

消失模铸造

实用技术

■ 主编 董秀琦 朱丽娟



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



消失模铸造实用技术

主编 董秀琦 朱丽娟

参编 王 冬 叶升平 张佳平 朱春熙

张新颖 吴 静

主审 郭若东



机械工业出版社

本书介绍了消失模铸造的模样材料、泡沫塑料模的制造、涂料技术、消失模铸造工艺设计、消失模铸造设备、消失模铸造环保及消失模铸造缺陷分析的基本原理和基本方法,又从铸件形成的有关理论——直浇道中液态金属的吸气、撇渣机理,液态金属在消失模型内的流动机理、动态传热机理,过滤净化机理,补缩机理,铸件表面粗糙度的形成机理、侵入性气孔的形成机理及消失模铸造有关机理论证了消失模铸造浇冒系统的设计原则及生产工艺参数的选择并附以生产实例加以说明,使读者能够全面掌握消失模铸造的发展概况。

本书既注重理论上的严谨,又注重生产的实用性,因此不仅适合有关工程技术人员的使用,也适合该方向研究人员的使用。

图书在版编目(CIP)数据

消失模铸造实用技术/董秀琦等主编. —北京:机械工业出版社, 2005.6
ISBN 7-111-16766-X

I. 消… II. 董… III. 模具, 消失模—铸造 IV. TG241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 066372 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·22.5 印张·558 千字

0 001—4 000 册

定价:43.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

美国人 H.F.Shroyer 早在 1956 年就提出了实型铸造法（简称为 FM 法）并申报了专利。可真正在生产中得以完善应用却是 20 多年以后才发生，而这一技术的蓬勃发展又推迟到 21 世纪初才出现，其根本原因在于任何先进的技术和思想都要依托在人类现存物质文明和认知文明的基础之上才能生根、开花、结果，否则下场大部分是痛苦的可悲的。尽管如此，为了真理、进步，这样的勇士在世界各国都是不断的破土而出。中国古代坐土火箭上天摔死的书生被后人嘲笑了数千年之久，是近代的载人航天技术的飞速发展才为他正名平反。由此看来 H.F.Shroyer 先生是十分幸运的，因为他目睹了自己超前半个世纪的思想之花，被后人完善了并且在世界各地盛开。随着科学技术的飞速发展，再过 50 年泡沫模的密度和成本会大幅度地下降，消失模负压铸造将很有可能取代在传统铸造中砂模的主体地位，其原因就在于它有砂型铸造无法比拟的优越性和诱惑力：

- (1) 尺寸精度高，加工余量小，优于砂型、金属型，低于压铸，接近熔模铸造。
- (2) 表面光洁性高，优于砂型。
- (3) 不用砂芯，无分型面，不起模、合箱，造型工艺大大简化，并相应地减少了人为引起的缺陷、废品。
- (4) 取消了混砂工序，砂处理设备大为简化，减少了由此而引起的质量问题。
- (5) 干砂落砂非常方便，无飞边毛刺，清理打磨工作量减少 50% 以上。
- (6) 可在理想位置放浇口，可选最佳冒口形状不受起模限制。
- (7) 投资少，同样生产能力比砂型可降低 30% ~ 50%，生产线柔性好，可在一条生产线上实现不同合金、不同铸件的流水生产。
- (8) 改善劳动条件，气化产物大部分被真空带走，且集中在浇注落砂处排放，便于除尘处理。
- (9) 对工人技术熟练程度要求大大降低，不用木型工、造型工、制芯工、混砂工，减少了对铸造方面技术工人的需求量。
- (10) 铸件设计自由度大，不受铸造工艺限制（不用分型或劈模）。
- (11) 耗砂量大大减少，因为干砂的回用率几乎为 99% 左右。
- (12) 用人少、占地少，很适用厂房面积紧张而人员又不足的企业。

到那时候，人类铸造史上又会升起一片新的曙光，本书就是为这一曙光的早日到来去推波助澜。全书由董秀琦教授主编，并由沈海热电有限公司从事十几年消失模技术工作的工程师郭若东同志主审，这充分体现了本书作者真正做到重视实践、尊重知识、尊重人才的不同凡响，因为只有在生产第一线长期工作过的技术工作者才有时间、有精力、有资格去为即将流传于世的书说三道四，也只有这样的书才有可能经得起历史的推敲。由于编者的水平有限，本书错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月于沈阳理工大学材料学院

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

- 1.1 消失模铸造概述 1
- 1.2 消失模铸造工艺特点 3
- 1.3 消失模铸造的适用性与经济性 5
 - 1.3.1 消失模铸造的适用性 5
 - 1.3.2 消失模铸造的经济性 6
- 1.4 消失模铸造的发展状况 9
- 1.5 我国消失模铸造展望 15

参考文献 16

第2章 消失模铸件成形的理论基础 ... 18

- 2.1 消失模铸造基本理论论述 18
 - 2.1.1 消失模铸造在充型时形成的气膜压力研究 19
 - 2.1.2 消失模铸造的浇注温度应比砂型铸造提高多少 25
 - 2.1.3 消失模铸造浇注时发气特性的研究 26
 - 2.1.4 消失模负压铸造中液态金属流动前沿气隙的厚度研究 28
 - 2.1.5 液态金属在消失模内的流动 31
 - 2.1.6 消失模铸造的合理浇注速度研究 33
 - 2.1.7 消失模铸造直浇道掉砂问题的研究 37
 - 2.1.8 消失模铸造充型时液态金属前沿形状的产生机理及应用 39
 - 2.1.9 消失模充型过程中液态金属前沿与消失模的传热系数研究 41
 - 2.1.10 消失模铸造金属液流动前沿气隙中的质能传输平衡判据及应用 ... 43
 - 2.1.11 负压消失模铸造铸型坍塌缺陷的形成机理及应用 46
 - 2.1.12 气膜的厚度与传热系数 ($\frac{\lambda}{\delta} + \alpha_C + \alpha_R$) 之间的关系 48
 - 2.1.13 负压消失模铸造液态金属前沿气膜厚

度 δ 的测试研究 50

- 2.1.14 消失模负压铸造群铸的基本原则 51
- 2.1.15 生产中的应用实例 53
- 2.1.16 液态金属流经直浇道的吸气、撇渣原理 56
- 2.1.17 浇注系统设计的传热学原理 60
- 2.1.18 浇注系统的过滤净化机理 76
- 2.1.19 铸件凝固过程的补缩机理 76
- 2.1.20 液态金属充填成形时表面粗糙度形成机理及应用 83
- 2.1.21 侵入性气孔的形成机理及其预防 91

2.2 消失模的模样材料热分解和发气特性问题 105

- 2.2.1 聚苯乙烯泡沫塑料的热分解 105
- 2.2.2 聚甲基丙烯酸甲酯的热分解 113
- 2.3 EPS 热解产物的传输 115
- 2.4 模样分解产物与铸件质量的关系 118
 - 2.4.1 聚苯乙烯分解产物对铸件的化学成分、组织和力学性能的影响 118
 - 2.4.2 聚苯乙烯分解产物对合金钢和青铜铸件质量的影响 121
 - 2.4.3 聚苯乙烯分解产物对铸件表面质量的影响 123

参考文献 125

第3章 模样材料 127

- 3.1 消失模铸造工艺对泡沫塑料的种类与性能的要求 127
 - 3.1.1 聚苯乙烯泡沫塑料 127
 - 3.1.2 聚甲基丙烯酸甲酯 (EPMMA) 模样材料 128
- 3.2 聚苯乙烯泡沫塑料的生产工艺 129
 - 3.2.1 可发性聚苯乙烯珠粒的制造 130
 - 3.2.2 贮存 134
 - 3.2.3 可发性聚苯乙烯珠粒的预发泡 ... 134
 - 3.2.4 泡沫聚苯乙烯珠粒的熟化 139

3.2.5 成形加料	141	参考文献	194
3.2.6 成形发泡	142	第5章 涂料技术	196
3.2.7 泡沫塑料模样的冷却	143	5.1 表面耐火涂料	197
3.3 铸造用泡沫塑料的性能	145	5.2 表面光洁涂料	199
3.3.1 泡沫塑料的规格及牌号	145	5.3 涂料的原材料及其性能	199
3.3.2 聚苯乙烯泡沫塑料的性能	145	5.3.1 耐火涂料的原材料及其性能	199
3.4 泡沫塑料的检验	148	5.3.2 表面光洁涂料的原材料及其性能	210
3.4.1 剩余单体含量——苯乙烯在聚苯乙烯中的含量	148	5.4 消失模铸造涂料的配方及配制过程	210
3.4.2 发泡剂含量的测定	149	5.4.1 耐火涂料的配方	211
3.4.3 聚苯乙烯珠粒的堆密度	149	5.4.2 表面光洁涂料的配方	215
3.4.4 聚苯乙烯泡沫塑料的水分	150	5.4.3 涂料的配制过程	215
3.4.5 聚苯乙烯泡沫塑料的密度	150	5.5 涂料的性能与检测方法	216
3.4.6 泡沫塑料的线收缩率	150	5.5.1 涂料悬浮性	217
3.4.7 泡沫塑料的抗拉强度	150	5.5.2 耐火涂层的透气性	218
3.4.8 泡沫塑料的抗压强度	151	5.5.3 耐火涂层的厚度	221
参考文献	151	5.5.4 润湿性	221
第4章 泡沫塑料模的制造	152	5.5.5 抗磨性	222
4.1 泡沫塑料模的加工成形	152	5.5.6 高温抗弯强度	222
4.1.1 切削加工的基本原理	152	5.5.7 表面强度	223
4.1.2 机械加工方法及其工艺	153	5.5.8 粘度的测试	226
4.1.3 泡沫塑料模的手工成形	162	5.5.9 滴滴性	227
4.1.4 加工成形模样的缺陷及其解决办法	164	5.5.10 涂料的密度	229
4.2 泡沫塑料模的发泡成形	165	5.5.11 涂料烘干抗裂性	229
4.2.1 发泡成形的分类及工艺	165	5.5.12 涂料曝热抗裂性	230
4.2.2 模样的熟化处理	171	5.5.13 涂料的发气性	232
4.2.3 模样的干燥与稳定化	172	5.5.14 铸造涂料易剥离性	234
4.2.4 发泡成形模的缺陷分析	172	5.6 涂料的涂覆方法及干燥	236
4.2.5 几种典型模样的发泡成形工艺规范	173	5.6.1 涂料的涂挂方法	236
4.3 模样的结构与装配	174	5.6.2 涂料涂挂工艺	239
4.3.1 模样的装配	174	5.6.3 涂料的干燥和固化工艺	239
4.3.2 模样的装配技巧及实例	181	5.7 涂料的有关问题说明	241
4.4 发泡成形模具的设计及制造	183	参考文献	243
4.4.1 模具材料及制造	183	第6章 消失模铸造工艺	244
4.4.2 发泡模具的分类	184	6.1 工艺过程及特征	244
4.4.3 模具的设计	185	6.1.1 与传统工艺过程的对比	244
4.5 模具制造	188	6.1.2 工艺特征	244
4.5.1 成形机规格及模板连结	188	6.1.3 消失模铸造工艺的优缺点	245
4.5.2 模具制造工艺程序及技术要求	193	6.2 工艺方案的确定	246
4.5.3 成形模具相应的配套件	193	6.3 造型材料	249
4.5.4 模具设计制造中的节能措施	194	6.3.1 消失模铸造型砂的分类	249
		6.3.2 实型铸造用型砂	249

6.3.3 干砂实型铸造和消失模铸 造型用砂	254
6.3.4 塑料薄膜	256
6.4 造型技术	257
6.5 消失模铸造浇注系统设计	261
6.5.1 消失模浇注系统的设计原则	262
6.5.2 浇注位置设计	263
6.5.3 浇注系统形式的选择	264
6.5.4 浇道的结构与形状	268
6.5.5 浇注系统各单元截面积的比例	269
6.5.6 内浇道位置、数量和形状的 确定	270
6.5.7 内浇道尺寸大小的设计计算	271
6.5.8 直浇道与模样体之间的距离	272
6.5.9 浇注系统设置的注意事项	272
6.6 冒口与冷铁	273
6.6.1 冒口的种类及补缩原理	274
6.6.2 消失模铸造中冒口的特点和冒口设置 的一般原则	277
6.6.3 冒口的形状尺寸	280
6.6.4 冷铁	282
6.7 浇注和清理	282
6.7.1 浇注温度	282
6.7.2 浇注方法	284
6.7.3 影响浇注的因素	285
6.7.4 清理	286
6.7.5 真空度控制与停泵时间	286
参考文献	288
第7章 消失模铸件内部质量与缺 陷分析	289

7.1 缺陷概论	289
7.2 消失模铸造对铸件性能的影响	291
7.3 消失模铸造缺陷分析	292
7.3.1 铸造成形及尺寸不良	292
7.3.2 表面缺陷	296
7.3.3 铸件内部缺陷	300
7.4 铸钢件表面增碳及其预防	301
7.4.1 增碳的机理	302
7.4.2 影响表面增碳的因素	303
7.4.3 防止增碳的方法	306
7.5 铸铁件的皱皮及其预防	308
7.6 消失模铸件的检验与质量分析	314
参考文献	316
第8章 消失模铸造设备	317
8.1 概述	317
8.2 制模设备	318
8.3 涂层制备设备	327
8.4 造型设备	329
8.5 砂处理设备	337
8.6 真空稳压系统	342
8.7 其他工艺装备	344
参考文献	346
第9章 消失模铸造与环境保护	347
9.1 泡沫塑料模的热分解产物分析	347
9.2 泡沫塑料模的热分解产物的毒性 分析	351
9.3 废气处理装置与环境保护	351
参考文献	354

第1章 绪 论

社会的发展尤其是现代工业的高速发展,对传统的铸造技术提出了越来越多的挑战。实现铸造生产过程机械化、自动化和专业化,追求工序简单、劳动强度轻、生产效率高、铸件质量好、精度高、环保等要求已成为现代铸造技术发展的必然趋势。另外,科学技术的日新月异,各种新工艺、新技术和新材料不断涌现,科学技术领域内的各门学科互相渗透、互相结合日趋密切,在这些基础上人们对老的铸造工艺方法进行了改进和革新,并且研制出许多新的铸造技术。

由于化工和塑料工业的发展,特别是聚苯乙烯泡沫塑料的诞生和实型铸造工艺的出现,打破了千百年来制模用木材、造型要取模的传统。这是铸造生产上的一大革命,受到国内外铸造工作者的普遍重视,获得了快速的发展。

消失模铸造工艺正是在这种背景下形成和发展起来的,消失模铸造所特有的优点越来越多地被人们所公认,并越来越广泛地受到铸造界(尤其是制模和造型工人)的欢迎。实践证明,这项新工艺是铸造行业中的一大革新,具有宽广的发展前途和无限的生命力,是一条多快好省发展铸造生产的有效途径,有力地推动了铸造生产不断向前发展。

1.1 消失模铸造概述

在我国已有几千年历史的传统铸造,主要用来生产机械零件的毛坯件,因而尽管发展到现在,也出现了许多新的方法,但是目前生产上应用最普遍的仍然是发展较早的砂型铸造。

砂型铸造通常又被称之为翻砂。它必须借助于铸模(用木材或金属制成),才能将型砂制成所需形状的铸型,但是这类用木材或金属制成的模样,必须在浇注前从铸型中取出,否则就无法浇注。因此,这种工艺显得特别复杂,工序多、劳动强度大、生产周期长、成本高,而且铸件精度不够理想,甚至对某些复杂的零件还无法实现活块整体铸造,这就成了砂型铸造的致命弱点。

为了改善砂型铸造的状况,人们作了不少努力,但效果不大。尤其对于那些单件小批量、形状较为复杂的大中型铸件,如何来实现“高效、优质、低成本”的生产要求,成了铸造工作者急待解决的重大课题。在消失模铸造法出现之后,这个问题得到了解决。

消失模铸造是在实型铸造法、干砂实型铸造法的基础上发展的负压实型铸造法。实型铸造是在造型和浇注过程中不必取模的铸造方法,而消失模铸造是将真空密封造型法与实型铸造进行工艺嫁接而形成的一种新的铸造方法,因而它保留了真空密封造型法和实型铸造的主要优点,克服了它们各自的缺点和局限性。这不仅是实型铸造技术的新突破,更是实型铸造法的新发展。实型铸造法、干砂实型铸造法、负压实型铸造法分别代表了消失模铸造发展的三个阶段,也是当前世界各地广泛使用的、已相互独立的三种铸造方法。

实型铸造法:就是用泡沫聚苯乙烯模代替铸模进行造型,其方法主要是用粘结剂和型砂造型,模样不取出呈实体铸型,浇入金属液,模样气化,而得到理想铸件的一种铸造方法。

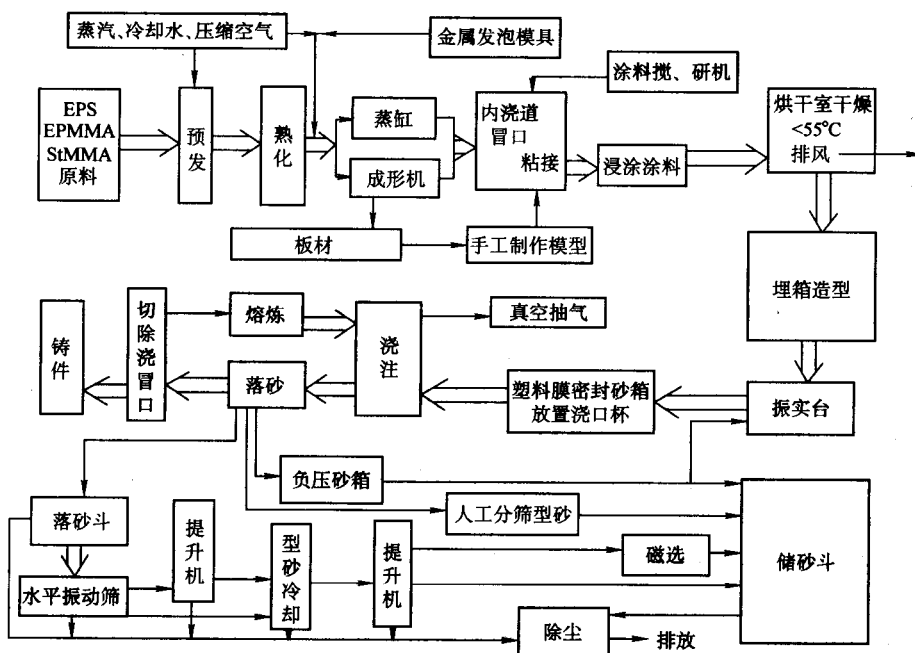
该法的工艺过程是将泡沫塑料制成的模样，置入砂箱内填入造型材料后夯实，模样不取出构成一个没有型腔的实体铸型，当金属液浇入铸型时，泡沫塑料模在高温金属液的作用下迅速气化、燃烧而消失，金属液取代了原来泡沫塑料模样所占据的位置，冷却凝固成与模样形状相同的实型铸件。这是最早的消失模铸造方法。

干砂实型铸造法：与实型铸造法相比，该铸造方法采用干砂取代实型铸造法中的型砂，这是一个伟大的进步。因为经过此改进后，造型方法发生完全的改变，不仅造型工艺变得简便，而且大大简化了砂处理工艺，使得生产线投资非常少。

负压实型铸造法：在干砂实型铸造法基础上，采用负压浇注，不仅利用砂箱内外压差使干砂紧实，还保证了塑料模在真空下气化，这样所产生的气体量大大减少，产生的气体也能及时和有效地排放。该方法已成为消失模铸造的最重要方法。

人们习惯上把消失模铸造工艺的过程分为白区、黄区和黑区三部分。白区指的是白色泡沫塑料模样的制作过程，从预发泡、发泡成形到模样的粘结（包括模样的分体和浇注系统）。黄区指的是上涂料以及再烘干，而黑区指的是将模样放入砂箱、填砂、金属熔炼、浇注、旧砂再生处理，直到铸件落砂、清理、退火等工序。

消失模铸造的基本工艺是：



生产工序的减少和操作内容的简化，为消失模铸造提高生产率、减轻劳动强度创造了有利条件。

以上三种铸造方法虽然造型方法或造型材料不同，但其本质特征是相同的，即采用泡沫塑料模取代了原来的空型腔呈实体的铸型，并且在浇注过程中泡沫模样是随金属液的推移而逐渐地被气化消失，模样和金属液同时存在，使铸型始终保持呈实体的状态，直至浇注完毕，模样完全被金属液所取代。因而在许多铸造工艺和技术要求上基本都是一致的，例如塑料模制造、涂料等。

另外,也有部分国内文献称以上铸造方法为气化模铸造、无型腔铸造等。实际上,泡沫塑料模在浇注过程中并非都是气化过程。在浇注过程中,泡沫塑料的变化包括软化、熔融、气化和燃烧等一系列物理化学现象,在很多情况下,气化过程并不是主要的(如实型铸造)。同样,对很多复杂铸件(如柴油机缸体)也很难做到无型腔,因此,气化模铸造、无型腔铸造的称呼是欠妥的。为避免混乱,美国铸造协会将负压实型铸造称为消失模铸造,并作为该工艺的名称。

1.2 消失模铸造工艺特点

消失模铸造综合了其他几种精密铸造工艺的优点,并克服、弥补了它们各自的不足。例如,消失模铸造利用了真空密封造型法中用真空手段使松散流动的型料紧固成铸型的造型原理,且去除了该法中仍然用木模或金属模造型脱模、下芯、合箱等操作;同时又吸收了实型铸造和磁型铸造工艺中用泡沫塑料气化模实体埋型,不起模就直接进行浇注的优点,而克服了实型铸造中型料需加粘结剂、需捣实、型料回收困难,打箱清理费劲的缺点,也克服了磁型铸造中铸件尺寸受磁极间距大小限制的缺点。

由于砂型铸造仍是我国普遍存在的铸造方法,以其为比较对象会发现消失模铸造有非常多的优越性。概括而言,几种消失模铸造法具有以下几个共同的工艺优点:

1. 简化工序,缩短生产周期,提高生产效率

由于模样是整体的,基本上不用型芯,省去了型芯盒和芯骨制备以及芯砂配制的工序;操作上又省去了取模、修型和配箱等许多工序,因而缩短了生产周期,提高了生产效率。特别对单件、形状复杂的铸件,效果更显著。按目前的生产水平统计,一般可提高制模效率0.5~3倍,提高造型效率2~5倍。以盐城化机四厂的实践来说明,其生产效率的提高和生产周期的缩短是普通砂型铸造所无法比拟的。

2. 减轻劳动强度,改善制模和造型工的操作环境,改善了作业条件

造型省去了脱模、修型和合箱等工序,大大减轻了劳动强度和改善了操作条件。而且该法在浇注时产生的废气可通过密闭管道排放到车间外以便进行净化处理,这样大大改善了生产现场的环境。

3. 提高了铸件的尺寸精度

因模样不必从铸型中取出,没有分型面,又省去了配箱、组芯等工序,避免了在普通铸造中因起模和配箱所导致的尺寸偏差,因而提高了铸件的尺寸精度,减少了机加工量。据报导,消失模铸造工艺的尺寸精度超过了湿型工艺和树脂砂工艺的精度(接近精密铸造)。例如,通常孔需要加工制出而用消失模铸造工艺可直接铸出直径大于6mm的孔,孔径的重复精度相当好,误差一般在0.2%以内。

消失模铸造的铸件表面质量和金属型铸造的铸件质量非常接近,表面光滑,比砂型铸造的铸件表面粗糙度 R_a 值低,可达3.2~12.5 μm ;铸件尺寸在铸造过程中只有很小变化,发泡成型机生产的模样尺寸几乎无变化。铸件的脱模斜度很小(最多0.5°~1.0°)或者为0。铸件的尺寸精度高,可达IT7~9,比传统砂型铸造提高1~2级别;铸件尺寸公差很小(见表1-1),加工余量最多为1.5~2mm,可以大大减少机械加工的费用,和传统砂型铸造方法相比,可以减少40%~50%的机械加工时间。

4. 增大了零件的设计自由度

为铸件结构设计提供了充分的自由度。消失模铸造方法没有分型和必须取模的铸造工艺，减少了铸造工艺性要求，使铸件设计受到的限制减少。泡沫模样不需芯子的优点，可使设计者精确地铸出复杂内腔，甚至多内腔的铸件，铸件壁也可以是曲面式变截面的。

表 1-1 消失模铸造的铸件尺寸公差

铸件尺寸/mm	公差/mm
< 25	± 0.17
25 ~ 80	± 0.25
80 ~ 125	± 0.30
125 ~ 175	± 0.43
175 ~ 250	± 0.003 (每 1mm)
> 250	± 0.002 (每 1mm)

5. 铸件质量好、废品率低

造型后，铸型是一个整体的，没有分型面、不需取模，也不必考虑脱模斜度，所以杜绝了铸件的错箱和表面的飞边、毛刺等疵病。同时，还避免了像普通砂型铸造因造型操作不慎遗漏在铸型内的残砂所导致的砂眼缺陷。在设计铸件时可不考虑飞边、芯破裂、芯座和出砂问题。对铸件生产者来说没必要提供专用制芯、混砂、下芯、清砂工具，不会产生破芯、坏芯以及使用芯子形成的气孔或其他问题，内腔不用粘性砂还可减少铸件清理量，没有芯座、芯撑、芯骨、飞边等减少了铸件最后清理量。有资料介绍说清理间估许可减少费用 80%。

6. 冒口设计方便，金属液利用率高

在砂型铸造中很难设置的球形暗冒口在消失模铸造中可以很方便地安置在任何位置；同时，由于容易在砂箱中将塑料模串联起来实行群铸，因而，大大节约浇注系统中的液态金属。

7. 工艺技术容易掌握，生产管理方便

消失模铸造简化了模样制作工艺，简化了造型操作和工艺装备，使工艺技术容易掌握和普及。同时，使用单一型料，不用对造型材料进行日常性能检查；也不存在模样的保管和大批砂箱的堆放问题，因而车间的生产管理工作大大简化。

8. 投资少，见效快

由于生产工序少，各道工序操作简便，使工艺装备的品种和数量大为减少。消失模铸造不用庞大的砂处理设备，用振动工作台代替了各种类型的造型设备，造型材料可以完全回收使用，因此，投资少。因本法工艺简单、技术易掌握，即使是十分复杂的铸件，一般制模工和造型工均可方便地制得。就制模和造型操作来说，不仅可以不增添设备，还可省去不少工装和刀具。仅举制模操作为例，通常只需在原有的木工机械（车床、铣床等）上更换刀具就可切削泡沫塑料。因而，采用本法可以因陋就简地迅速投入生产；尤其对于制造试制产品、维修和急需铸件，其收效更快。

但消失模工艺也有一定的缺点，模具费工费时是显然的。简单的模具可以铸出型腔，但模具做好以后再修改不仅难度大而且成本高，内浇道的尺寸比传统铸造工艺的要大，因此清理起来较费工。为克服模样分解所产生的冷却效应，浇注系统尺寸偏大一些是必要的，但这

样在某些情况下就降低了工艺出品率。同时，振动紧实时模样会发生变形，从而导致铸件变形。最困难的问题是，铝合金铸件的冷隔和皱皮缺陷以及灰铁和球墨铸铁件中的碳缺陷，这些问题是由金属液中模样热解残留物造成的，或是由此而显著加重的。在黑色金属消失模铸件中粘砂也是一个重要的问题，这是由于振动紧实不当或热干扰原因引起的。

1.3 消失模铸造的适用性与经济性

1.3.1 消失模铸造的适用性

与其他的特种铸造法相比，消失模铸造的应用范围较为广泛。但是每种新的铸造方法都有一定的使用范围，只有在这个范围内使用，才可以充分发挥它的优势，得到满意的经济效果，消失模铸造方法也不例外。主要根据以下一些因素来考虑是否采用这种工艺。

1. 对铸型材质的适用性

理论上，凡是可以铸造的金属都可以采用消失模铸造法，在这一点上其适应性甚至超过砂型铸造。例如，普通砂型铸造不能用于钛合金铸造，但采用 SiC 砂的消失模铸造法可以用来浇注钛合金。从生产实践来看，目前用消失模铸造浇注过的铸件材质有普通铸钢、耐热合金钢、不锈钢、铁镍合金、普通铸铁、合金铸铁、球墨铸铁、铸铝合金和铸铜等。一般来说，铸造车间常用的金属材料都可用消失模铸造来浇注。

生产实践还证明，用该法浇注铸钢件、球墨铸铁件等熔点高的铸件材质时，表面无飞边毛刺，粘砂情况少，容易清理，铸件的表面质量明显优于砂型铸件。

2. 对铸件大小的适用性

消失模铸造生产的铸件，不像磁型铸造那样受磁间距大小的限制，只要磁极大小定了，砂箱大小也就定了。对消失模铸造来说，砂箱大小直接决定消失模铸件的大小，因此，消失模铸造对铸件大小的适用性要广泛得多，可以在同一振动工作台上放置不同尺寸的砂箱，因而可以十分方便地生产出各种大小的铸件。

据有关资料显示：到现在为止用消失模铸造浇注过的最大铸件为：铸铁件 5t；铸钢件 2t 以下；铸铝件 104kg。最大的铸铁薄壁件 1200mm × 800mm × 800mm，壁厚 10 ~ 12mm；铸铝薄壁件 600mm × 356mm × 303mm，壁厚 6mm。但是，由于泡沫塑料模样的强度低，加上埋型操作时填料不可能绝对均匀，模样容易变形，这就给浇注轮廓大、壁薄的铸件带来了一定困难。因此，从方便操作和现有工艺水平考虑，消失模铸造以浇注 2t（尤其是 500kg）以下，壁厚大于 4mm 的铸件为宜。

3. 对铸件生产批量的适用性

对铸件生产批量的适用性是从经济效果这个角度提出来的。消失模铸造每浇注一个铸件就要消耗一个泡沫塑料模样。因此，存在一个用消失模法生产铸件的最佳批量问题。最佳的生产批量必须考虑生产塑料模所需的模具成本，对于那些不需要模具（塑料模由机械加工成形）或模具费用很低的铸件，可以不考虑生产批量问题。但对于必须采用价格高昂模具或模具数量必须很多的铸件，计算一个最佳批量是必要的，以确保铸件生产成本不会太高。对于 5 件以下的铸件，尤其对 1 ~ 2 件的大型铸件，其经济效益最为显著。如果泡沫塑料模与熔模精密铸造、陶瓷型铸造及消失模铸造等结合使用，适于制造单件或小批量生产的、对精度

和表面粗糙度要求较高的中大型（20kg 以上）精密铸件。

4. 对铸件结构的适用性

消失模铸造不存在与分型和起模有关的铸件结构工艺性的问题。消失模铸造从工艺特点出发，特别适合于具有复杂结构（尤其是具有复杂内腔）、模样分型困难、造型困难的铸件。因此，消失模铸造为多品种、单件小批量及大批量铸件生产几何形状复杂的中小型铸件提供了新的生产途径。消失模铸造对铸件结构的适应性非常强，特别是那些用普通砂型铸造不好分型、不好起模、不好下芯的铸件，例如套筒类、缸体、螺旋桨、水泵叶轮、壳体等以及结构特别复杂、芯子特别多的铸件。国外一些著名的大汽车公司，已成功地应用消失模铸造工艺大批量生产复杂的汽车发动机缸体、缸盖、进气歧管等铝合金和铸铁件。

与此相反，一些形状简单的、用砂型铸造方法也可以生产出高质量的铸件，而且其生产效率、铸件成本比用消失模铸造方法生产低，这种情况下就不一定采用消失模铸造方法。另外，对于一些有狭窄的内腔、通道和夹层的情况，采用消失模铸造时必须谨慎，至少需要预先进行试验，才能投入正式生产。

1.3.2 消失模铸造的经济性

对于消失模铸造工艺的合理经济评估是非常困难和复杂的，正如其他传统铸造工艺一样，有一些类型的铸件非常适合于消失模工艺的生产，从而充分体现了其高度的经济价值，而另一些类型的铸件则可能并不适合这一工艺的应用。下面仅就运用不同铸造工艺从事于同种铸件大批量工业化生产前提下，对消失模铸造工艺性作一个经济性评估和分析。

1. 消失模铸造工艺与传统铸造工艺之间的经济性比较

对于同一种铸件应用不同的铸造工艺时，其经济价值优劣受到诸多因素的影响，而每种因素又由铸件的性能所确定。

表 1-2、表 1-3 对消失模工艺在应用于大规模工业化铸铁件与铸铝件生产时分别与传统的湿模砂造型工艺以及金属重力铸造工艺作了较详细的经济性比较。

表 1-2 消失模工艺与湿模砂型造型工艺生产铸铁件的经济性比较

工艺过程	利	弊
制模	简化工厂工程设计；取消砂子粘合剂的使用；取消砂芯；型砂可完全重复使用	增加了模样胶合面；模样只能一次性使用
浇注	节约了金属合金用量；取消球墨铸铁的冒口	增设了铸件冷却输送线
铸件清理	减少铸件表面清理工作量；消除铸件毛刺；对于球墨铸铁件无需切除冒口工序	增设专用工具进行模样簇解除体分离及去除内浇口
	无需砂芯涂料；降低了表面粗糙	易出现变形引起几何尺寸的缺陷；易出现亮碳缺陷（现用共聚酯树脂珠粒可解决）
机加工	减少铸件的机加工余量；减少铸件的机加工工序	
环境保护	降低了环境污染；简化环保措施	
模具工装	减少了模具传统制造设备量；维修简易；因无磨损而使模具拥有长期寿命	因设计复杂和周期长而引起初始模具成本高
投资	工厂设计水平高度灵活；总体具有经济规模	制模自动化程度降低

2. 典型铸件的产品成本分析比较

下面针对欧洲一些著名的汽车部件铸造公司在生产不同种类的铸铝件和铸铁件时可行性的成本分析比较。表 1-4 是一家意大利铸造公司 1984 年所作的消失模工艺生产汽车发动机铝合金进气歧管与其他铸造工艺之间的经济性比较可行性预测。

表 1-3 消失模工艺与重力铸造工艺生产铸铝件的经济性比较

工艺过程	利	弊
制模	简化工厂工程设计；取消砂芯；型砂可完全重复使用	增加了模样胶合面 模样只能一次性使用
浇注	节约了金属合金用量；取消设置冒口	延长了铸件冷却时间
铸件清理	无需去除冒口；减轻对铸件表面清理工作量；消除铸造毛刺	
铸件质量	无需砂芯涂料	易出现变形引起几何尺寸的缺陷
机加工	减少了模具传统制造设备量；维修简单；因无磨损而使模具拥有长期寿命	因设计复杂和周期长而引起初始模具成本高
投资	工厂设计水平高度灵活；总体具有经济规模	制模自动化程度降低

表 1-4 代表性铝进气歧管铸造生产经济性预测

工艺过程	消失模铸造	金属型重力铸造	砂型铸造
合金熔化及处理	84	100	100
砂芯/模型	120	100	159
浇注	52	100	114
清理	97	100	178
投资（工厂与环保）	103	100	148
模具工装（制造与维修保养）	60	100	120
总成本指数	85	100	120

表 1-5 是由同一意大利铸造公司 1994 年应用消失模工艺与金属型重力铸造同时生产铝进气歧管所作的实际经济性比较。

表 1-5 1.3L 轿车发动机铝进气歧管铸造实际生产的经济性分析

成本内容	消失模铸造	金属型重力铸造
可变成本		
合金材料	100	115
人力	100	204
能源	100	99
其他可变成本	100	63
模具维修	100	394
模具折旧	100	173
总的可变成本	100	127

(续)

成本内容	消失模铸造	金属型重力铸造
固定成本		
专项折旧	100	91
总体折旧	100	100
总费用	100	100
总成本	100	117

表 1-6 是最近完成的消失模工艺生产发动机铝缸盖与其他铸造工艺的经济性比较可行性预测。

图 1-1 是由法国铸造公司运用两种不同铸造工艺实际生产汽车发动机灰铸铁缸体产品所作的详细实际经济性比较。

表 1-6 典型铝缸盖铸造生产经济性预测

工艺过程	消失模铸造	金属型重力铸造
合金熔化及处理	90	100
砂型/模样	75	100
浇注	60	100
清理	91	100
投资（工厂与环保）	100	100
模具工装（制造和维修）	55	100
总成本	76	100

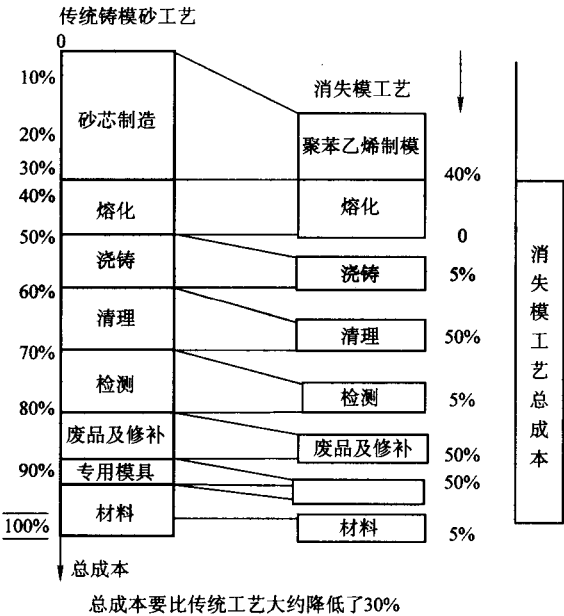


图 1-1 灰铸铁缸体实际生产经济性比较

1.4 消失模铸造的发展状况

1. 国外消失模铸造发展状况

美国人 H.F. 斯洛依 (Shroyer) 于 1956 年发明了实型铸造法 (Full Moulding Casting Process), 并于 1958 年获得专利。早期较成功的艺术铸件是麻省理工学院的青铜铸件——柏伽索斯天马神像 (150g) 和球墨铸铁钟架 (3500kg)。虽然 Shroyer 发明的目的是生产工艺品, 但该方法还是受到了铸造业的高度重视, 经过几年应用研究, 西德亚琛工业大学教授 A. 维特莫赛与两家塑料公司及几家铸造厂于 1961 年推出了用于普通铸件的实型铸造技术并开始工业生产。由此在英、美、法、日等发达国家引发了实型铸造热潮, 如: 1963 年美国用 F 法生产的铸件达 1.2 万 t, 单件最大重 15t。到 20 世纪 60 年代中期, 西方国家的 150 余个铸造企业组织了“国际实型铸造协会”, 年产达 30 万件以上。到 70 年代, “国际实型铸造协会”发展到 200 家以上的企业, 仅美国 1970 年用 F 法生产了 40 万 t 铸件。

采用无粘结剂干砂生产铸件的技术由德国的 H. Nellen 和美国的 T.R. Smith 于 1964 年申请了专利。由于无粘结剂干砂在浇注过程中经常发生坍塌的现象, 所以在实型铸造工艺基础上, 美国一项专利提出了用磁场作为“粘结剂”, “粘结”粒状铁磁性材料的造型方法。德国的 R. 霍夫曼发展了美国专利, 提出了“磁性材料造型的方法和设备的专利”, 即磁型铸造, 简称 M 法。图 1-2 为磁型铸造原理示意图。随后, 德国 A. 维特莫赛于 1968 年 GIFA 展览会上、在第 35 届和第 38 届世界铸造年会上公布了 M 法工艺及设备。至此, 实型铸造在世界各国掀起了一个应用 M 法的热潮。1973~1974 年实型铸造在国内外铸造生产上还不能稳定应用于单件生产的大件, 但到 1973 年第 40 届铸造年会上, BBC 公司就展出了 M 法铸造线, 1974 年 GIFA 展览会上又展出了 BBC 公司带有自动浇注装置的大型 M 法铸造线。

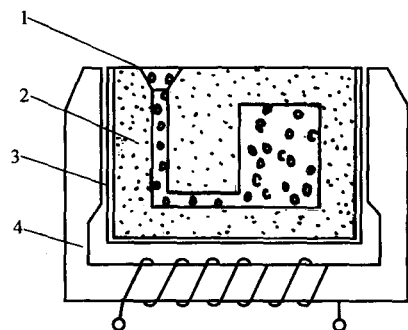


图 1-2 磁型铸造原理示意图

1—表面覆有耐火涂层的泡沫塑料制模
2—粒状磁性材料 3—铁质砂箱 4—磁型机

然而, 因磁型铸造自身工艺的局限——磁型造型机限制了产品的大小和形状, 以及制模和模样的装配组合与上涂料等工序较复杂, 难以实现自动化生产。再则, 泡沫塑料模热分解产物的黑烟所造成的环境污染, 以及铸钢件的“渗碳”、“气孔”和铸铁件的“皱皮”等缺陷尚未彻底解决。这些问题在生产的扩大应用中愈来愈明显地暴露出来。

为了克服上述问题, 有人提出了在浇注时对铸型抽气或抽真空的措施。它一方面避免了浇注过程中干砂的坍塌, 另一方面有利于浇注过程中泡沫塑料模样分解物的排除。在此同时, 1969 年日本秋田株式会社和长野县工业试验所发明了真空密封造型法, 简称“V”法。“V”法与传统铸造法制备空型腔是一致的。它的基本原理是在特制的砂箱内填入无水无粘结剂的干石英砂, 用塑料薄膜将砂箱密封后抽成真空, 借助铸型内外的压力差使型砂紧实和成形。其工艺过程如图 1-3 所示, 主要工艺程序如下:

(1) 根据铸件的结构特点, 制造带有抽气箱和抽气孔的模板, 以及特殊结构箱。

(2) 将经烘烤呈塑性状态的塑料薄膜覆盖在模板上, 开动真空泵构成真空, 使塑料薄膜紧贴附在模板上并让其成形, 如图 1-3 所示。

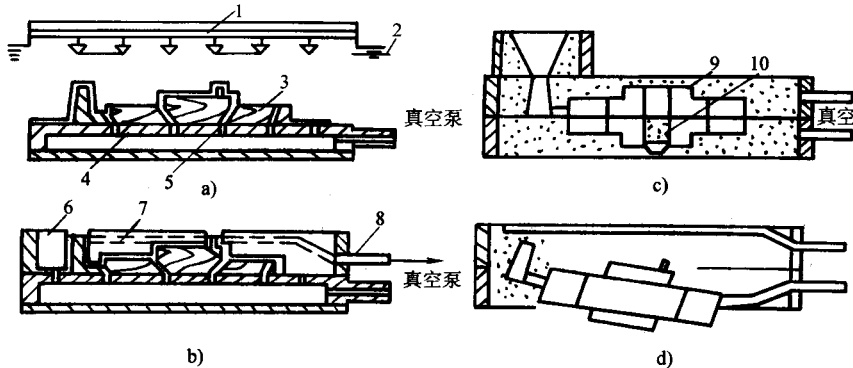


图 1-3 真空密封造型工艺过程示意图

a) 覆膜成形 b) 填砂、抽真空紧实 c) 下芯、合箱、浇注 d) 去除真空, 落砂, 取铸件

1—发热元件 2—塑料薄膜在烘烤位置 3—塑料薄膜覆盖成形 4—抽气箱 5—抽气孔

6—砂箱 7—密封塑料薄膜 8—过滤抽气管 9—通气道 10—砂芯

(3) 将带有过滤抽气管的特制砂箱放在已覆盖塑料薄膜的模板上。

(4) 往砂箱里填入没有粘结剂及附加物的干石英砂, 并微振紧实、刮平。

(5) 在砂型上面安放密封塑料薄膜, 打开抽气阀门抽去型砂中的空气, 使铸型内外存在 $2.94 \sim 3.92 \text{ kPa}$ ($300 \sim 400 \text{ mm}$ 汞柱) 的压力差。在压力差的作用下, 铸型具有较高的硬度, 型砂硬度计的读数可达 95 左右。

(6) 去除模板内的真空, 使它与大气相通, 这样原来覆盖在模板上的塑料薄膜就均匀地贴附在砂型表面上, 然后起模, 但铸型内要继续抽真空, 直到铸件全部凝固为止。

(7) 依照上述方法制造另一半型。

(8) 下芯、合箱、浇注。在浇注过程中塑料薄膜逐渐消失, 但铸型仍能保持原状而不溃散。

(9) 待金属全部凝固后, 停止对铸型抽真空, 使铸型内的压力逐渐与铸型外的压力相近, 铸型就自行溃散, 可方便地取出铸件。

与其他的造型方法比较, 真空密封造型方法具有以下的特点:

(1) 铸件的尺寸精度高和表面粗糙度值较低。由于型砂与模样之间有一层塑料薄膜, 模样的脱模斜度小, 起模时不必敲击模样就能方便地取出。所用的型砂颗粒细, 铸型的硬度高。因此, 铸件的表面较光洁, 轮廓清晰, 尺寸精度较高, 毛刺少。

(2) 工序简化, 设备、材料省。型砂中可不必添加粘结剂、水分及附加物, 简化了型砂处理工作, 铸件的落砂清理方便, 旧砂只要过筛去除杂质、冷却后去除细粉即可回用。型砂的损耗小, 回用率可达 95% 以上。造型时基本上不必捣砂, 只要适当微振即可满足要求。一般说来, 这种造型方法所用的设备比抛砂造型设备便宜 30% 左右, 设备所需的动力约为湿型设备的 60%, 可减少劳动力。

(3) 金属利用率高。浇注“V”法铸型, 金属的流动性较好, 充填能力强, 能够铸出 3mm 左右的薄壁件, 可以减薄铸件的设计壁厚; 铸型硬度高、冷却慢, 有利于金属液补缩铸件, 可以减小冒口尺寸, 提高工艺出品率。