

VBHK-8II 半连续式真空定向结晶装置

P. E. 沙林* E. H. 卡布洛夫 B. B. 格拉西莫夫
(前苏联航空材料研究院)

本文介绍前苏联燃气涡轮发动机叶片高速定向结晶工艺和为此工艺专门创制的 VBHK-8II 装置。该装置为一复杂机能的综合体, 设有真空、水冷及在一系列点上自动控制真空度和温度的系统, 可用于制造具有柱状单晶组织的叶片, 其结晶速度为 $10\sim 20\text{mm/min}$, 而一般定向结晶工艺的结晶速度为 $2\sim 4\text{mm/min}$ 。

Semicontinuous Vacuum Device Type of VBHK-8II For Directional Solidification

R. E. Salin E. N. Kablov V. V. Gerassimov
(Former All-Union Institute of Aviation Materials)

In this paper the directional solidification process of blades in gas turbine engine of former Soviet Union and the special device VBHK-8II used for the process are described. The device is a complex synthetic body of energies, in which vacuum system, water-cooling system and autocontrol system of vacuum and temperature at a series of points are installed. The device can be used for manufacturing blades with column or single crystal structures at the velocity of solidification $10\sim 20\text{ mm/min}$ by comparison with the general directional solidification velocity of $2\sim 4\text{ mm/min}$.

前苏联航空材料研究院 (BIIAM) 研究制定的燃气涡轮发动机叶片的高速定向结晶 (BHK) 方法, 用于制造具有柱状单晶组织的叶片, 其结晶速度为 $10\sim 20\text{mm/min}$, 而一般定向结晶工艺的速度为 $2\sim 4\text{mm/min}$ 。

在 BHK 工艺中, 高温合金定向结晶速度的提高是借助于液体金属结晶器, 其冷却效率显著高于带铸件的铸型在真空传热条件下的冷却。

为了使涡轮叶片的 BHK 工艺在工业上应用, BIIAM 设计了 VBHK-8II 装置, 其外观如图 1 所示。

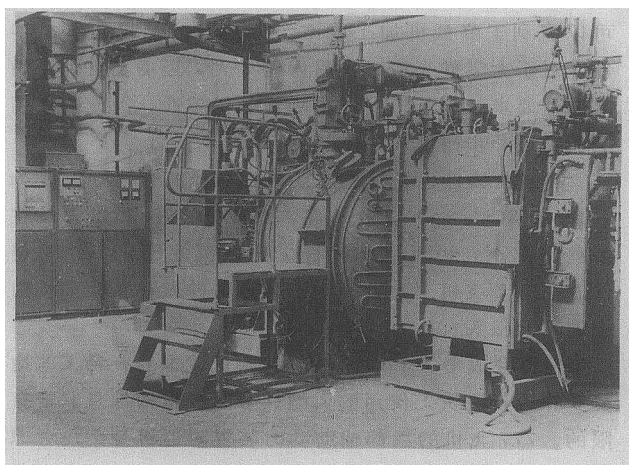


图 1 VBHK-8II 定向结晶装置

该装置为一直径 1500mm 的圆筒形真空室, 内部装有下列部件:

用于熔化重量至 10Kg 原始炉料的感应炉和往铸型内浇注液体金属时的炉子翻转机构;

带石墨加热器的双区电阻炉, 用于浇注金属前铸型的加热和焙烧;

设置在铸型焙烧炉下面的结晶器槽, 内装重量至 80Kg 的熔融铝;

将浇注完金属的铸型移入结晶槽用的机构, 可保证铸型按给定结晶速度垂直移动及结晶后以行进速度提升回到原位。

真空工作室有两个侧开盖。左盖外面装有接通感应炉和电阻炉的真空馈电线, 而两个炉子本身则借助支架固定在盖的里面。左盖上设有装、卸铸型用的窗口。为保证真空室在装卸铸型时不致破坏密封, 右盖密封连接一个用真空阀间隔的矩形小室。

由真空小室到工作室的铸型传送借助齿条机构来实现, 后者是由工作室和小室上的 4 个传动装置 (各有 2 个) 驱动。

用手借助专用挂架将冷铸型固定在沿导轨移动的滑车上。借助自动装置或用手在工作室进行装、卸。

该装置是一个机能复杂的综合体, 设有真空系统、水冷系统和能在多点上自动控制真空度及温度的系统。

该装置的技术特性:

* P. E. 沙林是前苏联航空材料研究院院长、科学院院士。

供电电路电压: 380V
 额定功率: 470kW
 所需功率: 320kW
 工作介质: Pa (mm 水银柱)
 真空: 665×10^{-3} (5×10^{-3})
 惰气: 4×10^4 (300)
 坩埚容量: 10Kg
 坩埚内金属的温度: 1700℃
 模组尺寸: 130mm×260mm×350mm
 液体金属结晶器内的材料: Al
 结晶器的温度: 700~800℃
 结晶速度, mm/min
 1 级 10~15
 2 级 1.4~170
 生产率: 10~12 炉次/昼夜
 外廓尺寸: 6500mm×5600mm×3500mm
 重量: 14000kg
 装置的工作方式如下 (参见图 2):

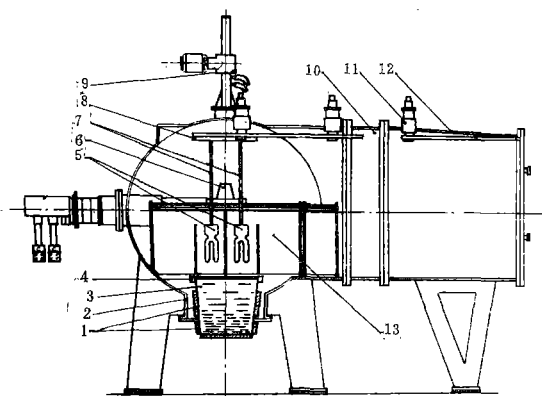


图 2 VBHK-8II 装置的工作情况

1-熔融铝预热器; 2-真空室; 3-液体金属冷却剂 (Al);
 4-环形水冷器; 5-陶瓷铸型; 6-感应熔化炉; 7-钼制铸型挂架; 8-滑车; 9-垂直移动传动装置; 10-真空阀; 11-水平移动传动装置; 12-装、卸铸型室; 13-铸型加热炉

借助钼制挂架将 2 个陶瓷模组 (每组 6 个叶片) 固定到位于装置之外支架上的活动滑车上。借助石墨片将浇注漏斗固定在同一挂架上。打开间隔小室外门, 使滑车与小室内的水平移动机构的齿轮啮合。将带铸型的滑架移入小室后, 外门关闭。小室内形成 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$ mm 水银柱的真空。此后, 间隔小室的内门和铸型预热炉门打开, 带陶瓷模组的滑架移入工作室, 工作室始终保持 1×10^{-3} mm 水银柱的真空度。铸型预热炉门和间隔小室内门关闭后, 铸型预热炉内的温度开始升高。在 40~60min 内陶瓷壳型的温度可达 $1480 \pm 20^\circ\text{C}$ 。

达到上述温度时已定量装好高温合金炉料的感应熔化炉接通。在 5~10min 内进行熔化、测温、往预热的壳型内浇注金属。浇铸金属的温度为 $1560 \pm 20^\circ\text{C}$ 。

金属浇入铸型和在同于加热壳型的温度下短暂保温后, 将垂直移动的传动装置接通, 借助它使铸型浸入温度为 $710 \pm 50^\circ\text{C}$ 熔融铝中, 浸入的速度取决于合金的化学成分, 其调节范围为 $1 \sim 20 \text{ mm/min}$ 。当铸型浸入熔融铝中的深度达叶片的整个高度时, 将铸型预热炉断电。

当铸型预热炉中的温度降到 $900 \sim 1000^\circ\text{C}$ 时, 用该垂直移动传动装置将带铸件的壳型从冷却槽提起。然后, 使带铸件的壳型通过预先打开的铸型预热炉门和间隔小室的门移入小室内。关闭小室内门, 使空气流入小室。打开工作室的外门, 取出铸件。然后更换陶瓷壳型和重复此工艺过程。装置备有速度调节范围较宽的垂直移动传动装置, 温度梯度 $\approx 60 \sim 80^\circ\text{C/cm}$ 的双区电阻加热器, 可保证沿铸件高度获得最佳组织。

目前, 在苏联航空工业中已有许多批生产厂和试制厂装备了此种装置。 (袁文钊译)

* * * * *

(上接 17 页)

位能有效地帮助沉淀相生成。常规的时效制度都是利用这些空位来形成 GP 区。如果能够在固溶处理后首先在高于 140°C 温度进行短期时效, 让保留的空位在帮助 GP 区形成的同时帮助 η' 相成核, 生长, 然后再在还有一定过饱和度的基体中沉淀出部分 GP 区, 这样的显微组织应具有较好的综合性能。显然这种双级时效制度与常规双级时效制度的不同点是, 它能获得更多的 η' 相, 而不是 GP 区。低温长时间时效并不适用于工业生产, 但这种较高综合性的组织却为热处理工艺的改进提供了方向。

五、结 论

1. $110 \sim 140^\circ\text{C}$ 长时效的 7475 铝合金具有“双峰”强化效果。第一峰靠高密度的 GP 区强化; 第二峰的强化相由 GP 区与 η' 相共同构成。

2. 基体沉淀相由约 25% 的 η' 相与 GP 区组成时, 合金具有良好的力学性能, 除强度外, 其它性能可望达到或接近常规双级时效的合金。

参考文献

1. Adler P., et al, 《Met. Trans.》, 2A (1972) 12, P3191~3198
2. Lyman C. E., et al, 《Met. Trans.》, 7A (1976) 7, P1211~1216
3. Rioja R. J., 《J. of Mate.》, 32 (1980) 8, P34~43
4. Loffler H., et al, 《Cryst. Res. Tech.》, 22 (1987) 5, P615~619
5. Pamask AC et al, “Point Defect in Metals”, London. (1963), P198
6. Kelly, A., et al, 《Progress in Materials Sci.》, (1963) 10, P149~154