

# 铸造高温合金单晶叶片晶粒度 选择器模料的研制

刘彩英 才广慧 钟振刚

## 1. 前言

随着航空发动机性能的不不断提高,对航空涡轮发动机部件(包括涡轮盘、涡轮叶片)工作寿命的要求也在提高。国外研制了柱状晶材料、单晶材料、共晶复合材料等,并且进行了柱状晶、单晶叶片生产方法的研究工作。采用单晶涡轮叶片可以延长发动机的使用寿命和降低燃油消耗率。单晶涡轮叶片的制造方法在欧美和苏联已经用于工业生产。

我们从1981年开始研制铸造镍基高温合金单晶涡轮叶片的熔模铸造工艺,目前已能小批量地铸出各类实心单晶涡轮叶片,最大叶片尺寸为160mm,成功率可达50%以上,初步具有工业生产价值。

铸造单晶涡轮叶片通常采用两种方法:一种是籽晶法;另一种是“自生籽晶法”,即所谓选晶法。后一种方法工艺简单,目前国外多采用这种方法进行生产。我们也采用选晶法制作单晶叶片。它是在激冷板表面形成的等轴晶,经过一定高度的择优生长,得到一束具有接近〔001〕取向的柱晶,再经过一定长度通道的生长,使得只有一个晶粒长入零件,而将其余晶粒全部抑制掉。单晶叶片与激冷板之间的部分称为晶粒选择器(图1)。

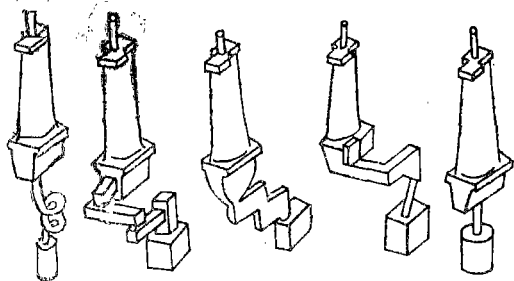


图1 选晶法示意

## 2. 国内外简况和技术要求

从英国的罗·罗公司和美国的普·惠公司报导,高温合金单晶涡轮叶片晶粒选择器是螺旋

形的,但对晶粒选择器模型的材料和工艺,一直没有报导。国内几家研制单晶叶片所用的晶粒选择器模型虽然也是螺旋形的,但中间需加支撑才能满足强度和刚性的要求。到目前为止,还没有看见报导过用简便的方法不加支撑做出晶粒选择器模型的。在单晶叶片的生产中,晶粒选择器是关键之一,它不仅影响单晶叶片的质量,也直接关系到生产效率。故选择器模型材料的研制就非常必要。

对晶粒选择器模型的要求:

### (1) 强度高

晶粒选择器模型要与单晶叶片连接在一起,它承受蜡模重量、模组焊接拉力、制壳中模组转动、撒砂冲击力等。熔模铸造单晶叶片蜡模抗弯强度一般为5.88MPa,而晶粒选择器模型抗弯强度需12.75MPa以上,比一般蜡模抗弯强度要高二倍多。

### (2) 刚性好

由于晶粒选择器模型是弹簧形,在制壳涂料中不希望晶粒选择器模型有弹性,否则弹簧颤动,壳型产生裂纹,影响单晶生长。所以,要求晶粒选择器模型刚性好,保证涂料过程中不造成壳型裂纹。

### (3) 易脱模

晶粒选择器模型应能随单晶叶片一起脱模熔出,而壳型不会产生裂纹。

### (4) 制作工艺简单、成本低

制作一个单晶叶片就需要有一个晶粒选择器模型,在批量生产单晶叶片时,所需的晶粒选择器数量较多,要求制作工艺简单、成本低。

## 3. 试验结果

由于对晶粒选择器模型要求较高,使用一般蜡模制模材料是不行的。经过多次试验,我们研制成新的模型材料并用于晶粒选择器模

(下转第26页)

较。118A壳型膨胀曲线在1400℃有一拐点,表示有新的高温相产生。岩相分析和X光结构分析表明新相是莫来石,其数量与壳型性能有对应关系。壳型中二氧化硅在高温下与刚玉表面的氧化铝形成莫来石新相,包在颗粒周围并使其连接起来,这就是氧化铝壳型高温性能提高的原因。

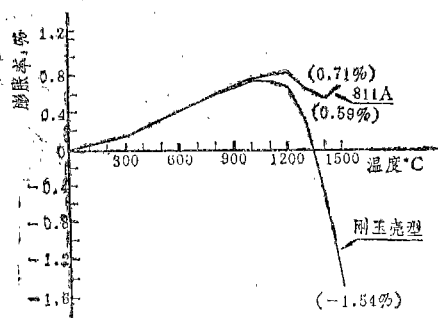


图 2

## 5. 氧化铝壳型的应用

已在 ISF2/Ⅱ-DS 定向炉中,用氧化铝壳型浇注了几百炉定向凝固叶片、试板和单晶叶片。由于高温强度好,壳型层次和厚度减少1/3,有利于控制铸件横向散热条件。壳型温度可以在1500~1600℃范围内根据定向凝固要求自由选择。

浇注了 DK5 和 DK22 定向凝固叶片。壳型

◁▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷

(上接第24页)

型,工艺简单,压制成型(图2)。

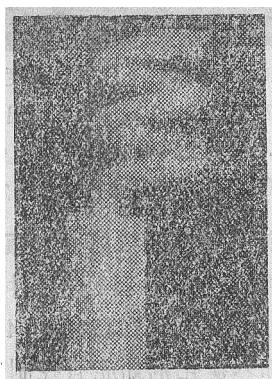


图 2 晶粒选择器模型

该种模型材料抗弯强度为13.8MPa,流动性为31mm;熔点约70℃。由于采用了一种新材

强度高表现为铸件鼓胀量小,尺寸比较精确。叶片型面按0.13mm公差带计算,综合测量合格率为78%,表面光度▽6,符合无余量叶片的要求。图3是WS6GⅡ级定向凝固涡轮叶片。

用氧化铝壳型浇注了重2.8kg、尺寸为240×80×19mm的大试板,是目前国内最大的定向凝固铸件。

氧化铝壳型使用温度高,国内首次浇成了DD3单晶叶片,尺寸精度和表面光度也能达到无余量叶片的要求。图4是单晶涡轮叶片。

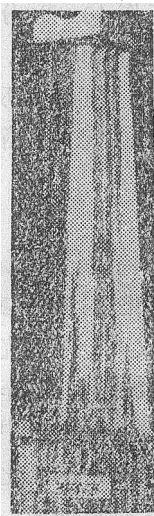


图 3 WS6GⅡ级定向凝固涡轮叶片

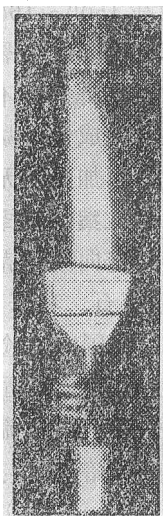


图 4 单晶涡轮叶片

◁▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷

料加入模型材料中,所制作的晶粒选择器模型强度和刚性显著提高。加入量越多,强度和刚性越好,流动性则有所下降。所以新材料的加入量应严格控制适当范围内。在模型材料的配制工艺中,应注意熔化顺序和熔化温度。

经过三批、四十多组、一百多片单晶叶片蜡模组合、制壳、脱蜡及浇注的考验,基本上没有因为晶粒选择器模型强度、刚性不够造成单晶叶片型壳裂纹而影响单晶叶片质量。

## 4. 结论

用特定工艺研制成功的不加支撑的晶粒选择器模型,工艺简单,切实可行,为单晶涡轮叶片的生产解决了一个关键性问题。

(参考资料略)