

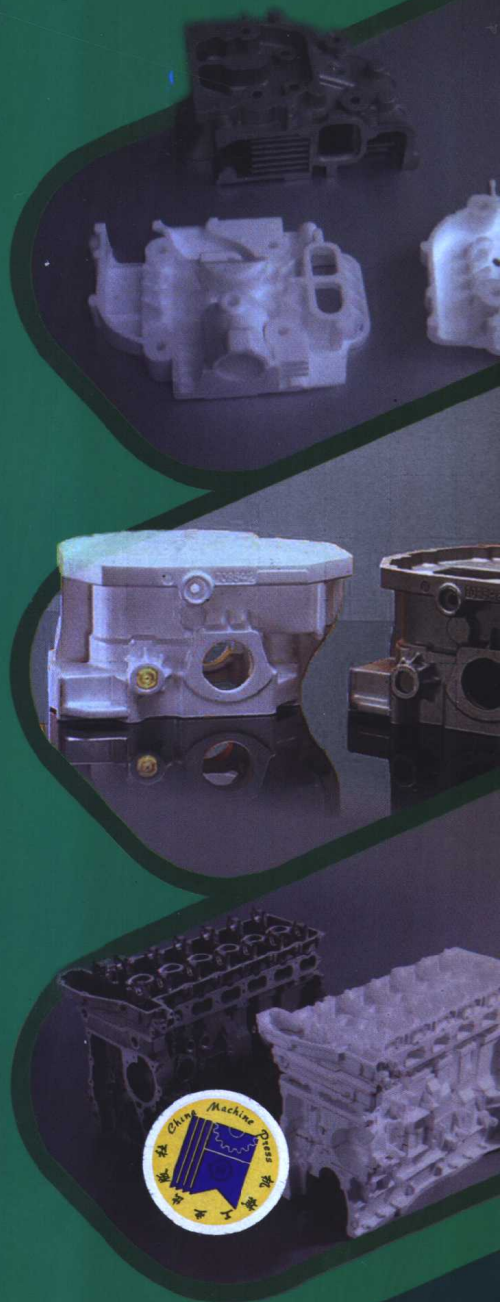
机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目


先/进/铸/造/技/术/丛/书

丛书主编 张武城

消失模 铸造技术

黄天佑 黄乃瑜 吕志刚 编著
姜不居 主审



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

先进铸造技术丛书

丛书主编 张武城

消失模铸造技术

黄天佑 黄乃瑜 吕志刚 编著
姜不居 主审



机械工业出版社

本书系《先进铸造技术丛书》之一，介绍消失模铸造的发展趋势以及制模、涂料、造型、浇注、车间布置等关键技术，使读者对消失模铸造技术有一个正确、全面、较为深入的了解；同时，本书还向读者提供了应用这种工艺的典型实例。本书是作者近年来的研究成果总结，资料详尽、信息新，可供广大铸造企业和研究单位的研究人员、工程技术人员、管理人员阅读，也可作为高等院校的大学生、研究生的教学参考书以及各类铸造技术培训班教材。

图书在版编目（CIP）数据

消失模铸造技术/黄天佑等编著. —北京：机械工业出版社，2004.4

（先进铸造技术丛书）

ISBN 7-111-14258-6

I. 消… II. 黄… III. 模具，消失模—铸造

IV. TG241

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 025471 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：邝 鸥 版式设计：冉晓华

责任校对：樊钟英 封面设计：鞠 杨 责任印制：李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·8.875 印张·259 千字

定价：18.00 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）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

丛书编委会

丛书主编	张武城			
丛书副主编	李传栻			
丛书顾问	柳百成	陈蕴博		
丛书编委	黄天佑	姜不居	李传栻	毛卫民
	谢成木	熊守美	颜永年	张伯明
	张武城	张乃蕴		
丛书策划	邝 鸥			

序

铸造是机械工业重要的基础工艺与技术，广泛地应用于机械制造、航空航天、能源、交通、化工、建筑以及社会生活的各个领域，并随着各相关技术领域的发展自身不断更新、发展和完善，是我们生产和生活中时时不可或缺的一项重要工艺技术。

今天，铸造作为一种传统工艺与技术又面临着新的挑战。高速发展的社会，对铸造的精密性、质量与可靠性、经济、环保等要求越来越高。铸造已从单一的加工工艺发展成为新兴的综合性的先进工艺技术。它涉及到工艺方法、设备及工装、成型、生产过程的自动化与机械化、材料、环保等众多领域。不同学科之间的交叉、渗透及融合，高新技术对传统技术的不断影响，是当代科技发展的重要趋势。

为了解决广大铸造科技人员迫切需要了解和掌握铸造领域各学科的国内外先进技术及发展趋势的要求，以便指导他们的生产、科研及教学工作，北京机械工程学会组织了铸造行业有较快进步和较新发展的数个重要领域中有突出贡献的著名专家、学者编写、出版了这套先进铸造技术丛书。同时，邀请我国铸造、材料业界德高望重的著名专家柳百成院士、陈蕴博院士作为丛书的编写顾问。

本丛书旨在全面、系统地介绍国内外先进铸造技术的发展趋势，对我国铸造技术的发展起指导作用。本丛书是高层次的普及型丛书，深层次地介绍铸造相关领域的高新技术和基本规律，兼顾知识性和实用性，面向广大铸造工作者、研究人员、高等院校师生及相关领域技术人员等。

本丛书的特点是突出“高、新”二字，有较宽的知识覆盖面，注意相关学科的相互渗透，博采国际、国内最新研究和发展成果。

本丛书愿为广大铸造技术人员适应国际大环境、大市场的要求，使我国铸造界迅速加入国际经济市场，从铸造大国向铸造强国迈进的过程中作出重要贡献。

北京市发展和改革委员会及机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目对本丛书的出版提供了经济支持，中国机械工程学会副理事长宋天虎对丛书的出版给予了关心和支持，在此一并表示衷心的感谢。

丛书主编 张武城

前 言

消失模铸造技术的发明至今已有将近半个世纪，但是，真正在世界范围铸造生产中的应用是从 20 世纪 80 年代开始。铸造工作者花了大量的人力、资金进行了不断的研究和改进，使这个工艺得到不断完善。进入 21 世纪，消失模技术已从技术革新期进入成长期，它的应用范围正在不断扩大，在美国、德国、日本、意大利等工业发达国家已将消失模铸造技术用于汽车铝铸件的大批量生产。在我国消失模铸件的产量近五年来也有了迅速的增长。

消失模铸造技术以铸件的尺寸精度高、表面光洁、少污染等突出优点，较之传统的砂型铸造工艺具有强大的竞争力，所以，从它一出现就为广大铸造工作者和铸造企业所关注，被誉为“21 世纪的铸造技术”、“绿色铸造技术”，相信在新的世纪里，消失模铸造技术将越来越显示出它的强大生命力，应用范围（不同材质、不同类型的铸件）将不断扩大，消失模铸件产量将不断增加。但是，和其他新铸造工艺的发展过程一样，消失模铸造技术目前也有一些需要进一步研究和探索的课题，从发泡材料到发泡成型工艺、模具，从液态金属的充型规律到缺陷的产生原因等等，都需要在这种新工艺的应用过程中逐渐掌握它们的自身特点，变“盲目”为“自觉”，尽快走向消失模铸造技术的成熟期。

编写本书的目的在于向广大读者介绍消失模铸造技术的发展趋势以及它的一些关键技术，使读者对这种技术有一个正确、全面、较为深入的了解；同时，本书还向读者提供了一些应用这种工艺的典型实例，为准备应用消失模工艺的企业提供一个决策的依据和借鉴，少走弯路。

本书的许多内容是作者近年来的研究成果总结，所以对相关问题的分析比较透彻，具有较高的理论价值和学术水平。作者对消失模铸造技术国内外的发展了解全面、深入，收集了大量的有关资料、信

息，因此书中准确地反映了国内外消失模铸造技术发展的最新动态。

本书的第1、4、5、8、10章由黄天佑编写，第2、6、9章由黄乃瑜编写，第3、7章由吕志刚编写。全书由姜不居审稿。

本书可供广大铸造企业和研究单位的研究人员、工程技术人员、管理人员使用，也可作为高等院校的大学生、研究生的教学参考书以及各类铸造技术培训班教材。

编者

2004年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 消失模铸造工艺特点	3
1.3 国内外消失模铸造技术发展现状	9
1.3.1 国外消失模铸造技术发展状况	9
1.3.2 我国消失模铸造技术发展情况	12
1.4 我国消失模铸造展望	13
参考文献	16
第 2 章 模样的制造	17
2.1 概述	17
2.1.1 模样的重要性	17
2.1.2 对模样的要求	17
2.1.3 模样生产的工艺流程	18
2.2 模样材料	18
2.2.1 可发泡聚苯乙烯 (EPS)	19
2.2.2 可发泡聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 和 共聚料 (STMMMA)	29
2.3 预发泡	34
2.3.1 预发泡的目的	34
2.3.2 预发泡设备和发泡工艺	36
2.3.3 预发珠粒的熟化处理	41
2.4 发泡成型	42
2.4.1 发泡成型的目的及工艺过程	42
2.4.2 发泡成型设备	42

2.4.3	发泡模具	48
2.4.4	发泡成型工艺过程控制	54
2.5	模样的熟化处理	62
2.6	模样的分片及粘接	63
2.6.1	泡沫塑料模样的分片	63
2.6.2	模片的粘接(胶合)设计	65
2.6.3	热粘接模具	69
2.6.4	冷粘合模具	73
	参考文献	76
第3章	涂料	77
3.1	消失模涂料的特点及基本组成	77
3.1.1	消失模涂料的特点	77
3.1.2	消失模涂料的基本组成	78
3.1.3	消失模铸造用商品涂料	85
3.2	消失模涂料性能测试及控制	87
3.2.1	消失模涂料透气性测试	87
3.2.2	提高涂料透气性的方法	92
3.2.3	涂料强度测试	94
3.2.4	消失模涂料的流变特性与工艺性能	95
3.2.5	涂料工艺性能测试	99
3.3	涂料的制备与使用	100
3.3.1	涂料的制备	100
3.3.2	涂料的涂敷	102
	参考文献	109
第4章	填砂、造型与浇注	111
4.1	原砂的选择	111
4.2	填砂与振动紧实	113
4.2.1	振动方式与振动参数的选择	113
4.2.2	砂箱	117
4.2.3	模样埋入与填砂	120
4.3	真空系统	125
4.3.1	真空泵	125

4.3.2 真空系统布置	127
4.4 树脂自硬砂造型	128
4.5 浇注工艺	130
4.5.1 浇注速度	130
4.5.2 浇注温度	131
4.5.3 浇注方法	131
4.5.4 浇注过程中的反喷现象	132
参考文献	133
第 5 章 落砂清理及砂处理系统	134
5.1 落砂	134
5.2 铸件清理	134
5.3 砂处理系统	136
5.3.1 干砂消失模铸造的砂处理系统	136
5.3.2 树脂自硬砂的旧砂再生系统	140
参考文献	143
第 6 章 金属液的充型过程	144
6.1 概述	144
6.2 消失模的热解产物及其传输	146
6.2.1 金属液流动前沿的温度	146
6.2.2 金属液流动前沿 EPS 热解产物成分分析	147
6.2.3 金属液流动前沿气隙中气压的测定	152
6.2.4 EPS 热解产物的传输	154
6.2.5 EPMMA 和共聚料 STMMA 的热解特性	155
6.2.6 热解产物对铸件质量的影响	161
6.3 金属液的充填特性	163
6.3.1 研究金属液充填特性的常用方法	163
6.3.2 金属液充型前沿形态的一般规律	167
6.3.3 金属液的充型速度及其影响因素	170
6.3.4 金属液充型过程中的成形条件	175
6.4 金属液的凝固特性	177
6.4.1 磨球在三种不同工艺条件下的凝固温度变化曲线、 金相组织及性能	177

6.4.2	消失模铸造的凝固特性	180
6.4.3	消除真空消失模铸造冷却速度慢带来影响的措施	180
	参考文献	181
第7章	铸造工艺设计	183
7.1	消失模铸造工艺设计特点	183
7.2	浇注系统设计	184
7.2.1	浇注系统设计的原则	184
7.2.2	浇注系统类型的选择	186
7.2.3	浇注方式	187
7.2.4	浇注系统组元计算	188
7.3	冒口设计	189
7.3.1	冒口设计的一般原则	189
7.3.2	冒口的设计与计算	190
7.3.3	球墨铸铁消失模铸件的无冒口设计	191
7.4	其他工艺参数	193
7.4.1	最小壁厚和最小铸出孔	193
7.4.2	铸造收缩率	194
7.4.3	机械加工余量	194
7.5	计算机辅助工艺设计	194
7.5.1	零件的前处理	195
7.5.2	工艺参数选择及砂箱布置	195
7.5.3	铸件冒口设计	196
7.5.4	浇注系统设计	196
	参考文献	198
第8章	消失模铸造缺陷及其防止	199
8.1	铸钢件增碳	199
8.1.1	铸钢件增碳的产生及其表现形式	199
8.1.2	渗碳的机理	202
8.1.3	影响渗碳的因素	203
8.1.4	防止增碳缺陷的方法	207
8.2	铸铁件表面皱皮	207
8.2.1	皱皮缺陷及其产生机理	208

8.2.2	影响皱皮缺陷的因素	209
8.2.3	消除铸铁皱皮缺陷的措施	211
8.3	铸铁件炭黑	213
8.3.1	炭黑形成的机理	213
8.3.2	影响炭黑形成的主要因素及相应工艺措施	215
8.4	粘砂	216
8.4.1	产生粘砂的原因和机理	216
8.4.2	影响粘砂的主要因素	217
8.4.3	防止粘砂的工艺措施	219
8.5	塌箱	219
8.5.1	产生塌箱的原因	219
8.5.2	防止塌箱的工艺措施	220
8.6	节瘤	220
8.6.1	产生节瘤的原因	220
8.6.2	防止节瘤的工艺措施	221
8.7	针刺	221
8.8	夹杂状冷隔	221
8.9	气孔和夹渣	223
8.10	铸件变形	224
8.11	铸件表面的泡沫塑料珠粒网纹	225
	参考文献	226
第9章	消失模铸造车间的环境保护	227
9.1	消失模铸造车间环境状况的评估	227
9.1.1	消失模铸造车间环境状况的优势和劣势	227
9.1.2	消失模铸造车间废气浓度的测定	228
9.2	废气处理方法及设备	230
9.2.1	废气处理方法	230
9.2.2	催化燃烧净化设备	231
	参考文献	234
第10章	典型铸件生产工艺及车间布置	235
10.1	消失模铸造球墨铸铁管件工艺	235
10.1.1	主要设备及材料	235

10.1.2 主要缺陷及防止措施	238
10.2 变速箱箱体铸造工艺	240
10.3 小型灰铸铁箱体铸件	243
10.4 高锰钢弯管铸造工艺	245
10.5 电机机座	247
10.6 CA488 发动机进气歧管	248
10.7 球铁脚踏板	252
10.8 磨球	256
10.9 大型装载机变速箱	257
10.10 消失模铸造车间典型布置	259
10.10.1 小批量生产的简易车间	259
10.10.2 简单流水线	260
10.10.3 大批量生产流水线	264
参考文献	266

第1章 绪 论

1.1 概述

1958年,美国的H.F.Shroyer发明了用可发性泡沫塑料模样制造金属铸件的技术并取得了专利^[1](专利号USP2830343),最初所用的模样是采用聚苯乙烯(EPS)板材加工制成的,采用粘土砂造型(见图1-1),用来生产艺术品铸件。采用这种方法,造型后泡沫塑料模样

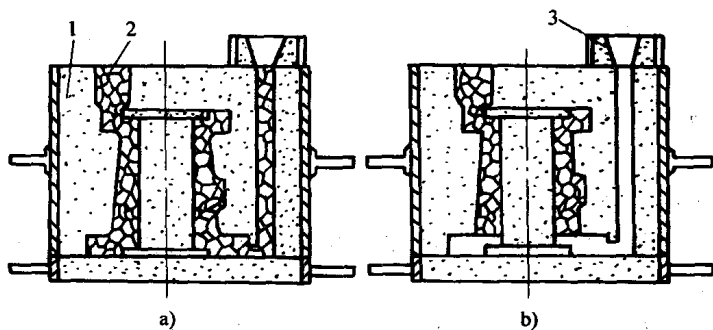


图 1-1 用泡沫塑料模样和含粘结剂的砂型浇注铸件

a) 造型 b) 浇注

1—泡沫塑料模样 2—含粘结剂的砂型 3—浇口

不必取出,而是在浇入液态金属后燃烧、分解而“让出”空间充满金属液,凝固后形成铸件。1961年德国的Grunzweig和Hartmann公司购买了这一专利加以开发,并在1962年在工业上得到应用。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^[2]。由于无粘结剂的干砂在浇注过程中经常发生坍塌的现象,所以1967年德国的A.Wittemoser采用了可以被磁化的铁丸来代替硅砂作为造型材料,用磁力场作为“粘结剂”,这就是所谓

“磁型铸造”（图 1-2）。然而，由于磁型铸造的造型机限制了产品的大小和复杂程度，而且工序复杂，难于实现大批量自动化生产。1971 年，日本的 Nagano 发明了 V 法（真空铸造法），它采用无粘结剂的干砂作为造型材料，用抽真空的办法固定砂型来形成型腔浇注铸件。受此方法的启发，今天的消失模铸造在很多地方也采用抽真空的办法来固定砂型。它一方面避免了浇注过程中干砂的坍塌，另一方面也有利于浇注过程中泡沫塑料模样分解物的排除。

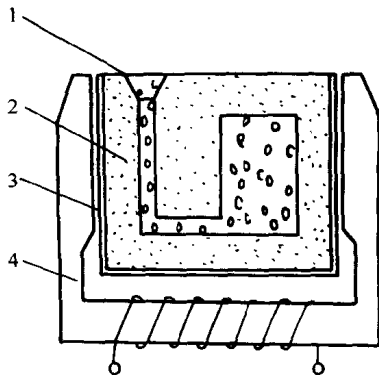


图 1-2 磁型铸造原理示意图

- 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

在 1980 年以前使用无粘结剂干砂工艺必须得到美国“实型铸造工艺公司（Full Mold Process, Inc）”的批准。在此以后，该专利就无效了。因此，近 20 年来消失模铸造技术在全世界范围内得到了迅速的发展。

有人认为消失模铸造技术的发展经历了三个阶段：^{[2][3]}

第一阶段：采用泡沫塑料模样和粘土砂，用机器造型（例如压实、震击）。

第二阶段：采用泡沫塑料模样和化学粘结剂（有机或无机）造型。

第三阶段：采用消失模模样和无粘结剂的粒状造型材料，通过物理的办法（真空或磁场）紧实。

消失模铸造的英文缩写是 LFC（Lost Foam Casting）或 EPC（Expandable Pattern Casting），也称实型铸造，英文缩写是 FM（Full Mold Casting）。为了减少由于不同名词造成的混乱，本书采用“消失模铸造”（LFC—Lost Foam Casting）作为该工艺的名称。

由于世界上采用磁丸作为消失模铸造造型材料的铸造方法已经很少见了，目前主要是采用干砂，大件采用含粘结剂（如粘土、树脂、水玻璃等）的型砂，所以，本书以介绍采用无粘结剂的干砂作为造型

材料的消失模铸造技术为主，而以采用含粘结剂的型砂造型的消失模技术为辅。V法（真空铸造法）虽然也采用干砂和抽真空的方法造型，但它属于“空腔造型”（同传统的粘土砂造型），并无泡沫塑料模样的“消失”过程，所用本书对它不作介绍。

1.2 消失模铸造工艺特点

消失模铸造是把涂有耐火材料涂层的泡沫塑料模样放入砂箱，模样四周用干砂充填紧实，浇注时高温金属液使其热解“消失”，并占据泡沫塑料模所退出的空间而最终获得铸件的铸造工艺（见图1-3）。消失模工艺流程见图1-4。

EPC工艺使用可发泡聚苯乙烯（EPS - Expandable Polystyrene）或可发泡聚甲基丙烯酸甲酯（EPMMA - Expandable Polymethyl Methacrylate）制成的模样，每一铸件浇注后模样被金属液熔化、燃烧消耗掉。但当采用含粘结剂的型砂来造型时，例如用树脂自硬砂、酯硬化水玻璃自硬砂、吹CO₂硬化水玻璃砂或粘土砂时，也可以在砂型紧实硬化后，在浇注前将模样从型砂中取出，然后再合箱浇注。大型铸件，如汽车覆盖件冲模、机床床身等现在仍然采用这种生产方式。

人们习惯上把消失模铸造工艺的过程分为“白区”（white side）和“黑区”（black side）两部分。白区指的是白色泡沫塑料模样的制作过程，从预发泡、发泡成形到模样的烘干、粘接（包括模片和浇注系统）。而黑区指的是上涂料以及再烘干、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、退火等等工序。

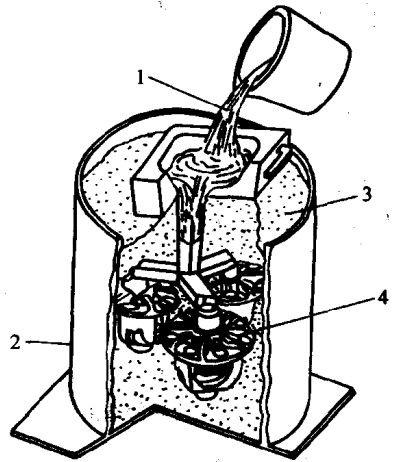


图 1-3 消失模铸造原理

1—金属液 2—砂箱

3—发泡聚苯乙烯 4—干燥砂