

# 定向凝固熔模高温壳型的研究

夏明仁 胡德元 段振瑞 张鑫华

## 1. 对高温壳型的要求

航空发动机的发展曾大大推动熔模铸造工艺的进步,而定向凝固的研究又对熔模铸造提出了新的要求,首先对壳型提出了更高的要求。如果说普通熔模铸造时壳型实际上只在1300℃受热几分钟,那么定向凝固就要求一种高温壳型,能在1500~1600℃工作40~90分钟。此时要求壳型不发生裂纹、鼓胀和漏钢,不产生显著的真空挥发,不发生严重的型腔反应,以便能顺利完成定向凝固过程,浇注出精度光度高、叶身不加工的无余量叶片。

## 2. 主方案的选择

国外定向凝固壳型材料有:MOLOCHITE、锆英石、莫来石和氧化铝,其中氧化铝用得最多,但国内试验却不成功。刚玉壳型( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ )在定向凝固时开裂漏钢,甚至在自重负荷下折断。国内流行的解释是刚玉中含有少量氧化钠,焙烧时与粘结剂中的氧化硅形成 $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O}$ 系钠长石玻璃相,从而降低刚玉壳型的高温性能。

我们进行了两项验证试验:提高预烧温度和加入矿化剂,发现两者都能显著提高刚玉壳型的高温性能。这种试验结果很难用上述流行观点解释,因此我们提出了新的看法:

(1) 氧化铝熔点2050℃,再结晶烧结温度约1750℃,普通刚玉壳型经900~1050℃短时间焙烧,处于欠烧结状态,不宜用相图解释中温区强度;

(2) 壳型强度的建立与粘结剂的“粘结”和“烧结”两个作用有关,而不是单纯的烧结作用;

(3) 刚玉壳型中温强度下降是由刚玉和硅质粘结剂在一定条件下的“粘结失效”和铸造工艺条件下的“欠烧结”两个综合因素造成的。

由此找到一条加矿化剂提高壳型高温性能的新途径。

## 3. 氧化铝壳型的研究

经过34次矿化剂试验,找到一种在氧化铝涂料中加铝、硅、钙矿化剂的高温壳型,成功地用于定向凝固和单晶工艺,代号811A。定向凝固氧化铝壳型高温性能大大优于普通刚玉壳型,而成本却与普通刚玉壳型相当。811A与普通刚玉、铝矾土合成料和熟料四种壳型高温强度的比较见表1,其中811A高温强度最高。图1是自重变形度的比较。

表 1

品名	壳型高温抗弯强度, MPa				
	950℃	1050℃	1300℃	1400℃	1500℃
811A	1432	952	111	—	330
刚玉壳型	872	701	99	19~78	10~19
铝矾土合成料	802	1179	423	10~118	29~60
铝矾土熟料	1616	1433	247	392	157

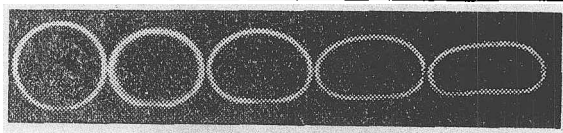


图 1 不同壳型1600℃自重变形度试验试样  
自左至右分别是:811A、铝矾土合成料、铝矾土熟料(410厂)、铝矾土熟料(七砂)、铝矾土熟料(万宝)。

## 4. 氧化铝壳型高温性能提高原因的探讨

刚玉壳型在一般铸造工艺条件下焙烧处于欠烧结状态,明显表现在1100~1400℃中温区强度下降。加入矿化剂如能有控制地产生少量高粘度玻璃相,成分恰当,会有助于壳型烧结,产生新的高温相,提高壳型中温和高温强度。

图2是811A和普通刚玉壳型线膨胀的比

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。

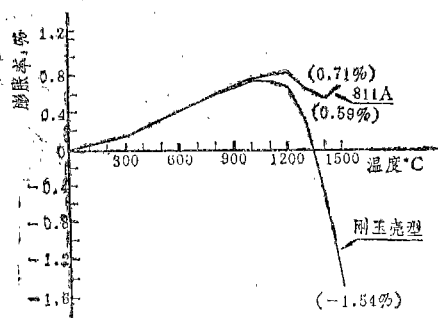


图 2

## 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)。

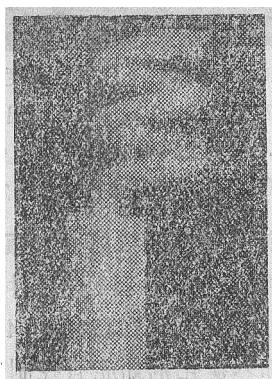


图 2 晶粒选择器模型

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。

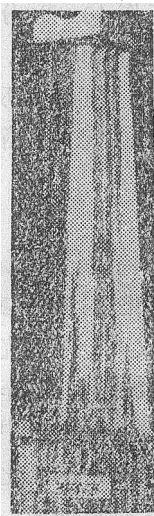


图 3 WS6GⅡ级定向凝固涡轮叶片

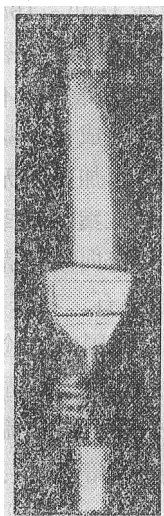


图 4 单晶涡轮叶片

◁▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷    ▷▷

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)