

第16届欧洲熔模铸造 会议文集

国外航空编辑部

1979.5

第16届欧洲熔模铸造会议文集

国外航空技术专题资料
第16届欧洲熔模铸造会议文集

*

国外航空编辑部
(北京市1652号信箱)

*

内部发行
1979年5月书号: 11



前 言

本资料译自第16届欧洲熔模铸造会议。该届会议于1974年在伦敦召开。会上共发表了14篇技术报告。本资料择译其中的九篇。

为进一步介绍铸造参数对镍基合金性能的影响，本资料增添了一篇题为“铸造参数对于高温镍基合金性能的影响”文章。

本所曾在“熔模铸造译文集”第二分册“制壳”中翻译了“陶瓷型壳的强度因素”的第一部分，现将该资料的第二部分在此一并发表。

本资料由六二一所，北航401教研组以及六二八所和峨嵋机械厂的卢运模、卢重温同志译校。

目 录

1. 影响铸造高强度镍基合金性能的因素·····	(1)
2. 熔模铸造陶瓷浇口的评价·····	(9)
3. 精密铸造中光谱分析检验的应用·····	(16)
4. 陶瓷型芯材料及制造·····	(21)
5. 用注射法制造陶瓷型芯·····	(36)
6. 镍基合金定向凝固·····	(44)
7. 带喷涂内表面的陶瓷型壳·····	(60)
8. 用于空气和真空感应熔炼镍和钴合金碎屑的鉴定、 分离和制备·····	(65)
9. Unimat工业机械手及其在熔模铸造中的应用·····	(69)
10. 铸造参数对于镍基高温合金性能的影响·····	(74)
11. 陶瓷型壳的强度因素·····	(92)

影响铸造高强度镍基合金性能的因素

(美 国)

前 言

现代的涡轮发动机需要提高工作温度，通过合金研制的途径不能立见成效。所以未来的涡轮发动机在耐温能力上的提高，必然出自有效材料工艺的改进。

减少铸造镍基涡轮叶片性能上的损失，并使工艺过程更臻完美，为保证可靠性及进一步改进所必须。

前几年所进行的为分析性能差异原因的工作，着眼于当前的镍基合金的母合金熔炼实践，铸造实践及痕迹元素的影响。尽管在铸造材料的性能与显微组织之间的关系方面做了大量工作，但并未获得可靠的相互关系。

改善母合金熔炼实践的努力表明，低 Cr 高强度铸造镍基合金比 Cr 较高的老型的合金显然需要更好的控制。

在痕迹元素的影响方面，获得了某些相互关系，但是杂质的最大允许量没有确定。

涉及工艺变量的许多问题是与母合金熔炼实践、铸造实践和痕迹元素影响的内在联系相关的；不仅是量的多少，而且与杂质在显微组织中位于何处有关。

性能差异的原因

难于把显微组织与机械性能联系起来的主要原因之一在

于，引起合金性能差异的主要原因与其说是显微化学方面的，不如说是显微冶金方面的。

铸造涡轮叶片在成份上显著的及重要的差异系表现在晶界，这可能是由凝固、冷却、成份及杂质所引起。差异的第二个主要原因是晶界上的缺陷，包括显微疏松及杂质间相互作用造成的空洞。因而，差异的两个主要原因是：晶界化学和存在于铸件中的缺陷组织。

差异的出现和缺陷的存在是由合金化学，母合金熔炼实践及铸造实践之间的复杂相互作用造成的，所以只有通过研究所有这些方面才能使控制得以实现。

母合金熔炼实践

在母合金熔炼实践中有两个重要可变范围是明显的。

第一个可变范围与化学成份有关。某些所含元素的微小变化就会因为改变了液/固相线的相互关系而根本上影响铸件对如象显微疏松这样的缺陷的敏感性。在不同合金系中把液/固相线间距与显微疏松敏感性联系起来的重要工作在前几年就已验证了。液/固相线温度差，不仅影响合金对象显微疏松这样的缺陷的敏感性，而且由于对凝固速度的影响而对晶界成份也产生根本的影响。

图1显示了钛含量的微小变化对MAM007或加铅变质的B1900合金影响的一个例子。

母合金熔炼的第二个重要可变范围的差异是在所含的痕迹元素中。

其影响分三个基本类型。

首先是在痕迹元素方面，它们导致形成晶界薄膜，如硫、硒、碲、砷等。

其次痕迹元素导致低熔点晶界化合物，诸如铝、铋、银等

成份对显微疏松的影响					
鉛	鈦	鋯	疏松平均百分数		
			叶 根	叶 面	总 计
	1.0	0.08	0.15	0.11	0.13
1.5	1.0	0.06	0.12	0.07	0.095
1.1	1.0	0.06	0.134	0.057	0.095
1.5	0.5	0.05	0.039	0.029	0.034

图 1 成份对显微疏松的影响

元素均属此类。

第三，由于精炼不完全而造成气态夹杂。

其中，主要因素之一是真空熔炼周期中，由碳——氧还原而来的残余氧化碳的存在。

图 2 显示了金属氧化物与碳作用形成一氧化碳的基本反应，与此反应的同时，熔体中所含的碳与氧化镁坩埚炉衬之间也反应产生一氧化碳。

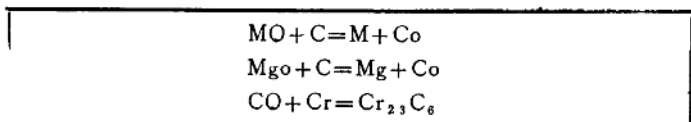


图 2 真空精炼反应

在铸造镍基合金晶界区域残留的氧化碳，由于与晶界区域的铬反应，而形成铬的碳化物，使晶界区域的铬受到消耗。在高铬合金中，如 IN713，有足够的铬存在于晶界区域以提供所必需的最小的塑性。然而晶界上 r' 相中的铬对于塑性却是必不可少的，降低 Cr 的影响示于图 3。

减少晶界区域的铬导致塑性下降，这主要是由于晶界范围缩小，持久强度因受塑性所限而下降。

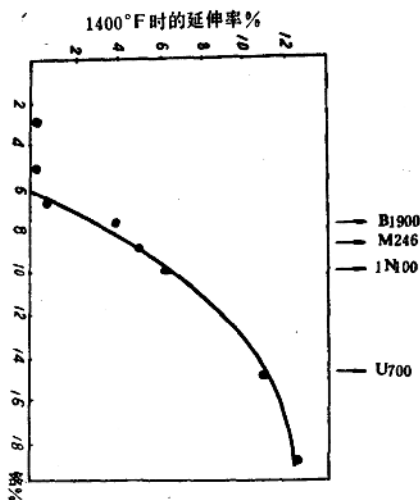


图 3 Cr对塑性的影响

铸造实践

有关冷却速度对高强度镍基合金机械性能影响方面已经做了大量工作。冷却速度既包括合金的凝固,又包括合金在形成碳化物及 γ' 相之后的冷却这两个方面。除了工艺过程的变化外,几何学因素所造成的变化是最为重要的。

图 4 显示了在一个比较薄涡轮叶片中冷却速度和凝固的差别。

凝固速度和冷却速度的差异对显微化学和显微疏松两者都具有明显的影响。因为凝固的变化而使晶界成份根本上改变已被验证了。这种改变是间接的原因。当其在液相线温度开始凝固时,初生碳化物从熔体中沉淀出来。这些碳化物的成份对铸件的强度只起较小的作用,因为它们对强度的增益更多地取决于它

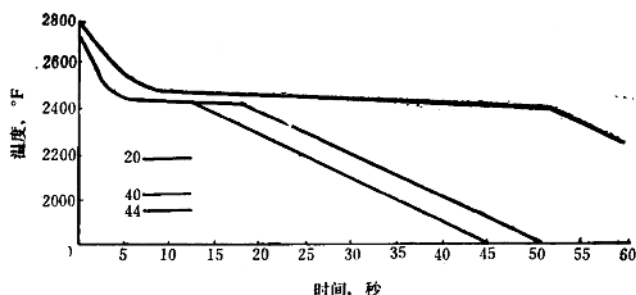


图 4 涡轮叶片上的冷却分布

们的形状、尺寸和分布,然而,它们的成份却影响合金的稳定性。

初生碳化物的成份在确定残余母液成份方面,仍然是一个主要的因素。在今天的复杂合金中,这些碳化物的成份由温度及时间来决定。当开始凝固时,钛、锆的碳化物形成,随后是元素钽,再后是铪。这时合金处于各个类型碳化物稳定温度上的时间决定了遗留在残余母液中的元素量的多少。在碳化物形成以后,温度继续沿固相线下降,残留母液体和冷却速度决定了初生 r' 相的成份。而后依次决定共晶 r' 相的成份。因此冷却速度的差异遍及整个机构,结果导致了晶界 r' 相的显著差异,从而影响了机械性能。

图 5 显示了某些影响凝固及冷却的因素。

影响凝固的因素			
金属温度	可控	壳模密度	不可控
金属流	不可控	壳模材料	可控
金属比热	不可控	壳模厚度	部分可控
金属传导	不可控	壳模辐射性	不可控
壳模温度	可控	壳模绝热性	部分可控
壳模比热	不可控		

图 5 影响凝固的因素

由图 5 可见, 许多影响凝固的重要因素以目前铸造工艺的技术状态是不可控的。

在涡轮叶片相当薄的情况下, 影响热从金属中散出的速度的最大的一个因素是壳型或铸型的热特性。这个最重要的热辐射因素包括诸如壳型密度、厚度、透气性、导热性、比热等, 这一类的性能。

主 要 参 数

主要参数显然不在其它方面, 而存在于目前的工艺系统中。例如, 实际具有相同成份的不同母合金炉次, 具有明显不同的液相线和固相线温度。在用作涡轮叶片的复杂合金体系中有三个温度要考虑——液相线、固相线和一次共晶 r' 相的固相线。

图 6 实例说明了含铅 MAR—M200 三个炉次的液相线和共晶固相线的差异

液/固 相 线 温 度 差 异		
液 相 线	固 相 线 “M”	固 相 线 “E”
1354	1293	1232
1343	1268	1210
1343	1274	1218
温 度 $^{\circ}\text{C}$		
固相线 “M” —— 基体固相线		
固相线 “E” 共晶固相线		

图 6 炉次间液相线和固相线的差异

在相同冷却条件下出现这些性能上的差异的理由, 在于散热速度和凝固速度的变化, 导致了所谓冶金学的存储现象。

这种现象被看作为与各别炉次有联系的显微组织根本改变的原因。其它变量, 如热从金属中散出的速度以及因而凝固和

冷却的变易是另一个重要可变范围。

另外的因素如残余或溶解气体对显微疏孔和显微缩孔的影响也是一个因素，不论凝固和冷却发生在真空下，还是在大气中都根本影响该因素的作用。

小 结

为了减少低铬高强镍基高温合金机械性能试验上的差异，必须控制凝固和冷却速度。

影响液相线和固相线温度的因素必须同时将来自痕迹元素的残余物和残余的气体一起加以控制。

为了达到控制机械性能的目的，晶界上的合金成份与缺陷一起控制甚为重要的。这就可能使损耗降低并减少过早的破坏。

一旦这些都能实现，那么合金所可能达到的最高性能的成份及冶金组织的最佳化就可以达到。

图7图解地描述了能影响机械性能的工艺变量和工艺步骤间的复杂相互关系，表示出许多不同的原因能得到同样的后果，这使得解决过早的破坏极其困难。

呈现出控制不完全的首要领域集中在围绕用于涡轮叶片铸造的耐火壳型的热特性上。

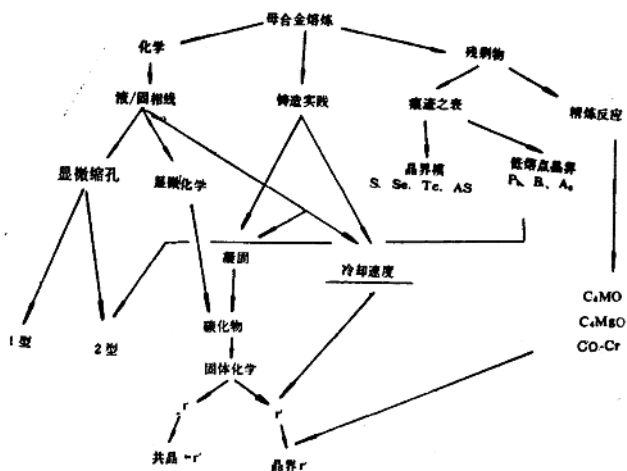


图 7 造成性能差异的因素的相互关系

熔模铸造陶瓷浇口的评价

(英 国)

说 明

陶瓷浇口是一种预烧成型的空心陶瓷浇口系统，以代替在制壳中习用的普通蜡浇口。

陶瓷浇口是由高的抗热冲击的和良好机械强度的材料采用注浆法所制成。

设 计

陶瓷浇口相仿于普通蜡浇口，它包括一个浇口杯并连着一个或若干个浇道。

模 型 组 合

蜡模组合，是将内浇口上圆柱形突块插入浇道上预先钻好的相同直径的孔内。组合用的孔，虽然在焙烧过的陶瓷浇口上能很容易钻成，但在制作工艺中首先作出孔再焙烧更为经济。在很多情况下，压型设计便能同时作出相配的圆形内浇道。内浇口与陶瓷浇口的接合处用熔融蜡密封。（图 2）

在压型配备矩形内浇口的情况下，用一层薄的熔腊涂在浇口棒上越过孔洞已获成功。然后使用热的抹刀便能牢固的把蜡模焊住。

操 作

在操作过程中，重要的是要防止浆料和砂粒掉入，所以底部和浇口杯顶部边缘的密封很要紧。

在涂制壳型的操作过程中，模组要始终坚固。

图4是满足于上述要求的操作系统，这种操作系统还附带有一个优点，即现存的大多数手柄的都能够仍旧得以使用，因为这种“B”型夹紧螺母（图4，4B）能够在内部安上一个通常用于支承蜡模浇口的“B”型螺纹棒子。

T型支承棒插入浇口杯和第一个水平横浇口的接合部，通过中心，由拉紧螺母拉紧到插入浇口杯的边缘的凸缘上。

另一方法，是用软蜡填塞浇口杯底部，以固定支撑棒并密封浇口系统，然后用约100毫升熔蜡注入。

在很多情况下，浇口杯本身能支撑浇口系统，即当模壳处于垂直位置干燥和浇口杯朝下放于存放架上的时。

涂 制 壳 模

按正常方法涂制第一层和以后的涂层，不同的只是模组浸入到浇口杯附近，蜡模最高一排以后。由于可减少背层涂料的层次，因而取得节省造型材料的经济效果。图3是不同涂层的典型铸件。

脱 蜡 和 焙 烧

在这种浇口系统中，由于没有蜡浇口，只需除去蜡模的材料即可。陶瓷浇口是空心的，蒸气容易进入，蜡料能由内浇口急速流出。因此，避免了由于产生压力而常常造成的模壳裂纹。

铸 造

由于使用陶瓷浇口，而取消所需的陶瓷领圈，能使浇口杯精确地放于翻转炉的上部。

出 箱

铸型浇铸和冷却后，陶瓷浇口很容易打箱。

优 点

1. 蜡模组合

(a) 只使用模型蜡，因而减少由于使用回收浇道蜡而带来的夹杂的危险。

(b) 模组坚固轻便，减少操作时的破坏。

(c) 蜡模间隔一致，保证最适合的铸造条件。

(d) 不需要制作蜡浇口的模具。

(e) 熔化的蜡料能更有效的用于压射蜡模的生产。(f) 不需陶瓷领圈。

2. 涂制壳模

(a) 需要材料少，因为涂料只需涂到蜡模上排的水平位置。

(b) 涂料层数少，节省劳动力和材料。

(c) 壳型薄，易于干燥，由于改用水基壳型，节省粘结剂。

(d) 模组较轻。

(e) 减少模组的损坏。

3. 脱蜡和焙烧

(a) 蜡料回收容易，因为只用制作蜡模的一种蜡料。

(b) 脱蜡时间短，因为浇口是空心的，壳模较薄。

(c) 消除了浇口棒和浇口杯产生的裂纹。

(d) 操作时模壳轻。

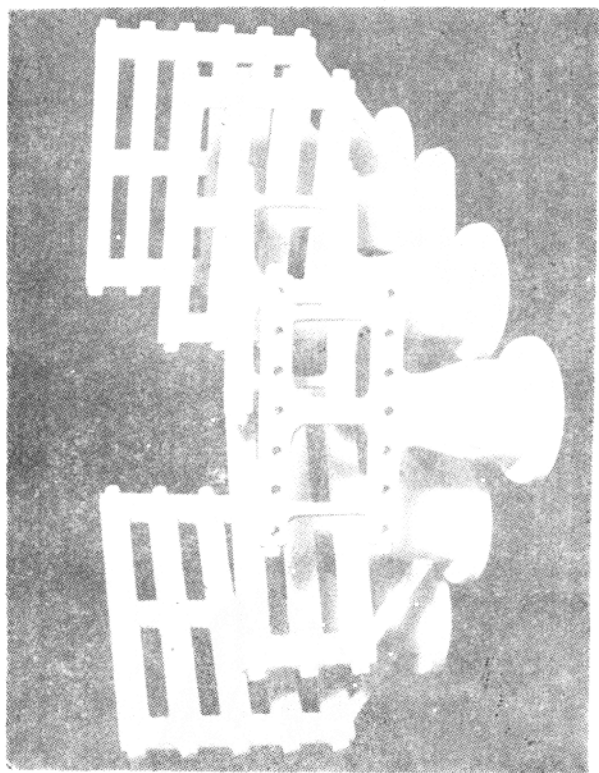


图 1