

对美国 Howmet 公司铸造高温合金 生产技术与发展的评述

Comment on Producing Technology Status & Development
of Cast Superalloy in Howmet Co.

马岳 胡尧和 刘兴博 谢锡善 (北京科技大学)
Ma Yue Hu Yaohe Liu Xingbo Xie Xishan
(University of Science & Technology, Beijing)

[摘要] 对 Howmet 公司铸造高温合金的生产技术现状及发展历史进行了综合评述, 包括其生产技术, 科研管理的特点和高温合金生产的各项工艺技术指标, 要求和经验, 并介绍了铸造高温合金的新工艺, 新技术及新成果, 对我国高温合金的科研及生产具有一定的指导意义。

关键词 铸造 高温合金 管理

[Abstract] The comment on status & development of producing technology of Howmet Co. in cast superalloy was made in this paper, including characterizations of producing technology and science research management, and introducing new processes, new technologies and new fruits in Howmet Co. It provides information of conducive significance for science research and production of cast superalloy in our country.

Keywords cast superalloy management

1 前言

美国 Howmet 公司是国际上最早生产航空发动机结构铸件的公司之一, 创建于 1926 年。最初他们用失蜡铸造的方法生产牙科医生用具。二战爆发后, 由于战争中需要大量高性能、大载荷、高速度作战飞机, Howmet 公司转向用精密铸造的方法生产无余量或加工余量很小的航空发动机部件, 解决了当时发动机上某些部件通过锻造工艺不能生产的难题。由此, 推动了航空工业的发展。历经近一个世纪的发展, 今天的 Howmet 公司已拥有具国际先进水平的生产设备和技術。全公司有 30 多个子公司遍布于世界各地, 能够生产航空发动机所需的各種结构铸件 (非真空状态下可重达 454kg, 真空状态下重达 635kg, 钛合金件为 731kg), 包括叶片、机匣、热端部件等, 还可生产航天飞行器的结构铸件及工业燃气轮机等。

2 铸造高温合金的工艺技术

50 年代初期, Howmet 公司首先用精密铸造的方法一陶瓷壳型生产航空发动机的结构铸件。以后随着航空

科学技术的进步, Howmet 公司的生产和技术也不断创新、发展。图 1 列出该公司近 50 年来从熔炼到铸造开发的新技术。

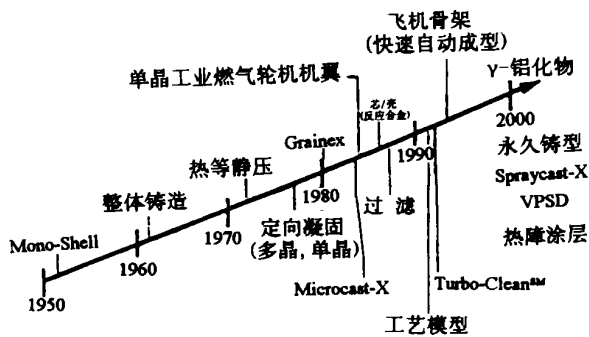


图 1 Howmet 公司 50 年来工艺发展概况
Fig. 1 Technology Timeline of Howmet Co.

2.1 合金熔炼工艺技术

2.1.1 母合金熔炼

铸造高温合金的发展方向是优质、净化。提高铸件高温合金质量的重要因素是采用高纯度的母合金; 在母合金熔炼时, 严格控制原材料 (Ni, Cr, Co) 中有害元

素及夹杂含量,并用挡渣过滤,尤其是在使用回炉料时,以保证纯度。其次,严格控制母合金在熔炼过程中所接触到的所有设备中的非金属材料(炉衬,中间包,涂料,过滤网等)的成分及两者的化学反应程度。尽量在真空状态下熔炼,如在大气中熔炼时须用 Air-Oxygen-Decarburized 提高纯净度。

在母合金熔炼中有两项重要技术是:采用电子熔炼“钮扣”铸锭,控制真空下合金的纯净度;采用电子冷坩埚精炼,减少杂质(尤其是 Ti 合金)。

2.1.2 铸锭重熔

铸锭重熔时通常采用真空感应炉。这个过程中坩埚是一个主要的因素,用坩埚也能控制合金的纯净度。据 Howmet 公司报道,ZrO 坩埚能够减小与合金液的反应,耐高温性能好。依合金种类及要求不同,也用 MgO 坩埚,有时还用 Y_2O_3 、CaO 坩埚,在特殊情况下,用莫来石坩埚。

2.2 铸造工艺技术

2.2.1 单晶、定向及细晶铸造工艺

单晶、定向合金由于减少和消除了晶界在高温时的弱化作用,大幅度地提高了铸件在航空发动机上的工作温度。Howmet 公司自 70 年代发展了单晶、定向合金以来,已取得很大进展。特别是单晶合金,比定向合金的工作温度提高了近 65 。

在工作温度比较低(低于等强温度点)时,细等轴晶的组织结构对力学性能是有利的。因而 Howmet 公司发展了 Grainex 和 Microcast—X 细晶铸造工艺,晶粒度可达 ASTM 3~5 级。

2.2.2 蜡模、型芯和型壳

在制造蜡模时,应遵循的原则是:不同的结构铸件,要求使用不同种类的蜡料。Howmet 公司的车间备有 20 余种蜡料,回收的蜡料不用于转动件;用计算机控制监视蜡模制造,用坐标测量仪检测蜡模尺寸。

通常使用的是陶瓷型芯。据悉,硅-锆芯能提高尺寸稳定性,刚玉芯化学稳定性好。型芯的质量要求不仅包括尺寸和外形轮廓,还有一定的物化性能要求。

型壳要求型砂的化学成分、粒度大小、分布及化学稳定性,同时要求一定的焙烧温度和良好的贮存环境,以保证型壳内腔的清洁。制作的每一型壳都要检验其重量,每一批型壳的重量差不超过 $\pm 4\%$ 。

2.3 HIP 工艺

HIP 工艺用来提高铸件的致密性、消除疏松和促进均匀化,HIP 的主要工艺参数是:温度、压力和升温、降温速度。工艺参数选择的合适,对铸件有良好的作用,获得最佳的组织结构,否则起有害作用。据分析,在均

匀化和 HIP 升温至接近 1065~1180 期间,应避免加热太快,以防产生初熔。而 HIP 后,适当提高冷却速度,可获得有利的显微组织结构。

Howmet 的 HIP 炉容量在世界上堪称最大、压力最高(达 199.9MPa),且处理后的冷却速度比标准的快。

2.4 铸造高温合金的新工艺、新技术

2.4.1 雾化、喷射成型 (Spraycast-X)

Howmet 公司一直在不断地探索和开发新的铸造工艺技术,Spraycast-X 即是开发的一种新工艺。该工艺也称为 Osprey,类似于金属粉末的制造工艺,在氩气或氮气的保护下,液态金属通过喷嘴向成型的模具中喷射,形成致密、超细晶粒的铸件,见图 2。

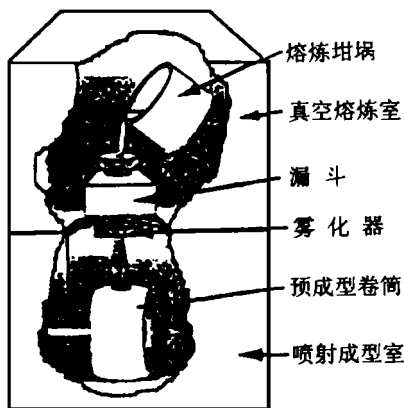


图 2 喷射成型工艺模型

Fig. 2 Spraycast-X technology model

2.4.2 快速自动成形 (Rapid Prototyping)

快速自动成形技术是 90 年代国际上新发展起来的一项高科技成果,它是集计算机、光、电、精密仪器和材料等现代化诸学科于一体的先进制造技术,适用于在实际中遇到的传统方法无法加工的非对称的、有不规则曲面的或结构复杂而又是精细结构的零件、模具等。

快速自动成形是一种全新概念的制造技术,它摒弃了传统机械加工方法,根据计算机 CAD 生成的零件几何信息,控制三维数控成形系统。通过激光或其它方法将材料堆积而形成与计算机中几何形状完全一致的零件实体。目前已投入使用的成形方法主要有光敏液相法 (SLA)、激光选区烧结法 (SLS)、熔融堆积法 (FDM)、逐层轮廓法 (LOM)、光掩膜照相法 (SGC)。

2.4.3 数值模拟技术在精铸件中的应用

数值模拟技术已广泛应用在精密铸件的研究和生产中。Howmet 公司已对代表着航空发动机精密铸件最高水平的单晶部件的凝固过程进行了数值分析。

(下转封三)

强度试验方法, HB 5475-91 热喷涂涂层结合强度试验方法, HB 5475-91 热喷涂涂层抗拉强度试验方法, HB 5486-91 热喷涂涂层硬度试验方法。

3.2 相关适用的国家标准

热喷涂涂层专业相关适用的国家标准主要有以下 6 个: GB 12334-90 金属和其他覆盖层关于厚度测量的定义和一般规则, GB 12607-90 热喷涂涂层设计命名方法, GB 12608-90 热喷涂涂层材料命名方法, GB 11375-89 热喷涂操作安全, GB 11373-89 热喷涂金属件表面预处理通则, GB 11374-89 热喷涂涂层厚度的无损测量方法。

4 几点建议

(1) 建立一系列完整的热喷涂涂层技术标准

根据航空发动机需要, 按涂层的成熟程度, 制订出热喷涂耐磨涂层、热喷涂封严涂层、热喷涂热障涂层的国家标准, 与前边介绍的三项质量检验标准协调配套使用。随着国际交往的不断深入、航空企业与外方“三来加工”等合作方式的增多, 协调航空企业共同制订标准

的同时, 将与之合作的不同外方公司中可借鉴的东西汇集起来, 通过消化吸收变成符合我国航空系统实际情况的资料, 是一个很好的途径, 同时也具备适当的时机。

(2) 为检查热喷涂涂层的内部质量, 了解热喷涂涂层与基体在界面位置的结合情况, 需要制订相应的金相检验标准。有了这样的标准, 就能方便地检查涂层中的氧化物、孔洞、涂层与基体界面上的污染及未熔化颗粒等内容, 进一步确保涂层质量。

(3) 制订热喷涂涂层的涂覆工艺标准。热喷涂涂层的涂覆工艺主要有爆炸喷涂等离子喷涂、火焰喷涂、电弧喷涂等, 可根据不同涂覆工艺使用的广泛性按大小顺序选择列项, 逐一制订成标准。

(4) 在制订热喷涂涂层的工艺之前, 可考虑先行制订出“热喷涂金属件表面预处理通则”, 根据航空产品质量要求相对较高的特点, 参照 GB 11373-89, 从对金属件进行表面除油、粗糙处理、预热及去除涂层处理等方面来提出要求, 以确保热喷涂工艺操作的顺利进行。

(5) 制订热喷涂操作安全方面的标准。

(上接第 47 页)

他们基于工作站平台和计算机网络进行计算机辅助铸造工程。在铸造中采用了计算机技术(CAD 技术和数值模拟技术), 大大缩短了从产品设计到制造出成品铸件的周期, 见图 3。

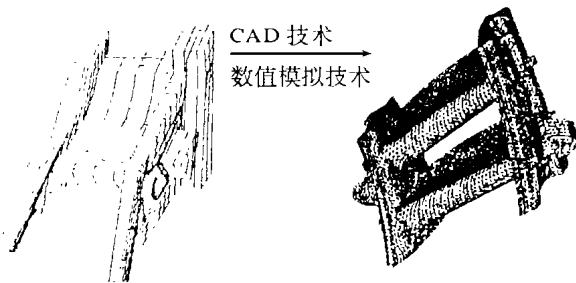


图 3 新旧技术对比

Fig.3 Comparison of new process and old modeling one

3 对 Howmet 公司生产、科研的几点认识

3.1 公司的管理和质检

Howmet 公司实行“全程质量管理”, 即从生产的第一道工序到最后道工序, 层层把关。每一道工序都经过严格质量检验。例如, 从原材料的存放到最后成品的包装、运输都有严格要求, 以确保最终成品的质量。

3.2 铸造回收率

Howmet 公司由于在铸造过程中应用了计算机技术

进行工艺设计, 控制工艺过程, 检验铸件质量等方法。铸造回收率高达 90%, 比国内精密铸件的铸造回收率高出 20~30%, 因而大幅度降低了铸件的成本。

3.3 返回料的利用

3.3.1 切屑的利用

在母合金熔炼时, 切屑的回用有严格的规定: 本身的纯净度及用量根据不同要求的母材, 用量不得大于 40%。

3.3.2 蜡料的回用

铸造过程中返回的蜡料不做转动件的蜡模。

3.4 铸件的纯净化

母合金熔炼时采用挡渣过滤, 提高母合金纯净度。

母合金棒料表面清理干净, 在运输和存储过程中保持清洁, 防止污染。

母合金棒料两端面的边缘要倒成圆角, 以防在放入坩埚时碰破坩埚壁造成非金属夹杂。

模壳制作好后加盖, 防止落入杂物, 造成夹杂。

收稿日期: 1997 年 12 月 9

马岳, 女, 35 岁, 讲师, 博士研究生, 北京科技大学材料工程学院高温室, 100083