

定向硅基型芯生产使用中的重点问题

北京航空材料研究所 贺靠团

本文叙述了定向硅基陶瓷型芯生产使用中的几个关键问题，并首次公开提出粒度级配、压注压力、使用加热工艺等在国内外保密的重要工艺参数，对定向硅基陶瓷型芯的生产使用具有重要指导意义。

前言

陶瓷型芯技术的发展进一步拓宽了合金的应用范围，特别可使铸造空心叶片的耐温能力提高 $200^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ ，也就大大提高了涡轮发动机的 T_3 温度。所以它是铸造空心叶片的关键。目前我国应用的定向凝固用陶瓷型芯只有硅基型芯，并在“八五”期间推广应用。但由于硅基型芯材料结构的多变性，要求在生产使用中要有良好的工艺规范，严格控制其几个主要影响因素，减小其它因素的波动性。只有这样才能提高定向硅基型芯的不露芯率，空心铸件的浇成率，也才能提高产品质量及其稳定性。下面就定向凝固用硅基陶瓷型芯的生产和使用中应特别注意的几个关键问题加以讨论，以便使铸造工作者在生产定向空心铸件时引起注意。

一、粉料的粒度级配

粉料粒子的尺寸是非常重要的，它影响着基体陶瓷

型芯的成形性、密度、孔隙率、烧结强度和收缩。特别是外表面与金属接触的部分，粒子尺寸应尽可能小以防止金属液穿透，获得尽可能好的金属表面。

由于陶瓷型芯本身的应用特性既不同于结构陶瓷单一追求最大堆积密度以求得最大烧结强度；也不同于多孔陶瓷单一追求最大孔隙率，以实现最大的吸附效应。陶瓷型芯既要有良好的强度，也要有一定的孔隙率，以保证良好的使用性能和满意的脱芯性。陶瓷型芯的粒度级配是保证其性能的关键之一，这方面的资料是很少公开报道的。我们以国际合作、专利文献及实践中获得的型芯的粒度级配情况见表1。从表1可以看出，粉料的粒度级配与陶瓷型芯的复杂程度有关，当然也与型芯成形压力有关。一般来说，陶瓷型芯复杂程度大或成形压力低，则需细粒的含量就高。反之，则需粗粒子含量就高。这一点主要是从其成形性考虑的。在保证其成形性的前提下，粗粒子的含量尽可能高些，这样其综合性能好^[1]。

表1 粒度级配情况

文献	粗	中	细	应用范围
BP1, 102, 247	30~37.5	22.5~32.5	35~40	多晶
BIAM (中)	11~25	40~50	28~40	定向, 复杂结构
Norton (美)	7~11	34~51	42~56	定向, 单晶, 复杂结构
Salut (俄)	26~28	42~44	28~32	定向, 单晶, 复杂结构

二、成形工艺

陶瓷型芯的成形工艺较多，热塑性压注成形工艺是应用情况最好的一种。就压注成形法而言，其工艺因素包括压注压力、模温、料温和保压时间。模温、料温和压注压力对陶瓷型芯的成形性影响较大；模温和保压时间对湿态型芯尺寸精度影响较大；而压注压力则是使陶瓷型芯具有良好综合性能的基础。前两项一般铸造工作者都能正确处理，而后一项并未引起许多铸造工作者的足够注意。我们在近十年的小批量生产中由于对这个问题认识不足，吃了不少苦头，现在对这个问题已有了进一步认识。陶瓷型芯压注压力在 $1.75 \sim 140\text{kg}/\text{cm}^2$ 之间^[2,3]，压注时间在3s内，即3s内注满型腔，最好更短。

随着陶瓷型芯使用要求的提高，如由多晶用陶瓷型芯到定向、单晶用陶瓷型芯，压注压力应不断提高（见表2），陶瓷型芯的密度和强度则有所提高。多晶陶瓷型芯在 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力下压注则可满足使用要求；定向、单晶陶瓷型芯的压注压力则必须大于 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ ，最好大于 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 。当然这与压注设备的结构及型芯几何结构有关。确切地说，型芯的使用要求高，或几何形状复杂，施加到料浆上的压力应更高。若型芯的压注压力较低，则型芯的性能就低，且有较大的波动性，零件的浇成率也就较低且有较大的波动性，不适合于批量生产。 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上的压注压力所压制的陶瓷型芯能很好地满足定向、单晶凝固过程的使用要求，这就是国外采用的高压注射工艺。

表 2

材料编号	F24D	F200	S500	S503	K150
压制方法	低压 (LP)	低压 (LP)	高压 (HP)	高压 (HP)	高压 (HP)
抗弯强度 (kg/cm ²)	51.1	80.5	140	140	147
应用范围	等轴晶	等轴晶	定向	定向	定向

三、型芯的焙烧（预烧结）

焙烧工艺对型芯的强度和收缩有重要影响。型芯的使用性能在很大程度上取决于型芯的焙烧工艺，焙烧工艺的改变对预制陶瓷型芯结晶相的形状和分布有重大影响。一般情况下，定向硅基陶瓷型芯为获得最佳的综合性能，即室温强度大于100kg/cm²，最好大于150kg/cm²，预制型芯中方石英含量在8~16%间。通常采用低温长时间焙烧工艺或高温短时间焙烧工艺，更长时间的焙烧工艺会增加预制陶瓷型芯中方石英的含量，并显著降低型芯的焙烧强度^[4]。经验说明，采用中温焙烧可提高焙烧过程中型芯的结晶度，并有助于消除型芯的变形。

四、使用工艺

使用工艺主要指陶瓷型芯在定向凝固过程中的再烧结加热工艺和合金的浇注温度。该温度指在合金要形成柱状晶所需的生长温度范围内。

我们知道，定向凝固的一个工艺特点是冷壳（室温）入炉，这时陶瓷型芯要受到热冲击的影响，而此时型芯的抗热冲击能力 $T_s = \sigma K (1 - \mu) / \alpha E$ 已成定值，而实际热冲击若超过型芯的抗热冲击能力，则型芯就会断裂，造成铸件内孔不完整甚至露芯。所以在冷壳入炉时应尽量减小型芯的热冲击，降低升温速度。

另外，随着加热器温度的升高，硅基型芯基玻璃态基体在1100~1300℃之间会产生大幅度收缩和塑性变形^[4]，会使型芯弯曲甚至铸件露芯。所以，在这个温区内要有效地阻碍硅基型芯的大幅度收缩和塑性变形，只有缩短型芯在该温区的滞留时间。在1300℃以上，由于方石英的大量结晶析出（见图1），并在型芯中形成骨架，型芯的高温强度和抗蠕变能力大大提高。但在这一温区应该注意的因素是加热速度应不超过型芯中晶体的适当的生长速度，以保证玻璃体不具有产生变形的可能性。因

THC 型涂层厚度测量仪问世

目前，一种新型的、采用涡流检测技术原理研制成功的“THC 型涂层厚度测量仪”，在中国核动力院第四研究所问世。

该测量仪采用单片机作为核心部件，具有稳定性好、灵敏度高、操作简单、使用方便等多种优点。该测量仪可测量至微米级涂层厚度，其测量结果可由仪表

材料工程

此可采用10℃/min的加热速度或更低。对于浇注温度及保温温度，则应在合金允许的浇注温度范围内尽可能低些，以保证型芯具有更充足的耐火度。

从以上分析可以看出，定向硅基型芯在使用过程中应采用图2所示的三段式加热工艺，图中斜线区为加热工艺区间。

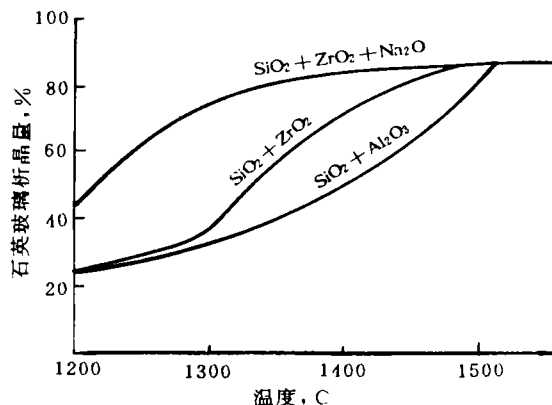


图1 终烧温度与石英玻璃析晶量

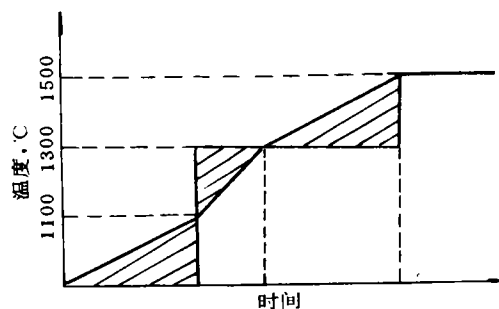


图2 使用型芯的加热工艺曲线

参考文献（略）

直接显示。

该测量仪使用范围广，可用于测量铝、铝合金、铜、铜合金、奥氏体钢材料上的阳极氧化层，以及油漆、搪瓷、陶瓷及塑料涂层厚度等，还可用于反应堆核材料元件腐蚀层厚度的测量，尤其适用于大量重复性检测和在线检测。

该测量仪经本院和成都有关单位使用后，获得一致好评。

（朱长喜 刘义富）