

# 消失模铸造原理 及质量控制

■ 黄乃瑜 叶升平 樊自田 编著

*XIAOSHIMO*

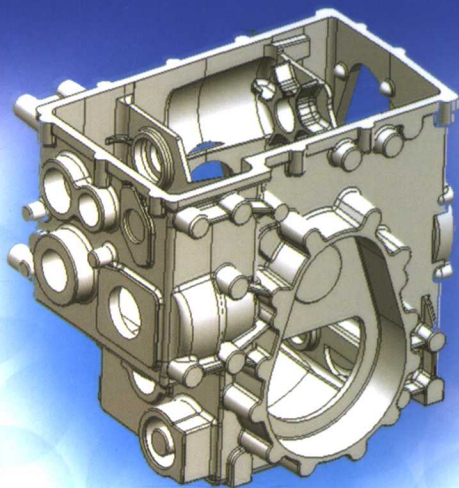
*ZHUZAO*

*YUANLI*

*JI*

*ZHILIANG*

*KONGZHI*



华中科技大学出版社  
<http://press.hust.edu.cn>

# 消失模铸造原理 及质量控制

黄乃瑜 叶升平 樊自田 编著

华中科技大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

消失模铸造原理及质量控制/黄乃瑜 叶升平 樊自田 编著  
武汉:华中科技大学出版社,2004年4月

ISBN 7-5609-3130-8

I. 消…

II. ①黄… ②叶… ③樊…

III. 消失模-铸造-理论

IV. TG21

**消失模铸造原理及质量控制** 黄乃瑜 叶升平 樊自田 编著

策划编辑:徐正达

封面设计:潘群

责任编辑:徐正达

责任校对:朱霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:850×1168 1/32 印张:10.625 插页:2 字数:248 000

版次:2004年4月第1版 印次:2005年10月第2次印刷 定价:30.00元

ISBN 7-5609-3130-8/TG·57

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



黄乃瑜，1937年生，1960年毕业于华中工学院铸造专业，1981—1983年赴美国俄亥俄州立大学研修，1989年晋升华中理工大学教授，1993年任博士生导师，曾任华中理工大学教务长，现任中国机械工程学会铸造分会副理事长、中国铸造协会实型铸造专业委员会副主任。

长期从事铸件精确成形和造型材料方面的教学和研究工作，获国家教学研究成果奖和省部级科技进步奖7项，获国家发明专利5项，在国内外重要学术期刊上发表论文200余篇，主编和参编著作5部，已培养博士和硕士研究生20余名。



叶升平，教授，生于1957年2月，1975—1977年在武昌车辆工厂当铸造工人，1978年考入华中工学院铸造专业，1984年在华中理工大学获硕士学位，1985年至今在华中科技大学材料科学与工程学院从事教学和科研工作，现任中国铸造学会理事及消失模铸造专业委员会主任，《特种铸造及有色合金》杂志编委。

专业领域为特种铸造工艺及材料、模具设计和快速制造，目前主要从事消失模铸造工艺及材料的研究，创办中国消失模铸造网站www.lfprocess，作为主要完成人，获省部级科技进步二等奖3项，国家发明专利3项。



樊自田，1962年10月生，华中科技大学材料科学与工程学院教授，副系主任。分别于1988年6月和1999年6月获华中理工大学硕士和博士学位。

长期从事铸造工艺、造型材料及装备的研究、教学与应用开发工作，主要研究方向为水玻璃砂粘结剂改性及旧砂再生技术，薄壁复杂镁（铝）合金铸件的精确成形技术，金属零件的快速制造技术，在国内核心期刊和国际会议上发表了研究论文50余篇，获发明及实用新型专利5项，省级科技进步三等奖1项，出版教材及专著4部。

***XIAOSHIMO***

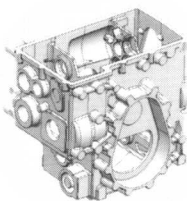
***ZHUZAO***

***YUANLI***

***JI***

***ZHILIANG***

***KONGZHI***



## 内 容 提 要

本书是作者和他们的同事、学生十余年来从事消失模铸造技术研究开发和推广应用的总结，是我国当代消失模技术最新发展水平的反映。本书对模具发泡成形和泡沫板材数控加工成形两种消失模铸造工艺的制模、涂料配制与干燥、造型紧实、金属液充型与铸件凝固等工艺过程的控制进行了系统、深入的论述，对模具设计和制造、车间设计要点、清洁化生产作了全面的介绍，并结合废品分析和铸件质量控制的论述，希望告诉读者消失模铸造“是什么”、“如何做”、“为什么”和“如何才能做好”。

本书列举了涂料等典型配方、典型零件的废品分析、典型车间平面布置等，图文并茂，深入浅出，通俗易懂，适合铸造行业研究人员、工程技术人员、工人、大学生和研究生阅读。

## 序 言 一

本书是作者们十余年来从事消失模铸造新技术研究开发和推广应用的总结,是我国消失模铸造技术发展最新水平的反映,它在铸件成形原理和缺陷分析、模具CAD/CAM和快速制造、新的涂料测试方法和仪器、车间环境卫生和尾气净化、基于数控基础上的FMC法等诸多方面都有创新性成果和精辟论述。特别的是,作者深入浅出地结合消失模铸造工艺过程的介绍,着重论述了工艺过程参数和铸件质量控制原理,使本书在理论与实践结合深度上提高到一个新的水平,对消失模铸造技术的进一步发展具有重要的参考价值。我认为它是本技术领域内近年来出版的一本有水平、有深度的专著,很高兴地为本书作序并向同行们推荐这本好书。

中国科学院院士  
西北工业大学、上海交通大学教授



2004. 2

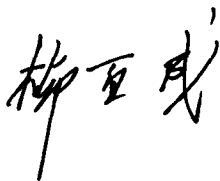


## 序 言 二

消失模铸造技术是新一代的精确铸造成形技术,很有发展前途。华中科技大学黄乃瑜教授和他的课题组十余年来坚持消失模铸造技术的开发研究和推广应用,做出了可喜的成绩。他们在消失模铸造成形理论、铸件的缺陷及对策、模具设计和制造、车间环境保护等诸多方面取得了系统的、创造性的成果,对推动我国消失模铸造技术的发展做出了重要贡献。

本书理论联系实际,总结了多年来的实践经验,同时也反映了国内外当代消失模技术的最新水平,对推动我国消失模铸造技术的发展很有参考价值。我很乐意向铸造界的同行们推荐这本好书。

中国工程院院士  
清华大学教授



2004.2

## 前 言

干砂负压消失模铸造技术(简称 LFC)是一项精确成形的铸造新技术,被铸造界的权威人士称为“代表 21 世纪的铸造新技术”,“使铸造技术在与其他成形方法和替代材料的竞争中立于不败之地的一张王牌”。

LFC 在国外大规模的工业应用已有二十多年的历史,技术上逐步趋向成熟,生产规模和应用范围日益扩大。而国内十多年前才着手研究,目前还处于技术开发的初级阶段,生产应用规模还比较小,铸件的质量、品种和复杂程度与国际先进水平相比还有较大的差距。但从 21 世纪我国铸造业发展的需要和技术发展的总趋势来看,LFC 符合近无余量、精确成形、环境保护及可持续发展的大方向,同时,能适应更加个性化的市场需要,为产品的设计、制造提供了更大的自由度,因此,它有着广阔的发展前景。华中科技大学十余年来,得到国家基金和湖北省重点科技项目的资助,将 LFC 技术基础研究与高层次人才的培养紧密结合,在 LFC 的成形原理、铸件缺陷、工艺试制、模具设计及清洁生产等方面取得了一系列成果:获 1999 年湖北省科技进步二等奖,在国家核心期刊和国际会议上发表论文一百多篇,培养出博士生、硕士生二十余人,其成果列入国家“九五”新技术成果重点推广项目,研制成功新的测试仪器和方法 3 种,年产千吨以上的 LFC 生产线 7 条,试制成功中等以上复杂程度的钢、铁、铝合金铸件一百多种(包括出口美国和日本的铸件数种),主办或参与主讲过全国 LFC 新技术推广讲习班十余次。这些工作为撰写本书奠定了基础。

本书取名为《消失模铸造原理及质量控制》,是因为作者对工艺控制原理和质量控制下了很大的工夫,编入了大量有关实际的

内容。譬如,2.6节专门介绍模样质量控制,引入了泡沫塑料主要性能指标的检测方法;第3章增加了涂料性能检测方法、常见缺陷及防止措施;第6章对铸钢件常见的增碳缺陷,铸铁件常见的皱皮缺陷,铸铝件常见的针孔、缩松缺陷以及铸型的坍塌缺陷,从形成原理到缺陷防止措施作了深入论述,对其他常见缺陷也作了介绍;其他各章也十分注意影响铸件质量的工艺参数控制。作者不仅希望能介绍清楚消失模铸造“是什么”和“如何做”,而且强调“为什么”和“如何做好”。

本书具有以下特点:

1) 新颖性和先进性。本书取材于学科前沿的最新研究和应用成果,既介绍自己新近的研究成果和体会,又介绍国内外的最新技术,信息量大,在内容取舍上注意反映当今国内外 LFC 技术的最新水平。

2) 理论与实际结合。作者是多年来一直在 LFC 学科前沿从事研究和教学并参与推广应用的教师,基础理论研究有一定深度,实际应用有直接的经验体会。

3) 注意相关学科交叉渗透。本书力求从新材料、先进制造技术、化学化工、计算机应用等多方面论述问题,揭示事物的内在联系和本质。

4) 适用性广。本书以工艺过程为线索,将成形原理、缺陷分析等贯穿其中,同时举出了若干应用实例,既适用于高等院校师生和研究机关的科研人员阅读,又能满足工厂现场工程技术人员和有一定文化程度的操作工人的需要。

各章的编写意图和主要内容是:

第1章 绪论。介绍了美国、欧洲消失模铸造技术发展的最新动态,对美国近二十年来消失模铸造发展的特点进行了评述,对我国十几年来消失模技术的发展概况进行了总结,并展望了该技术在我国的发展前景,提出了进一步发展的若干建议。

第2章 模样的制造。围绕制模过程的材料选择,预发泡、熟化处理、成形发泡等多种工序,着力加强工艺过程原理的控制参数

的论述,特别是增加了模样质量控制一节,对模样的常见缺陷、制模过程质量控制因素进行了系统概括,对泡沫模样的性能检测方法也作了介绍。

第3章 涂料。主要介绍涂料性能的检测,重点推荐了涂料多功能性能检测仪;按不同合金种类分别介绍了涂料配方,涂料常见缺陷及其防止措施的内容。

第4章 造型及振动紧实。结合作者对双电机振动模型的研究成果,重点论述了各种振动紧实设备的原理、结构及工艺参数、效果检验等,并对砂箱、真空系统、旧砂回用系统等作了较详尽的介绍。

第5章 金属液的充型过程。本章是消失模铸造成形的理论基础,过去出版的同类著作大多引用国外的研究成果和数据图表,这里主要引用华中科技大学以及清华大学的数篇博士论文的研究成果,初步形成了我国自己的成形理论基础。

第6章 铸件缺陷及其对策。对铸钢件增碳,铸铁件皱皮,铸铝针孔、疏松以及铸型坍塌缺陷等的形成原理和防止措施作了系统、深入的介绍,这些都是花了数年时间专门研究才取得的成果;5个典型铸件的缺陷分析对现场工作人员更具启发性;由天哲公司提供的消失模铸件企业质量标准也是首次编入专著,可供同行借鉴。

第7章 发泡模具的设计和制造。详尽地介绍了模具的本体设计,模具与成形机的配合,模具加工制造以及模样的分片与粘结。目前国内外可借鉴的相关资料不多,书中所反映的主要是作者多年来实际工作的总结,第一次见诸于专著。

第8章 消失模铸造车间设计要点及典型车间平面布置。重点介绍了车间设计的要点及平面布置,特别是列举了年产1 500 t、3 000 t、5 000 t钢铁铸件和年产2 000 t铝合金铸件的典型车间平面布置,可供读者参考。

第9章 消失模铸造的环境保护。对消失模车间的环境状况

进行了实地测定和评估,对废气处理方法和设备进行了介绍,重点推荐了作者和他们的研究生研制成功并在实际生产中得到应用的催化燃烧净化设备。

第10章 大型铸件的消失模铸造技术。系统介绍了基于数控加工模样的大件消失模铸造技术(FMC法),反映了覆盖件冲模模具、机床床身等大型铸件消失模铸造的最新成果。

本书的第7章由叶升平教授编写,第4章和第8章由樊自田教授编写,其余七章由黄乃瑜教授编写,并由黄乃瑜教授对全书统稿。

在本书出版之际,作者衷心感谢周尧和、柳百成两位德高望重的院士在百忙中抽时间为本书作序;衷心感谢天哲公司无保留地公开自己的企业质量标准以及第四设计院李合意高级工程师无私地为第8章的编写提供的宝贵素材;衷心感谢华中科技大学罗吉荣教授、李焰教授、宋象军高工、毕丽珍女士、吴志超博士、王忠柯博士、杨家宽博士、冀守勤博士、常庆明博士、孙万良博士、吴国华博士、董选普博士,硕士生胡国良、王文权、费汉兵、赵学锋、魏永泉、王晓明等以及清华大学杨军生博士所做出的出色研究成果;衷心感谢教育部博士点基金和湖北省科委重点科技攻关项目给予的资助;衷心感谢华中科技大学材料科学与工程学院、中国铸造协会实型铸造专业委员会、中国铸造学会消失模铸造专业委员会以及铸造界的同行们和朋友们为本书的出版所给予的关心、帮助和支持。

由于作者水平的限制,书中片面甚至错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

黄乃瑜 叶升平 樊自田

2003.12.5

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 概述 .....	(1)
1.1.1 消失模铸造的分类 .....	(1)
1.1.2 LFC 法的工艺过程 .....	(2)
1.1.3 LFC 法的主要特点 .....	(2)
1.1.4 LFC 法的应用范围 .....	(6)
1.1.5 消失模铸造的经济性分析 .....	(9)
1.2 LFC 法的发展概况及展望 .....	(10)
1.2.1 国外发展概况 .....	(10)
1.2.2 在中国的发展概况 .....	(17)
1.2.3 对我国消失模技术进一步发展的展望和建议 .....	(19)
<b>第 2 章 模样的制造</b> .....	(22)
2.1 概述 .....	(22)
2.1.1 模样的重要性 .....	(22)
2.1.2 对模样的要求 .....	(22)
2.1.3 模样生产的工艺流程 .....	(23)
2.2 模样材料 .....	(23)
2.2.1 泡沫聚苯乙烯 .....	(24)
2.2.2 聚甲基丙烯酸甲酯和共聚料 .....	(36)
2.3 预发泡 .....	(41)
2.3.1 预发泡的目的 .....	(41)
2.3.2 预发泡设备和工艺 .....	(43)

2.3.3	预发泡珠粒的熟化处理 .....	(47)
2.4	成形发泡 .....	(48)
2.4.1	成形发泡的目的及工艺过程 .....	(48)
2.4.2	成形发泡设备 .....	(50)
2.4.3	成形发泡工艺过程的控制 .....	(53)
2.5	模样的熟化处理 .....	(60)
2.6	模样的质量控制 .....	(61)
2.6.1	发泡剂含量对模样质量的影响 .....	(61)
2.6.2	模样的表面粗糙度 .....	(62)
2.6.3	模样密度的均匀性 .....	(63)
2.6.4	模样的尺寸精度 .....	(63)
2.6.5	模样的损坏 .....	(64)
2.6.6	制模质量控制的因素 .....	(65)
2.6.7	泡沫塑料主要性能指标的检测方法 .....	(66)
<b>第3章</b>	<b>涂料 .....</b>	<b>(74)</b>
3.1	涂料的作用 .....	(74)
3.2	涂料的性能和检测 .....	(76)
3.2.1	涂料性能及其常规检测方法 .....	(76)
3.2.2	多功能涂料性能检测仪 .....	(81)
3.3	涂料的组成和配制 .....	(84)
3.3.1	涂料的基本组成 .....	(84)
3.3.2	涂料配制 .....	(89)
3.4	涂料的涂敷与干燥 .....	(96)
3.5	涂料常见缺陷及其防止措施 .....	(97)
<b>第4章</b>	<b>造型及振动紧实 .....</b>	<b>(101)</b>
4.1	砂箱 .....	(101)
4.1.1	砂箱结构 .....	(101)

4.1.2	砂箱种类 .....	(102)
4.1.3	对砂箱的要求 .....	(103)
4.2	型砂体系 .....	(103)
4.2.1	基本要求 .....	(103)
4.2.2	性能指标 .....	(104)
4.3	加砂 .....	(105)
4.3.1	加砂方式 .....	(106)
4.3.2	除尘 .....	(107)
4.4	振动紧实 .....	(108)
4.4.1	振动紧实原理 .....	(108)
4.4.2	对振动紧实台的要求 .....	(113)
4.4.3	振动紧实台的典型结构及工作参数 .....	(114)
4.4.4	振动紧实效果的检验 .....	(116)
4.5	真空抽气系统 .....	(117)
4.5.1	负压的作用 .....	(118)
4.5.2	负压工艺参数 .....	(118)
4.5.3	真空对接机构 .....	(119)
4.6	旧砂处理及回用系统 .....	(119)
4.6.1	翻箱机与落砂机 .....	(119)
4.6.2	除尘设备 .....	(121)
4.6.3	旧砂冷却设备 .....	(123)
4.6.4	其他砂处理设备 .....	(126)
<b>第5章</b>	<b>金属液的充型过程 .....</b>	<b>(132)</b>
5.1	概述 .....	(132)
5.2	金属液流动前沿模样热解状况 .....	(134)
5.2.1	金属液流动前沿的温度 .....	(134)
5.2.2	金属液流动前沿 EPS 热解产物的成分 .....	(136)
5.2.3	金属液流动前沿气隙中的气压 .....	(140)



5.2.4	EPS 热解产物的传输 .....	(143)
5.2.5	EPMMA 和共聚料 STMMA 的热解特性 .....	(146)
5.2.6	热解产物对铸件质量的影响 .....	(147)
5.3	金属液的充填特性 .....	(150)
5.3.1	研究金属液充填特性的常用方法 .....	(150)
5.3.2	金属液流动前沿形态的一般规律 .....	(153)
5.3.3	金属液的充型速度及其影响因素 .....	(155)
5.3.4	金属液充型过程中的成形 .....	(161)
5.4	铸件的凝固特性 .....	(163)
5.4.1	磨球铸件的凝固温度变化曲线、金相组织及性能 .....	(163)
5.4.2	消失模铸件的凝固特性 .....	(165)
5.4.3	消除负压消失模铸件冷却速度慢带来的不利影响的措施 .....	(165)
5.5	浇注系统及浇注工艺 .....	(167)
5.5.1	浇注系统的作用和要求 .....	(167)
5.5.2	浇注系统的结构形式 .....	(167)
5.5.3	浇注系统各组元尺寸的确定 .....	(171)
5.5.4	冒口的设计 .....	(173)
5.5.5	空心直浇道及浇注系统与模样的连接 .....	(175)
5.5.6	浇注 .....	(180)
<b>第 6 章 铸件缺陷及其对策 .....</b>		<b>(184)</b>
6.1	铸钢件增碳缺陷及其对策 .....	(184)
6.1.1	铸钢件增碳的规律 .....	(184)
6.1.2	铸钢件增碳的机理 .....	(186)
6.1.3	铸钢件增碳的影响因素及预防措施 .....	(187)
6.1.4	铸钢件增碳预防措施的生产验证 .....	(190)
6.1.5	Replicast CS 法 .....	(191)
6.2	铸铁件皱皮缺陷及其对策 .....	(193)