

2 4 元素含量对凝固温度的影响

为考察合金成分对凝固特性的影响,以 10℃/min 速率进行了 DSC 试验,结果如表 2 所示。

表 2 合金的 DSC 分析结果

Table 2 DSC results of various compositions

|         | $T_s / ^\circ\text{C}$ | $T_L / ^\circ\text{C}$ | $\Delta T / ^\circ\text{C}$ |
|---------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| IC10    | 1336 3                 | 1374 8                 | 38 5                        |
| 0 8% Ti | 1323 9                 | 1367 0                 | 43 1                        |
| 1 5% Ti | 1313 0                 | 1356 5                 | 43 5                        |
| 0 8% Hf | 1417 4                 | 1435 3                 | 17 9                        |
| 2% Hf   | 1328 7                 | 1374 6                 | 45 9                        |
| 6 1% Al | 1329 5                 | 1371 7                 | 42 2                        |
| 0 03% B | 1332 1                 | 1377 9                 | 45 8                        |
| 0 1% Zr | 1330 1                 | 1374 7                 | 44 6                        |

Ti 是强烈正偏析元素,偏析于枝晶间,降低合金的固、液相线温度。合金凝固特性的 DSC 试验结果表明,无 Ti 合金熔化温度范围最小,低 Ti 合金次之,高 Ti 合金最大。资料表明,合金固-液相线温度范围 ( $\Delta T$ ) 越小,可铸性越好。所以合金 Ti 含量减小有助于降低定向凝固时晶界开裂倾向,改善了可铸性。同理,Al, B, Zr 含量的增加使合金熔化温度范围增大,增加合金热裂倾向性<sup>[10]</sup>。

从表 2 还可以看出,IC10 固-液相线温度范围较小,这也是 IC10 合金热裂倾向性小,可铸性优良的原因之一。

3 结论

(1) IC10 合金热裂倾向性很小,可铸性优良,可采用定向凝固方法浇注具有复杂形状的空心叶片。

(2) 增加 Ti 元素含量,共晶相数量增多,共晶尺寸增大;同时,合金熔化温度范围变大,定向凝固柱晶合金出现热裂纹。

(3) 降低 Hf 元素含量,合金熔化温度范围变小,

合金的铸造性能提高;增加 Hf 元素含量,熔化温度范围增大,但 Hf 流动性好,能渗透过枝晶间隙补缩,所以 Hf 元素含量变化没有影响合金铸造性能。

(4) 增加 Al, B, Zr 元素含量,微观组织无明显变化,合金熔化温度范围扩大,热裂倾向性增大。

参考文献

[1] KNOWLES D M, SKELTON D K. High temperature fatigue of a polycrystalline nickel base superalloy [J]. Materials Science & Technology, 2001, 17(11): 1403- 1412.

[2] 王艳丽, 郭景杰, 傅恒志. 钛合金冷坩埚定向凝固过程温度场数值模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(11): 1808- 1810.

[3] ZHOU Y Z, VOLEK A. Effect of grain boundary fraction on castability of a directionally solidified nickel alloys[J]. Scripta Materialia, 2006, 54: 2169- 2174.

[4] 夏鹏成, 禹文芳, 于金江, 等. 长期时效对 DZ951 合金  $\gamma'$  的影响[J]. 材料工程: 2007, (12): 8- 11.

[5] YOKOKAWA T, OSAWA M, NISHIDA K, et al. Partitioning behavior of platinum group metals on the  $\gamma$ - and  $\gamma'$ -phases of ni-base superalloys at high temperatures[J]. Scripta Materialia, 2003, 49: 1041- 1046.

[6] 郭运强, 张克实, 耿小亮, 等. 镍基定向高温合金力学性能的统计分析[J]. 中国有色金属学报, 2005, 15: 49- 54.

[7] MASATSUGU Y, ESTEBAN P B. On the accuracy of self-consistent elasticity formulations for directionally solidified polycrystal aggregates[J]. International Journal of Solids and Structure, 2005, 42: 1073- 1089.

[8] 何玉环, 刘绍伦. Ni<sub>3</sub>Al 合金热/机械疲劳裂纹扩展行为研究[J]. 材料工程, 2000, (11): 13- 14.

[9] 杨政, 田飞, 郑志, 等. 定向凝固镍基高温合金的成分因素对涡轮叶片热裂的影响[J]. 金属学报, 2002, 38: 1191- 1194.

[10] 陈荣章, 余力, 张宏伟, 等. DZ125 定向凝固高温合金的研究[J]. 航空材料学报, 2000, 20(4): 14- 19.

收稿日期: 2008-08-24; 修订日期: 2009-02-25

作者简介: 王艳丽(1977—), 女, 博士, 研究方向为定向凝固高温合金, 联系地址: 北京市 81 信箱 1 分箱(100095), E-mail: wangyanli0827@163.com

高精度电涡流位移传感器

德国米铨公司生产的电涡流位移传感器,主要用于油膜厚度的在线精密测量。此电涡流传感器主要包括控制器(DT 3010-A,适用于非铁磁材料的测量,如铝材料)和传感器探头(U05, 0 5mm 量程,非屏蔽)。传感器的线性度达到 1. 25 $\mu\text{m}$ ,静态分辨率达到 0 025 $\mu\text{m}$ ,频率响应为 25kHz,可在- 50~ 150℃的环境范围内使用,传感器独特的温度补偿技术可以大大减小由于温升带来的测量误差。

( 龚海飞)