

定向凝固空心叶片制壳工艺的改进

Improvement on the Process for Preparing Shell Mould of Directional Hollow Blades

肖克 (北京航空材料研究院)
Xiao Ke (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 分析了在先进发动机定向凝固空心叶片熔模精密铸造生产中出现两种缺陷的性质和产生原因, 从壳型制造工艺方面提出了改进措施, 提高了叶片合格率。

关键词 熔模铸造 定向凝固空心叶片 壳型 缺陷

[Abstract] The nature and producing reason of two kind of imperfection, which appeared in the production of investment casting for directional hollow blades used in a aeroengine, have been investigated in this paper. From the process for preparing ceramic shell mould, the improved method has been put forward and the qualified rate of blades has been raised.

Keywords investment cast directional solidification hollow blade shell mould imperfection

1 前言

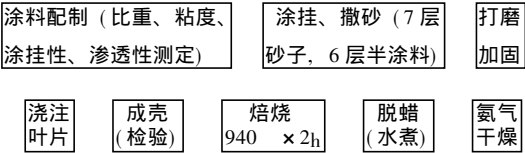
随着定向空心叶片精铸技术的发展, 对铸型制造工艺提出了更高的要求。811A 定向凝固氧化铝壳型, 是生产定向凝固空心无余量叶片的高温壳型, 1985 年以来被应用于某航空发动机高压 级涡轮叶片的试制和小批量生产上。该种壳型壁薄、经济、耐高温, 使用温度可达 1600 , 但是该种壳型在叶片试制中也暴露出一些问题, 如壳型漏钢、叶片表面掉皮夹砂等缺陷, 严重影响了叶片的合格率, 造成很大的经济损失。

近几年在壳型工艺和浇注工艺上做了一些改进, 但对缺陷的制止没有取得根本性的突破。本文对该叶片生产中出现的问题进行了分析, 提出了改进措施。

2 实验方法及所用原材料

2.1 壳型的制备工艺

壳型制备工艺如下所示:



2.2 原材料

涂料所用粉料是山东淄博产的粒度为 W 20 的白刚

玉粉。挂砂材料为 24 ~ 80# (或 100#) 的白刚玉砂。

3 试验结果及分析

3.1 壳型漏钢

壳型漏钢 (简称漏钢) 是壳型在浇注过程中金属液沿壳型产生的裂纹渗出, 轻者可保全叶片, 重者则使叶片浇不足, 成为废品。表 1 为几批叶片因壳型漏钢而报废的统计。

表 1 壳型漏钢统计
Table 1 Statistics on shell leakage steel

批号	投入叶片数量	漏钢叶片数量	漏钢率, %
011	64	8	12.5
041	52	8	15.4
081	52	10	19.2

壳型漏钢的位置经常出现在两个地方, 一个是叶尖部起始端的棱角处, 如图 1a 所示; 另一个是在内浇道处, 如图 1b 所示。壳型漏钢与壳型开裂是分不开的。壳型开裂及壳型裂纹既可能产生在壳型急剧加热和浇注过程中, 又可能产生在壳型制备过程中。

壳型的使用场合决定了它在预热及浇注过程中 (浇注温度为 1520) 受到严重的热冲击和金属的静压力作用。因为壳型在不到半小时内要从室温加热到 1500 以上, 并且壳型中的高温金属液要经过 30 分钟



图 3 壳型表面掉皮缺陷

3 The imperfection on interface of the shell

一层。从电阻测量法的统计数据看，每一层电阻值达 15MΩ 以上则认为壳型已干燥充分，此时壳型对应的含水量应在 10% 以下。

表 2 延长后各层涂料干燥时间

Table 2 The prolonged drying time for every layer coating

层次	挂砂粒度(#)	干燥时间(h)	干燥方式
1	100 或 80	5 ~ 6	自干
2	100 或 80	18	自干加风干
3	46	2	热风干燥
4 ~ 7	24 或 30	2 ~ 3	热风干燥

(2) 涂料因素

面层涂料粘度过大或过小都会影响叶片的表面质量。当涂料粘度在 20 ~ 26s (φ6 流杯) 的范围内时，蜡模涂挂时可形成均匀的涂层，厚度约为 0.5mm，这样的壳层在规定的干燥时间内可以充分干燥，不起皮剥落。

为了增加涂料层与蜡模的润湿性及面层与加固层的结合强度，减少涂料中的气泡数量，在配制涂料时必须使渗透剂和消泡剂在涂料中充分散开，为此将涂料配制工艺进行了调整，在一开始搅拌时就加入渗透剂、消泡剂，并将加入量由 0.3 % 提高到 0.5 %，把搅拌时间由原来的 3h 延长到 6h。实践证明，这样改进后，提高了涂料的渗透性、润湿性和涂挂性，对涂层干燥时起皮掉砂缺陷有很好的抑制作用。

通过对壳型制备工艺的改进，叶片表面质量已有显著的提高，叶片表面掉皮夹砂缺陷大大减少，根据几批

叶片表面掉皮夹砂缺陷统计，工艺改进前掉皮率在 4% 以上，改进后掉皮率基本控制在 2% 左右。

4 结论

(1) 通过模组结构的改进及对制壳工艺参数的控制，基本消除了壳型漏钢缺陷。

(2) 叶片表面掉皮夹砂主要与壳型的干燥程度和涂料的粘度、渗透性及涂料中的气泡数量有关，通过提高壳型干燥程度及改进涂料配制工艺，可基本消除叶片表面掉皮夹砂缺陷。

稿件收到日期: 1997 年 8 月 20

肖克, 男, 1962 年 9 月出生, 工程师, 现在北京航空材料研究院从事熔模铸造工艺研究工作, 曾获航空工业部科技进步一等奖。联系地址: 北京 81 号信箱 (邮编 100095)

* * * * *

(上接第 35 页)

制块初始温度范围。当预制块初始温度增大时，金属液的渗流长度增加；浇注温度越高，金属液渗流距离越长；充型压力越大，金属液在预制块中的渗流越容易。

参考文献

1 G. J. Davis, Z. Shu. J. Mater Sci. 1983, 18: 1899 ~ 1911
2 Mike Maguire. JOM. 1994, 1: 8
3 杨遇春. 有色与稀有金属国外动态. 1994, (1): 8
4 廖永平. 正交实验法在机械工业中的应用. 中国农业机械出版社, 1984
5 长田纯夫. 金属. 1985, (3): 32 ~ 35
6 长田纯夫. 坂本满, 上野英俊. 金属. 1988, (3): 32 ~ 35
7 A. E. Scheidegger. The Physics of Flow through Porous Media. 3rd ed. University of Toronto Press, Toronto, 1974

收稿日期: 1997. 5. 15

许庆彦, 男, 1971 年 4 月出生. 92 年毕业于哈尔滨工业大学铸造专业, 1995 年在校获硕士学位。同年始, 在李庆春教授指导下攻读博士学位。主要从事铝硅合金液态质量计算机热分析、多孔铝合金的研制等, 深获航天部和美国有关公司好评。联系地址: 哈工大 434 信箱 (150001)。

才完全凝固。壳型对热应力引起开裂的抵抗能力可用下式表示:

$$R = \frac{\sigma(1-\mu)}{E \cdot \alpha} \cdot \frac{\lambda}{PC} \cdot S$$

式中: σ —壳型强度; μ —泊松比; E —弹性模量; α —热

膨胀系数; λ 、 P 、 C —壳型导热系数、比重及比热; S —壳型结构形状因子

从壳型漏钢位置来看, 模壳具有棱角及过渡不平滑的部位, 在加热和浇注过程中, 壳型易在该处产生较大

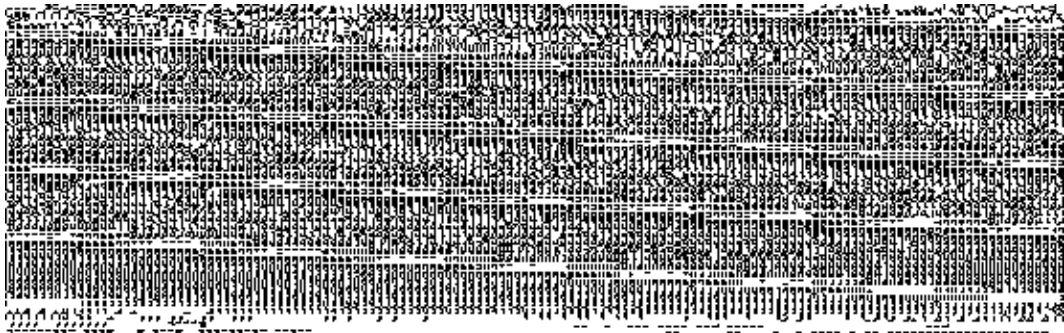


图 1 壳型漏钢位置

(a) 叶尖部起始端棱角处; (b) 内浇道处

Fig.1 The position of shell leakage steel

的应力集中 (在 R 式中表现为 S 降低)。此外, 当蜡模涂挂时, 这两个部位砂子和涂料不易均匀附着, 壳型制备好后, 这些部位壳型厚度较小。壳型强度 (σ) 与壳型厚度 (δ) 有如下关系:

$$\sigma = M \times \delta^2$$

因此, 在这两处壳型强度最低。由于应力集中和强度低的原因, 壳型在浇注及激热过程中, 这两个部位抵抗不住热应力的作用, 从而导致壳型开裂漏钢。

基于上述原因, 可将两处的模组结构进行改进: 在制作蜡模时将棱角部位改为圆滑过渡, 将内浇道与直浇道连接处改为光滑的圆弧过渡, 结构如图 2 所示。改进后既消除了热应力集中, 又可使涂料和砂子均匀附着, 增加了壳型的厚度, 提高了壳型的强度, 从而大大降低了壳型的漏钢率。从改进后的几批叶片漏钢情况统计, 漏钢率可控制在 1% 以内。

3.2 叶片表面掉皮夹砂缺陷产生原因及改进措施

叶片表面掉皮夹砂缺陷被认为是壳型内表面涂层局部剥离或脱落或鼓胀造成的。当金属液浇注后, 脱落的砂粒或涂层片就被裹在铸件表面, 从而形成掉皮夹砂缺陷 (大面积的为掉皮, 小孔洞为夹砂)。为了证明掉皮夹砂的成因, 曾剖开了几组焙烧后的壳型, 发现其中几片内表面确有孔洞和脱皮现象, 如图 3 所示。

叶片表面掉皮夹砂主要与壳型的干燥程度、涂料的粘度、渗透性以及涂料内部气泡数量有关:

(1) 壳型的干燥

如果壳型干不透, 其面层与加固层之间的结合强



图 2 改进后的蜡模结构

Fig.2 The improved wax pattern structure

度就很低, 壳型在脱蜡及其它操作过程中很容易出现起皮、掉砂现象。为了使壳型充分干燥, 应采取以下措施:

1) 通过调温调湿设备及其它手段使模壳干燥温度、湿度保持在一个合适的范围内, 尤其应避免在高温、高湿条件下 (如高温多雨天气) 操作。在热风强制对流情况下, 应调节好风速大小和风向, 周期性地转动和调换模组位置, 以使每个壳型的各个部分都能充分均匀地干燥;

2) 针对硅溶胶粘结剂干燥时间长的特点, 适当延长每层涂料的干燥时间, 特别是面层, 使其充分干燥。表 2 为延长后各层涂料干燥时间;

3) 在壳型干燥过程中监测每一层的干燥情况, 如利用称重法、电阻测量法等, 直到壳型充分干燥后再涂下