

**ALD Vacuum Technologies**

High Tech is our Business

# 真空电弧重熔 VAR

真空电弧重熔炉和工艺



# 真空电弧重熔 VAR

ALD是生产工程类金属材料用  
真空熔炼炉技术的  
领先供应商之一



ALD生产的12吨VAR炉

VAR广泛应用于提高清洁度和优化标准空气下熔炼或真空感应熔炼的铸锭的组织结构，这些铸锭称为自耗电极。真空电弧重熔的钢、高温合金、钛和锆及其合金用于许多高要求场合，在这些应用中，清洁度、均匀度、抗疲劳和断裂韧性对于最终产品都是必须考虑的因素。

## 应用领域：

- 航空航天
- 发电
- 化工工业
- 医疗和核工业

## VAR的应用

- 用于航空航天的高温合金
- 高强钢
- 轴承钢
- 工具钢（冷、热加工钢）用于铣刀、钻头
- 模具钢
- 用于航空航天、化工、近海技术和反应堆技术的活性金属的熔炼（钛、锆及其合金）

# VAR的技术优势以及 ALD的产品特点

ALD在此应用领域拥有  
众多的业绩  
提供了最高水平的  
系统自动化



ALD生产的10吨VAR炉

## VAR炉的主要好处

- 去除溶解的气体，如氢、氮和一氧化碳
- 利用高蒸汽压减少不需要的微量元素
- 实现铸锭从底部到顶部的定向凝固
- 去除宏观偏析以及减少微观偏析
- 提高氧化物的洁净度

## 其它的优势

- 通过化学和物理工艺过程  
**去除氧化物**
- 通过热分解或合金中碳的还原作用，并最终通过气相去除氮化物
- **去除稳定的非金属夹杂物**  
一些夹杂物（如氧化铝和碳氮化钛）在重熔过程中通过浮选可以去除。剩下的夹杂物被分解并均匀分布在凝固的钢锭的横截面上。

## 来自ALD的VAR炉的特点

- 钢锭直径达到1500毫米
- 钢锭重量达到50吨
- 在真空下通过直流电弧熔化电极（电极负极、熔池正极）
- 重熔电流最大可达50kA
- 真空范围：1-0.1Pa（有些应用达到1000Pa）
- 电极称重系统
- 稳定或独立式的龙门架设计
- 大电流同轴馈电系统

# 工艺技术和工艺特点

ALD的工艺专长确保了  
工艺过程高度可重复性和  
熔炼材料的高品质



ALD生产的12吨VAR炉

**VAR是通过真空电弧对自耗电极进行持续重熔的过程。**

## 主要的工艺阶段

■ **VAR消耗电极**通过VIM, ESR, EB或PAM的方式用海绵钛、残料、块料进行制备或者前序自耗熔炼的电极

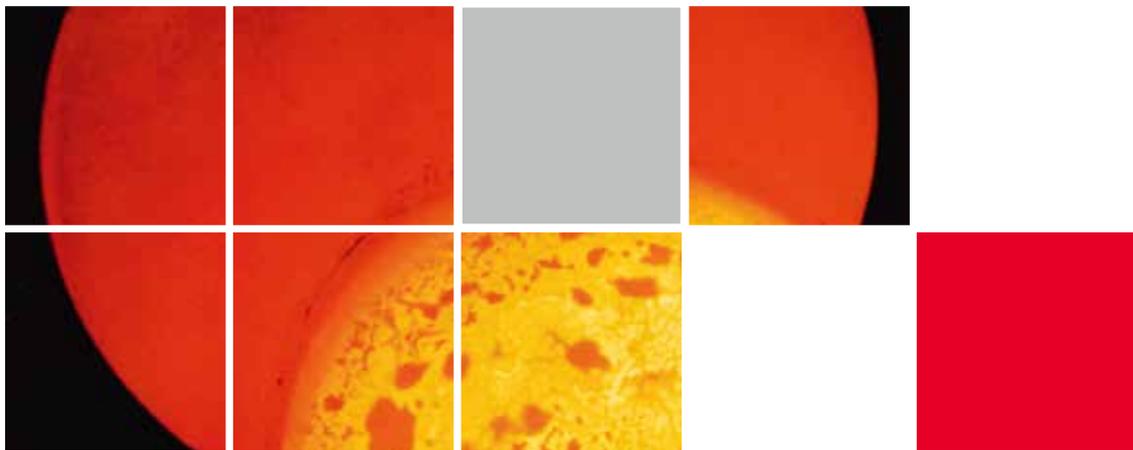
- 应用**直流电源**在电极和放入水套中的铜铸模的底板间产生电弧
- **电弧产生的高热量**将电极的端部熔化，在铸模中形成新铸锭
- **熔速**通过VAR的控制系统进行**精确调整**
- 整个重熔过程始终保持**高真空状态**，以便去除杂质防止氧化物的形成
- 铸锭的冷却是为了达到**定向凝固**而进行控制的

多年来，ALD在对VAR炉的基本设计中电脑控制方面进行了持续的改进，为了达到：

- 完全自动化重熔工艺
- 提高了冶金性能的可重复性

# 真空电弧重熔工艺的定向凝固

液态/固态界面温度梯度  
对局部凝固的  
精确控制



## 为了达到最佳的VAR铸锭凝固组织结构，需要精确的控制局部凝固速度和液态/固态界面温度梯度

为了得到定向枝晶的一次结构，在整个重熔工艺过程中必须使凝固界面保持高温度梯度。

枝晶的生长方向与温度梯度的方向是相符的，也就是，凝固时在凝固界面与热流方向是一致的。

热流方向总是垂直于凝固界面，一旦为曲线界面，则垂直于相关切线。因此，在凝固过程中，枝晶的生长方向受金属熔池轮廓的影响。

## 熔池轮廓

由于熔池深度跟随熔速增加，所以枝晶与铸锭轴线所成的生长角度也在增长。若没有良好的VAR熔炼控制，铸锭心部会无方向的凝固，如，等轴晶，导致出现偏析和微观缩孔。

甚至在定向凝固中，微观偏析随着枝晶臂间距而增长。枝晶凝固结构平行于铸锭轴向才可获得最佳的冶金结果。

## 最佳的熔率

良好的铸锭表面需要一定程度的能量输入。最佳的熔速和能量输入取决于铸锭直径和材料等级，这就意味着无法总是保持大直径铸锭所需的低熔速，获得与轴平行的结晶。

# 了解和预防 凝固缺陷

冶金学者认为，即使是定向凝固，仍有可能在重熔铸锭上出现缺陷，诸如“环状花纹”“黑斑”和“白斑”等。这些缺陷将导致铸锭报废，尤其是特殊合金。

## 环状花纹

- 在宏观腐蚀截面上将其识别为轻微腐蚀环
- 通常代表了负晶体的偏析
- 似乎对材料性能影响不大

## 黑斑

相比环状花纹，黑斑和白斑对材料性能有更大的影响。这两种缺陷为飞机引擎的涡轮盘过早损坏的主要原因。

## 白斑

- 白斑是VAR铸锭出现的典型缺陷。它们在宏观腐蚀上看起来为轻微的腐蚀点。
- 他们的合金元素含量较低，例如Inconel 718合金中的钛和铌

**ALD通过精确稳定的熔速和弧间隙控制，以及专为这一目的而设计的强大的电源系统来解决VAR中的这些问题。**

环状花纹



黑斑



白斑



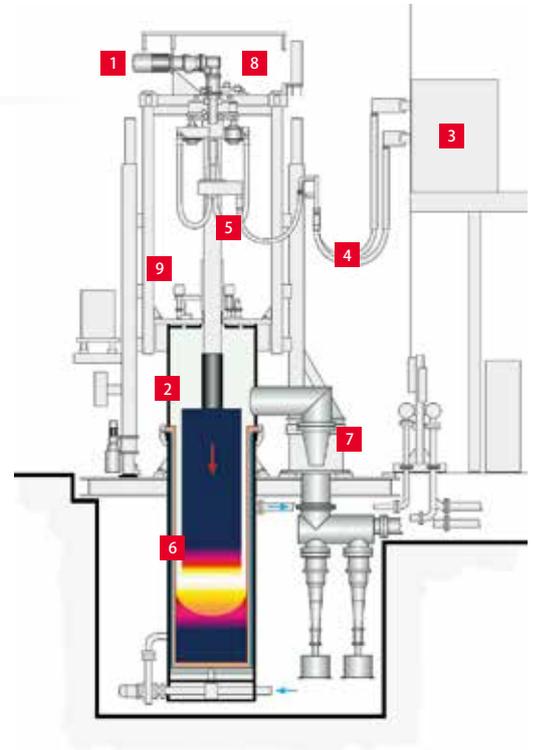
理想状态



# ALD的VAR炉 设计特点

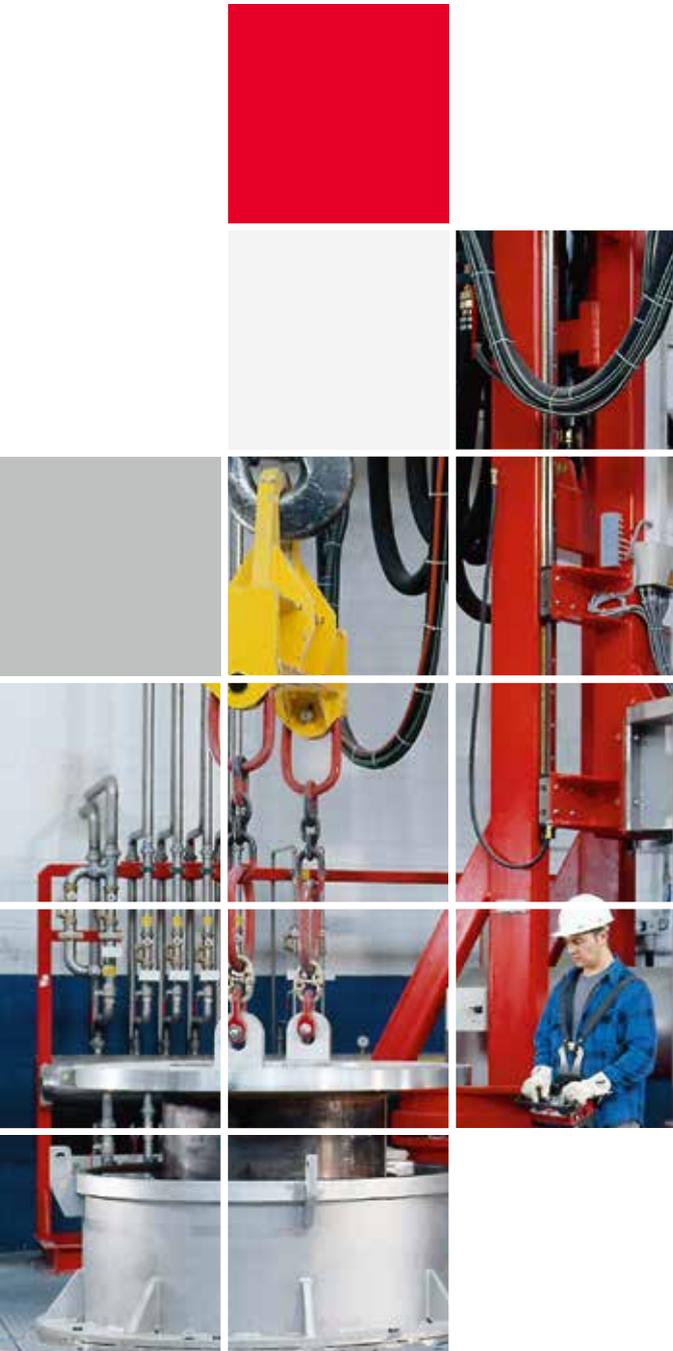
VAR炉的示意图

- 1 电极进给驱动
- 2 炉室
- 3 熔炼电源
- 4 母排/电缆
- 5 电极杆
- 6 坩埚水套
- 7 真空抽气口
- 8 X-Y调节
- 9 称重传感器系统



## 所有ALD的VAR炉 设计特点

- 炉头龙门架设计，这种超级结构的特点是可以简单的进行平台安装，上部支撑结构在带有荷载时不会弯曲。  
电极对中稳定一致
- 经过验证的双电极机电驱动系统，用于精确控制熔炼过程中的慢速给料和快速装料过程。
- 远程控制、气动操作电极/假电极的夹紧装置，可以最大程度的将熔炼电流传输到电极上。
- 炉子的全同轴设计，避免了由于不均匀磁场形成的熔池搅拌。
- 电源的设计节省空间，为快速响应和紧致的电流控制而专门设计的可控硅或饱和电抗器控制。
- 精良的称重管理系统，包括高精度、全方位温度补偿的称重传感器以及熔速运算系统
- 炉子全自动操作，使用密码保护的预设熔炼菜单，在本地存储或从任何主机系统下载。
- PC(OIP)具有数据采集系统和管理机（SSP）的接口，所采集的数据可供SPA系统进行数据分析。



# VAR工艺控制

ALD的自动熔炼控制系统  
AMC由于其精确度、冶金  
质量可重复性以及易于操  
作等特点，在世界上处于  
领先的地位。



ALD对所有的VAR重熔参数可以实现  
精确控制，从而使得成分均匀的铸锭  
可重复生产，这些铸锭没有宏观偏析，  
凝固组织结构可控，且具有卓越的  
洁净度。

**VAR炉采用的计算机控制工艺  
自动化程序实现了当今最严格  
的材料质量规范要求。**

ALD的VAR控制系统处理：

- 逻辑控制功能
- 熔化电极的持续称重
- 工艺参数的闭环控制（例如熔速、  
基于弧压或熔滴率的弧隙控制）
- 数据采集
- 数据管理

**通过现场总线或特定接口进行  
的通信**

**操作员界面电脑（OIP）**

- 在层次结构中作为自动熔炼控制  
系统（AMC）的主机
- 作为操作员和VAR工艺间的对话  
界面
- 可以实现工艺过程的可视化、  
具有参数指示、图形显示和操  
作者命令的软键等功能，编辑和  
处理重熔工艺菜单、数据采集和  
存储以及生成熔炼记录。

- 作为可选的，OIP可配有以太网网络  
接口，用于将数据传输至与本地局域  
网连接的其它电脑（例如监控电脑、  
客户的主机等）。

**熔炼菜单**

- ALD炉使用已建立的重熔参数，  
将重熔工艺菜单存储在硬盘上，  
用于不同铸锭尺寸和材料等级  
组合的可重复VAR生产，以确保  
整个铸锭的冶金质量。

爱力德欣安真空设备（苏州）有限公司

江苏省苏州市吴江经济技术开发区  
叶港路333号

邮编：215200

电话：0512-63858833

传真：0512-63855030

电邮：info@ald-cn.com

ALD Vacuum Technologies GmbH

Otto-von-Guericke-Platz 1

63457 Hanau, Germany

Phone: +49 6181 307-0

Fax: +49 6181 307-3290

E-Mail: info@ald-vt.com



VISIT US!

www.ald-vt.com