

# 硅酸铝耐火纤维保温帽对铸造高温合金铸锭质量的改进

试验生产工段冶炼组\*

## 一、前言

高温合金是一种能在高温下保持优良的物理和机械性能的材料，尤其是铸造高温合金直接用来生产航空发动机的高温热部件——导向叶片和涡轮叶片。它的质量好坏关系到发动机的寿命和安全，因此控制这些热部件的质量已引起国内外生产单位和冶金工作者的普遍重视。对生产这些热部件的母合金料锭质量的检验也越来越严格。母合金的生产，过去常不被人们重视的工艺环节，也显得格外重要。例如：英国罗·罗航空公司对用来制造斯贝发动机 I 级涡轮叶片的 Mar-M002 合金料锭技术条件中明确规定：①一次缩孔（具有严重氧化色的明缩孔）：切端表面不得有一次缩孔；②二次缩孔：所有端面不得有直径超过 9 毫米的缩孔；③料锭应进行浮渣检查，即在真空感应重熔时对金属液面进行观察，熔渣所复盖的面积不得超过总液面面积的 2%。这些规定表明，必须减少外来非金属夹杂和铸锭内部的氧化，以避免夹渣在熔铸过程中带入铸件。试验表明，使用带有明缩孔的铸锭浇注零件，当料锭熔清后，整个液面布满大量熔渣，即使经 1600℃ 的高温真空精炼，浮渣也很难满足少于 2% 的标准，铸件表面往往出现许多夹渣，铸件的成品率大为降低。为了提高合金锭的质量，在改装 ZG—200 真空感应炉的同时，将葫芦形锭块改为直径 80

毫米长 1350 毫米的长锭，藉以减少铸锭的一次缩孔。但是长锭给熔铸工艺带来新的问题，料锭越长，一次缩孔也越深，有时竟大于 300 毫米。这不仅严重影响铸锭质量，而且使铸锭的成品率大大降低，从而增加母合金的生产成本。因此提高母合金铸锭的质量，减少原材料的消耗，降低成本成为母合金料锭生产的关键问题。

## 二、工艺方案的选择

根据金属凝固理论，要减少铸锭的一次或二次缩孔，需要为铸锭（浇注凝固过程）创造一个顺序凝固的条件，使铸锭在凝固过程中有足够的液态金属不断地填充凝固收缩孔穴。一般来说，采用钢锭帽口加热的方法来减少铸锭的缩孔也是一种措施。国外曾作过感应加热、电阻加热、等离子加热等试验，但是这些方法不仅设备复杂、投资高、成本贵，而且没有得到满意的结果。我们经过试验，认为在适当的浇注条件下，即按金属液凝固速度，采用合适的浇注速度和保温帽口，可使料锭缩孔得到液态金属的及时补缩。浇注速度已被中间漏斗孔所决定，采用一种高效能的隔热保温帽就能减少铸锭头部的缩孔。

据北京耐火材料厂的“硅酸铝耐火纤维制品产品说明书”介绍，他们研制的硅酸铝耐火纤维是一种较为理想的新型绝热材料。这种材料是以  $Al_2O_3$  和  $SiO_2$  为主要成分的硅酸铝陶

\* 西工大周尧和教授关于“保温冒口理论”对本试验工作有很大帮助，特此表示感谢。

瓷纤维，其化学组成和物理性能见表1。

表 1

化学组成	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
重量百分数	$\geq 50$	$\geq 96$	$\leq 1.2$
物理性能	耐火度, $^{\circ}\text{C}$		$\geq 1760$
	导热系数(容重为200公斤/米 <sup>3</sup> 、温度为900 $^{\circ}\text{C}$ 时), 千卡/米 $\cdot$ 小时 $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$		$\leq 0.11$
	高温线收缩率(1150 $^{\circ}\text{C}$ 保温6小时), %		$\leq 4$
	高温回弹率(1000 $^{\circ}\text{C}$ 保温2小时), %		$\geq 6.5$
	渣球含量( $>0.25$ 毫米), %		$\leq 5$
	纤维直径( $\leq 5\mu$ 者), %		$> 80$
能	最高工作温度, $^{\circ}\text{C}$		1260
	长期工作温度, $^{\circ}\text{C}$		1050

这种硅酸铝陶瓷纤维的特性与玻璃纤维、石棉、矿棉等相比如下：

1. 使用温度高且稳定。
2. 在同样条件下使用, 比其它保温材料导热率低30%以上, 热容量小3~5倍。
3. 重量轻, 仅为一般耐火砖的1/5~1/20。
4. 对熔融金属不润湿, 这样金属液不易渗透。
5. 化学稳定性好, 不与金属液发生物化反应。

因此, 选用这种硅酸铝纤维作为铸锭保温帽的材料藉以代替普通粘土质保温帽口砖是适宜的。

### 三、耐火纤维保温帽的制作工艺

1. 原材料: 硅酸铝耐火纤维棉; 硅酸乙酯(30%)水解液; 酒精。
2. 保温帽模具: 按图1制作模具。
3. 制作工艺: 将耐火纤维棉分8~10次填入模具中, 每填一层加入预先配制好的硅酸乙酯水解液和酒精(比例为1:2)的粘结剂, 并

尽量捣实填满, 然后去除胎模, 将成型的保温帽坯自然干燥24小时, 放入箱式电炉中经900 $^{\circ}\text{C}$ 焙烧0.5~1小时, 冷却后即可作保温帽用。

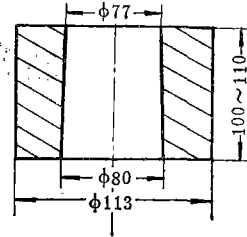


图 1 保温帽图

### 四、熔炼试验及其结果

为了证实硅酸铝耐火纤维的保温隔热作用, 用K6C合金和FGH—95合金在ZG—200真空感应炉中冶炼110公斤, 浇注锭型尺寸 $\phi 80 \times 1350$ 毫米, 浇注温度控制在 $1420 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , 浇注速度控制在40秒~1分钟之内。先慢后快, 尽力使内部缩孔移向保温帽内。按此工艺进行了粘土砖、耐火纤维棉、耐火纤维毡三种保温帽对一次缩孔和二次缩孔影响的试验, 结果如图2所示。

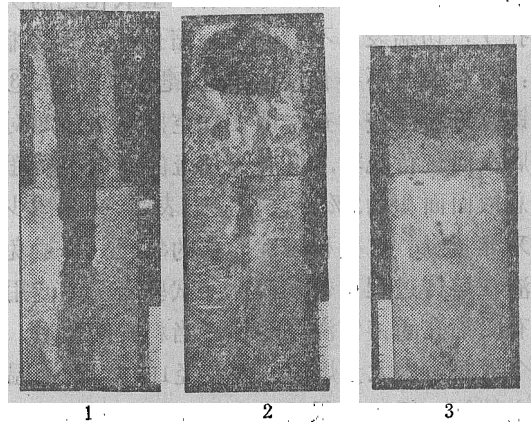


图 2. 三种保温帽对铸锭的影响

- 1 粘土耐火砖; 2 耐火纤维毡; 3 耐火纤维棉。

从图2可以清楚地看出: 1) 用粘土砖的保温效果最差, 基本上没有补缩作用, 这一方面

是这种砖所设计的容积太小，另外粘土砖之绝热效果远不及耐火纤维制品。2) 耐火纤维棉和毡都能发挥保温作用，可消除锭身的一次缩孔。用这两种材料制作保温帽时，金属液可以在帽口内维持熔融状态达4~5分钟之久，从中可以看出耐火纤维的隔热效果。

由于耐火纤维具有优良的保温作用，可消除锭身的一次缩孔，使合金料锭的收得率大大提高。表2示出三种保温帽对K6C合金料锭收得率的比较。可见用耐火纤维棉（毡）作保温帽比用耐火砖作保温帽的料锭成品率提高10%左右，相当于每炼一吨K6C合金可节省100公斤合金料。

表 2 \*

批次	炉次	保温帽材料	批料锭重公斤	成品锭重公斤	成品率 %	损耗率 %
一	17	耐火砖	1827.15	1598.9	84.6	15.4
二	25	耐火砖	2584.2	1994.62	77.3	22.7
三	11	耐火纤维	1153.39	1033.45	89.6	10.4

\* 料锭长1350毫米，直径78毫米。

图3示出耐火纤维保温帽对二次缩孔的影响，可以看出在适当的浇注温度和浇注速度下，

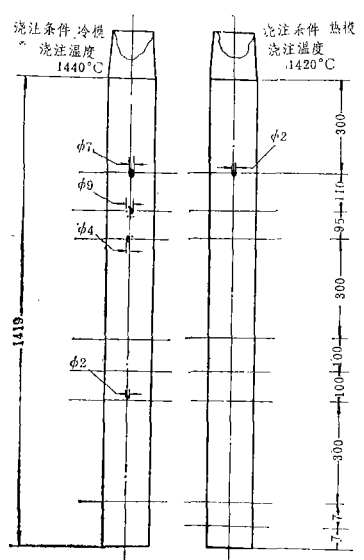


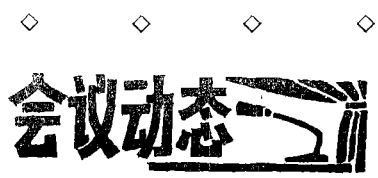
图 3 硅酸铝耐火纤维保温帽对铸造高温合金FGH-95料锭二次缩孔的影响

锭身可以消除二次缩孔或基本上消除二次缩孔。锭模预热，控制1420℃左右的浇注温度的效果较好。

## 五、结 论

1. 耐火纤维由于导热性差，隔热效果好，使铸锭在凝固过程中有足够的热金属液给予补缩，从而消除锭身的一次缩孔，大大减少锭身的二次缩孔，可提高母合金锭的合格率。

2. 由于母合金锭内部缩孔减少，可大大提高铸锭质量，再加之采用三室真空感应炉熔铸精密铸件，无疑会提高铸件的成品率，进一步降低铸件成本。



## 第二届高温断裂会议

由上海发电设备成套所主持，于1982.4.20~24在南京召开了第二届高温断裂会议。一机部、三机部、化工部、水电部、冶金部、六机部、高教部等七个部36个单位的58名代表出席了会议。

会上首先由华东化工学院凌容教授作了“ $\sigma/\pi a_c = C$ 的推演与高温COD”的专题报告，代表们宣读了近二十篇论文，内容有“蠕变断裂韧性和断裂寿命的研究”、“对蠕变裂纹扩展特性及其控制参数的研究”、“在水蒸汽及其他腐蚀介质下断裂行为的研究”、“断裂韧性与显微组织的关系”以及“对工程高温断裂零件的故障分析”等。总之，对高温断裂的各领域进行了广泛的交流。

与会代表还对今后高温断裂学科的发展作了充分讨论。一致认为，高温断裂是断裂力学的一个分支，是最近十年来国际上蓬勃发展起来的新学科。我们的工作必须紧紧结合工程中的应用，解决工程中的实际问题，同时要组织起来，加强合作，在高温断裂参量的选择和试验方法的制订上有所突破。

代表们还一致通过了会议纪要，决定每两年召开一次学术会议，以加速我国高温断裂学科的发展。

(张行安)