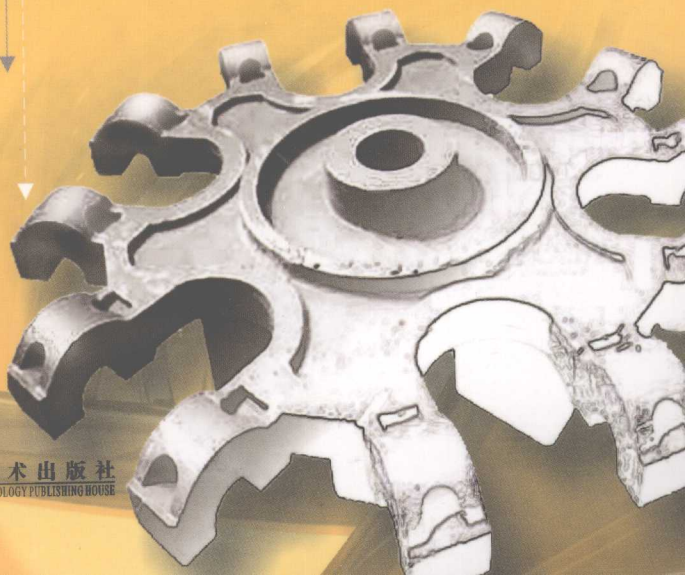


实用铸造技术丛书

实用熔模铸造技术

SHIYONG RONG MU ZHU ZAO JI SHU

姜不居 主编



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

实用铸造技术丛书

实用熔模铸造技术

姜不居 主 编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

实用熔模铸造技术/姜不居主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008. 3

(实用铸造技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5381 - 5352 - 1

I. 实… II. 姜… III. 熔模铸造 IV. TG249.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 018481 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳市第二印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 13.25

字 数: 350 千字

印 数: 1 ~ 4000 册

出版时间: 2008 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 秦丽娟

封面设计: 留藏设计工作室

版式设计: 于 浪

责任校对: 王春茹

书 号: ISBN 978 - 7 - 5381 - 5352 - 1

定 价: 25.00 元

联系电话: 024 - 23284360

邮购热线: 024 - 23284502

E-mail: lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

http: //www.lnkj.com.cn

作者简介

姜不居 清华大学机械工程学院教授、中国铸造协会精密铸造专业委员会副主任、中国铸造协会教育培训工作委员会主任。

1938 年生，江苏丹阳人，1961 年毕业于清华大学冶金系热加工工艺及设备专业。长期从事特种铸造科研和教学工作，曾主持 60 多项科研项目，包括“微机控制颗粒分析仪”“熔模真空吸铸新工艺的研究”“熔模铸造砂粉粒度级配对铸件表面质量影响”“熔模铸造涂料及型壳质量控制”“型壳高温透气性仪”“型壳高温变形仪”“熔模铸造交替硬化新工艺”“快干硅溶胶的研究”“熔模铸造企业管理信息系统”“熔模铸造工艺 CAD”“消失模用涂料研究”“热模法离心铸造涂料研究”“压铸工艺 CAD”等。其中有 13 项曾获省部级科技进步奖。指导硕士及博士研究生十余名。

在国内外杂志和专业会议上发表文章 180 多篇。主持和参与编写的著作有《熔模铸造手册》、《熔模铸造工艺》、《熔模精密铸造》、《铸造测试仪器的原理及应用》、《铸件缺陷及其对策》、《铸造手册第六卷特种铸造》、《中国材料工程大典：材料铸造成型工程》、《特种铸造》等。享受国务院“政府特殊津贴”。

前 言

熔模铸造是一种先进的净近形成型工艺。在世纪交替的近一二十年，熔模铸造在国内外得到了高速而持续的发展，本书的编著和出版正是在这样的背景和形势下得以完成的，其目的是为了进一步促进中国熔模铸造业更好更快地发展。

本书内容主要包括熔模铸造概论、主要工序（如制模、制壳、熔炼、浇注和清理）的原理及其工艺、熔模铸件工艺设计及压型设计、熔模铸造缺陷分析和对策、熔模铸造车间设计简介等，对国内广泛应用的航空航天熔模铸造工艺、出口商用企业熔模铸造工艺、水玻璃型壳熔模铸造工艺均有较全面的讲述，几乎涵盖了熔模铸造的全部工艺内容。

本书的一个鲜明特点在于其实用性，书中广泛收集了生产一线的实际应用资料、突出技术和应用实例，充分反映了熔模铸造生产的实践经验；另一个特点是新颖性，不仅介绍本专业的前沿技术及进展，还尽量反映国内外最新研究成果和应用，诸如各种先进模料和制模技术、硅溶胶型壳、型芯、真空熔炼及浇注、真空吸铸、过滤净化技术、热等静压技术等新工艺、新技术和新方法都在有关章节中讲述到；此外，本书在强调实用性和新颖性的同时，还注重了基础性，即简明扼要地阐明了熔模铸造的基本概念和基本理论，并力图理论联系实际，通俗易懂。

本书可供科研人员及大专院校铸造及相关专业师生、特别是从事熔模铸造生产的工程技术人员学习、查阅和参考。

本书在编写过程中得到闫双景、吕志刚、崔旭龙、周泽衡、

马吉生、常明安、丁廷桢等人的大力协助和支持，谨在此致谢。

限于编者水平，书中难免存在缺点、疏漏及错误，恳请读者不吝批评指正。

编 者

2007 年深秋于清华园

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工艺特点	1
一、工艺流程	1
二、工艺特点	1
第二节 发展概况	4
一、发展史	4
二、发展特点	5
第三节 应用范围	8
第二章 易熔模制造	14
第一节 模料	14
一、对模料的基本要求	14
二、模料的种类	15
三、模料回收	30
四、模料性能测定方法	35
第二节 制模工艺	37
一、制模时模料状态	37
二、蜡膏制作	38
三、制模工艺参数	39
四、几个问题	42
五、典型熔模制造举例	45
六、浇口棒制作	47
第三节 制模设备	48
一、压蜡设备	48
二、蜡膏制备设备	57
第四节 组装和清洗模组	62
一、模组组装	62

二、模组清洗	64
第五节 熔模常见缺陷及其防止方法	65
第三章 型壳制造	69
第一节 型壳概述	69
一、型壳组成及结构	69
二、型壳主要性能	71
三、型壳试验方法	73
第二节 制壳用耐火材料	74
一、硅砂	74
二、熔融石英（石英玻璃）	78
三、电熔刚玉	79
四、锆砂	81
五、铝硅系耐火材料	83
六、常用制壳耐火材料性能及应用	88
七、耐火材料主要性能测试方法	89
第三节 制壳用黏结剂	90
一、三种黏结剂简述	90
二、硅胶胶体的基本知识	91
第四节 硅溶胶及其型壳	94
一、硅溶胶	94
二、硅溶胶涂料	100
三、硅溶胶型壳	111
四、快速制壳	123
第五节 水玻璃及其型壳	128
一、水玻璃	128
二、水玻璃涂料	134
三、水玻璃型壳	145
四、提高水玻璃型壳质量的措施	154
第六节 硅酸乙酯型壳	158
一、硅酸乙酯	158

二、硅酸乙酯水解液	159
三、硅酸乙酯涂料	166
四、硅酸乙酯型壳	167
第七节 型芯	169
一、概述	169
二、陶瓷型芯	173
三、水溶型芯	181
四、水玻璃砂型芯	184
第八节 脱蜡和焙烧	185
一、脱蜡	185
二、焙烧	188
第四章 合金熔炼及其浇注	190
第一节 铸钢熔炼	190
一、概述	190
二、感应电炉	196
三、感应电炉熔炼工艺	200
四、熔炼新技术——惰性气体覆盖保护法	215
第二节 铸造高温合金熔炼	218
一、概述	218
二、真空感应电炉	221
三、真空感应电炉熔炼工艺	225
第三节 铸造铝合金熔炼	230
一、概述	230
二、铝合金熔炼用炉	233
三、铸造铝合金的熔炼工艺	234
第四节 铸造铜合金熔炼	241
一、概述	241
二、铜合金熔炼用炉	243
三、铸造铜合金的熔炼工艺	244
第五节 炉前检测	249

一、化学成分检测	249
二、温度检测	251
三、脱氧质量检测	253
第六节 浇注方法	254
一、熔模铸造常用浇注方法	254
二、铸钢的重力浇注	255
三、高温合金的重力浇注	258
四、铝合金的重力浇注	258
第七节 过滤净化技术和凝固技术	258
一、过滤净化技术	258
二、凝固技术	260
第五章 清理和热处理	262
第一节 清理	262
一、清除型壳	262
二、切割浇冒口	265
三、表面清理	267
第二节 铸件修补	274
一、补焊	274
二、浸渗处理	276
三、热等静压处理 (HIP)	278
第三节 铸件精整	280
一、修整	280
二、矫正	281
三、光饰	282
四、钝化与防锈	283
第四节 铸件热处理	286
一、铸钢件热处理	286
二、球墨铸铁件热处理	292
三、有色合金铸件热处理	292
四、高温合金铸件热处理	295

第六章 熔模铸件工艺设计	296
第一节 零件结构的铸造工艺性分析	296
一、从避免缺陷角度审查铸件结构	296
二、从简化铸造工艺角度审查铸件结构	298
第二节 铸造工艺方案	299
一、浇注位置确定	299
二、压型分型面确定	300
三、铸件基准面选择	301
第三节 铸件工艺结构及工艺参数选择	302
一、熔模铸件尺寸公差与表面粗糙度	302
二、铸件结构工艺要素	305
三、工艺参数选择	307
第四节 浇注（冒）系统设计	311
一、浇注（冒）系统作用和要求	311
二、浇注（冒）系统分类	311
三、浇注系统组元结构	314
四、浇注系统组元计算	316
五、冒口计算	322
六、冷铁	324
第五节 工艺图和铸件图	325
第七章 压型设计和制造	327
第一节 压型分类及组成	327
一、对压型的要求	327
二、压型分类	327
三、压型组成	328
第二节 机械加工压型	329
一、压型结构	329
二、型体设计	330
三、型芯设计	334
四、其他机构设计	336

五、压型工作图	338
第三节 其他压型	343
一、易熔合金压型	343
二、石膏压型	346
三、硅橡胶压型（模具）	349
第八章 熔模铸件缺陷分析	351
第一节 铸件尺寸超差	351
一、概述	351
二、制模对铸件尺寸的影响	352
三、制壳对铸件尺寸的影响	353
四、浇注、清理对铸件尺寸的影响	355
第二节 铸件表面粗糙	356
一、影响熔模表面粗糙度的因素	356
二、影响型壳表面粗糙度的因素	357
三、影响金属液精确复型的因素	357
四、其他影响铸件表面粗糙度的因素	358
第三节 铸件表面缺陷	359
一、粘砂	359
二、夹砂、鼠尾	361
三、橘子皮	364
四、结疤（又称瓣蛤蟆皮）	365
五、麻点	366
第四节 孔洞类缺陷	367
一、侵入性气孔（集中气孔）	367
二、析出性气孔（分散气孔）	368
三、反应性气孔	369
四、缩孔	370
五、缩陷	371
六、缩松	372
第五节 裂纹冷隔类缺陷	373

一、热裂	373
二、冷裂	376
三、铸件脆断	377
四、冷隔	378
第六节 多肉类缺陷	378
一、毛刺、飞边	378
二、金属刺（黄瓜刺）	379
三、龟裂纹（脉纹）	380
四、金属豆（外渗豆）	381
五、鼓胀（胀砂）	382
六、掉砂（多肉）	383
七、跑火	383
第七节 其他缺陷	385
一、浇不到（浇不足）	385
二、夹杂物	386
三、砂眼	387
四、变形	388
五、表面脱碳	390
第九章 熔模铸造厂（车间）设计	394
一、设计依据	394
二、工艺选择	394
三、设备选择	395
四、工厂（车间）布置	402
五、典型车间布置举例	404

第一章 绪 论

第一节 工艺特点

熔模铸造又称熔模精密铸造，是一种近净形成型的先进工艺，能生产接近零件最终形状的精密复杂铸件，铸件可不经加工或经很少加工就使用。熔模铸造能生产精密铸件，这是与其工艺特点密切相关的。

一、工艺流程

图 1-1 是熔模铸造的工艺流程。先用压型压制一个与铸件形状相似的熔模，见图 1-1 (a)，打开压型取出熔模，见图 1-1 (b)，将熔模按工艺设计组合成模组，见图 1-1 (c)，把模组浸入涂料桶中上涂料，见图 1-1 (d)，撒砂，见图 1-1 (e)，让型壳干燥硬化，见图 1-1 (f)，重复图 1-1 (d)、(e)、(f) 工序多次，直至形成一定厚度的型壳为止，脱除型壳中的模料，见图 1-1 (g)，对型壳进行焙烧，见图 1-1 (h)，将合格金属液浇入型壳中，见图 1-1 (i)，脱除型壳，将铸件从内浇道处与浇注系统分开，对铸件进行清整，见图 1-1 (j)。也可用图 1-2 所示的框图来表示熔模铸造工艺流程。该框图更详细地将工艺设计、压型设计、压型制造、压制熔模到浇注、清理的整个工艺过程，特别是浇注后的清整过程各工序均详尽地列出。

二、工艺特点

比较熔模铸造和砂型铸造的工艺过程就可以看出熔模铸造工艺有以下三个特点。

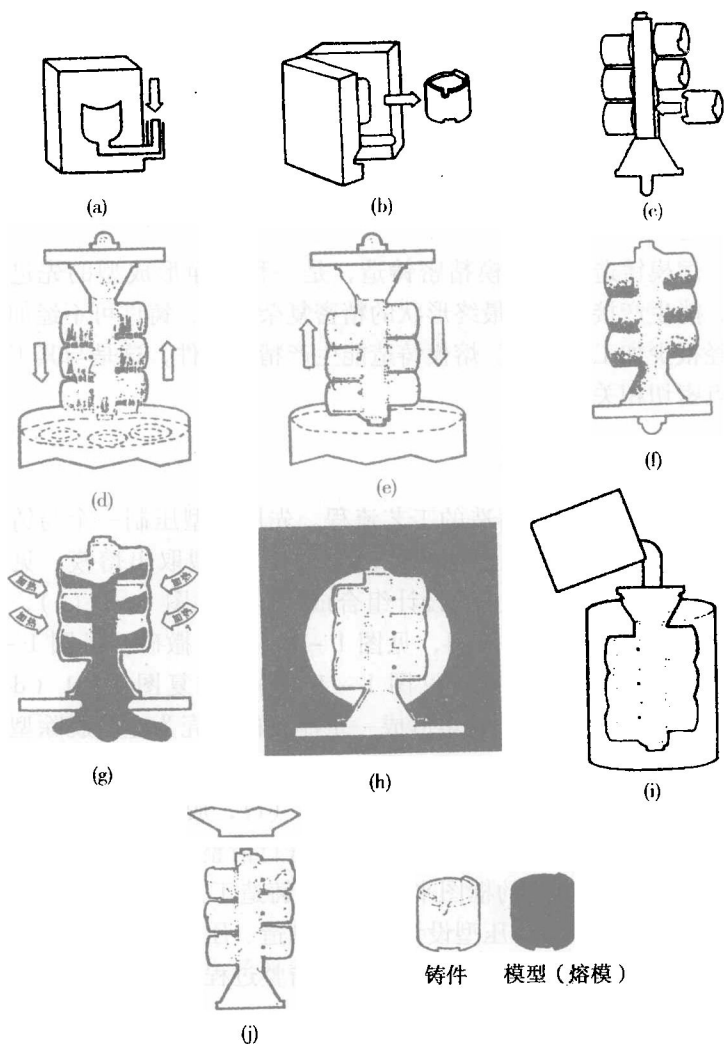


图 1-1 熔模铸造工艺流程

- (a) 压射熔模 (b) 取出熔模 (c) 组合模组 (d) 上涂料 (e) 撒砂
 (f) 型壳干燥 (g) 熔失熔模 (脱蜡) (i) 型壳焙烧 (i) 浇注
 (j) 脱壳和清整

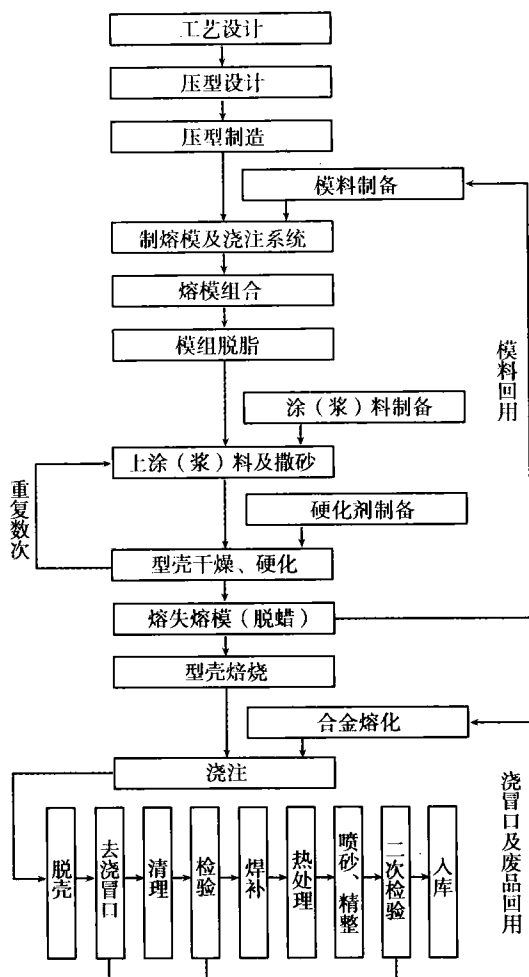


图 1-2 熔模铸造工艺流程框图

1. 使用易熔模型不用开箱取模

熔模铸造使用易熔模制好型壳（铸型）后很容易将熔模去除，不用将型壳分开取出模型。同时易熔模能分块制造、组合后使用，能生产很复杂的铸件。一般不用型芯，型壳是一个整体的，所以生产的铸件无毛刺飞边。但每生产一个铸件需用一个熔模。

2. 使用液体涂料制型壳（铸型）

液体涂料能很好地复印熔模，所制型壳比砂型铸造的铸型要精确而光洁。

3. 热壳浇注

熔模铸造工艺在热壳条件下进行浇注，金属液在型壳中保持流动的时间长，能浇注出薄壁复杂的精密铸件。

总之，以上三个工艺特点使该工艺能生产各种合金的薄壁复杂的精密中小铸件。熔模铸件尺寸精度可达 CT4 ~ 6 级，表面粗糙度可达 $R_a 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ ，可大大减少加工余量，并可实现无余量铸造。该工艺能生产出其他方法难以生产的复杂件，最小壁厚可达 0.5mm，最小孔径 1mm 以下，轮廓尺寸从几毫米到两千多毫米，重量从 1 ~ 1000kg 的铸件。还可生产各种铸造合金：铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、贵金属、铸铁、碳钢、不锈钢、合金钢、高温合金的熔模铸件。生产灵活性高，能适用于小批、成批和大批各种批量的生产，但熔模铸造也有一定的局限性，如工艺流程烦琐、生产周期长、铸件尺寸不能太大、铸件冷却速度较慢、需通过热处理来提高铸件性能等。

第二节 发展概况

一、发展史

熔模铸造的历史可以追溯到四千年前，埃及、中国和印度是