现出不同的挥发规律:Ti6242 钛合金中 Zr、Mo 元素的挥发可忽略不计,TA15 钛合金中 Zr 元素挥发率 $\leq 3.33\%$ 。

(3) EB 炉熔炼 TC4 钛合金过程中,Al 元素是主要的挥发元素;Ti6242 钛合金熔炼过程中,Al、Sn 元素之间存在联合挥发的问题;TA15 钛合金熔炼过程中,Al 元素的挥发带动了 Zr 元素(难挥发元素)的挥发。

参考文献 References

[1] 马济民,贺金宇,庞克昌. 钛的锻造和铸造[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
[2] Mitchell A. The electron beam melting and refining of titanium alloys[J]. Materials Science and Engineering A, 1999, 263: 217-223.

[3] 朱知寿. 新型航空高性能钛合金材料技术研究与发展[M]. 北京:航空工业出版社,2013.
[4] 冯寅楠,闫鹏,贾国斌. 电子束冷床熔炼的应用现状[J]. 中国材料进展,2020,39(4): 295-303.
[5] 杜彬,唐增辉,韵海鹰,等. 电子束冷床炉制备的 TC4 合金直轧工艺性能研究[J]. 热加工工艺,2018,47(23): 34-37.
[6] 唐增辉,辛社伟,洪权,等. 电子束冷床(EB)炉熔炼 TC4 合金组织与性能研究[J]. 中国材料进展,2018,37(3): 204-209.
[7] 岳旭,杨国庆,李渭清,等. 熔炼方式对 TC17 钛合金铸锭化学成分及棒材组织均匀性的影响研究[J]. 钛工业进展,2016,33(5): 11-15.
[8] Vutova K, Mladenov G. Computer simulation of the heat transfer during electron beam melting and refining[J]. Vacuum, 1999, 53(1): 87-91.
[9] 毛小南,罗雷,于兰兰,等. 电子束冷床熔炼工艺参数对 TC4 钛合金 Al 元素挥发的影响[J]. 中国有色金属学报,2010,20(11): 419-424.
[10] 罗雷. TC4 钛合金电子束冷床熔炼技术研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2010.
[11] 雷文光,毛小南,于兰兰,等. TC4 钛合金电子束冷床熔炼过程中 Al 元素挥发损失的数学模型[J]. 特种铸造及有色合金,2010,30(11): 1048-1051.
[12] 罗雷,于兰兰,雷文光,等. 电子束冷床熔炼 TC4 合金元素挥发机制研究[J]. 稀有金属材料与工程,2011,40(4): 625-629.
[13] 刘仲贵,苏彦庆,郭景杰,等. Ti-13Al-29Nb-2.5Mo 合金 ISM 熔炼过程中多组元挥发损失[J]. 稀有金属材料与工程,2003,32(2): 108-112.
[14] 梁英教,车荫昌. 无机物热力学数据手册[M]. 沈阳:东北大学出版社,1993.

2020 年 1—3 月日本钛锭产量及钛材产销数据统计

日 期	钛锭产量/t	国内钛材出货量/t	国外钛材出货量/t	钛材出货量合计/t
2020 年 1 月	1473	514	783	1297
2020 年 2 月	1169	563	839	1402
2020 年 3 月	1673	764	1298	2062
合 计	4315	1841	2920	4761