

李玉观 李伟峰 彭兴玖 章舟 编著

RONGMO
JINGMI ZHUZAO
QUEXIAN YU DUICE



熔模精密铸造 缺陷与对策



化学工业出版社

李金海 李海峰 王学良 王 丹 编著

RONGMO
JINGMI ZHUZAO
QUEXIAN YU DUICE



熔模精密铸造
缺陷与对策



机械工业出版社

熔模精密铸造 缺陷与对策

李玉观 李伟峰 彭兴玖 章舟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

熔模精密铸造缺陷与对策/李玉观等编著. —北京:
化学工业出版社, 2012. 5

ISBN 978-7-122-13739-5

I. 熔… II. 李… III. 熔模铸造: 精密铸造-铸件缺陷-预防 IV. TG249. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039344 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12 字数 184 千字 2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2012—9 号

FOREWORD

前言

熔模精密铸造，又称失蜡铸造，是一种近净形成型的先进工艺，是铸造行业中一项优异的工艺技术，其应用非常广泛。它不仅适用于各种类型、各种合金的铸造，而且生产出的铸件尺寸精度、表面质量比其他铸造方法要高，甚至其他铸造方法难以铸得的复杂、耐高温、不易于加工的铸件，均可采用熔模精密铸造铸得。

本书全面总结了熔模精密铸造过程中以及典型铸件中遇到的各种内在、外在质量问题（缺陷）以及需要采取的对策，通过列举典型铸件缺陷分析实例，帮助读者全面认识和分析各类精铸缺陷，并提出解决之道。便于铸造领域的技术人员、管理人员以及企业技术工人在实践中参考，并提高操作技能。

本书是在浙江省华龙职业技术学校的铸造专业的培训、咨询、函授、讲座资料内容基础上，自 20 世纪 70 年代组织铸造专家编辑后经不断删增滚动而成。全书得到浙江红马铸造有限公司平湖市辰龙精密铸造厂、北京奥宇可鑫表面工程技术有限公司有关领导和专家的大力支持，红马铸造有限公司的李国伟、陆建忠等为本书编写进行了电脑打字排版，在此深表感谢！

由于编者水平有限，书中不当之处难免，请读者批评指正。

编著者

CONTENTS

目录

第1章 概述

1

- 1.1 熔模精密铸造的概念 1
- 1.2 熔模精铸生产工艺流程 1
- 1.3 熔模精铸的生产方式 1
- 1.4 熔模精密铸造常用的碳钢及合金钢的力学性能 3
- 1.5 熔模铸造的特点 4
- 1.6 熔模精铸的经济性 5
- 1.7 熔模精铸存在的问题 7

第2章 熔模精密铸造常见缺陷及分析

8

- 2.1 铸件尺寸超差 8
 - 2.1.1 模料及制模工艺对铸件尺寸的影响 9
 - 2.1.2 制壳材料及工艺对铸件尺寸的影响 11
 - 2.1.3 浇注条件对铸件尺寸的影响 14
- 2.2 铸件表面粗糙 14
 - 2.2.1 影响熔模表面粗糙度的因素 14
 - 2.2.2 影响型壳表面粗糙度的因素 15
 - 2.2.3 影响金属液精确复型的因素 18
 - 2.2.4 其他影响铸件表面粗糙度的因素 18
- 2.3 表面缺陷类 19
 - 2.3.1 鼠尾 19
 - 2.3.2 疤痕(沟槽) 20
 - 2.3.3 夹砂结疤 21
 - 2.3.4 机械粘砂 22
 - 2.3.5 化学粘砂 23
 - 2.3.6 橘皮 24

2.3.7	蛤蟆皮（岛状凸起）	24
2.3.8	皱纹	25
2.3.9	鼓胀	26
2.3.10	铸瘤	27
2.3.11	金属珠	28
2.3.12	龟纹	29
2.3.13	氧化物斑疤	30
2.3.14	缩陷	30
2.3.15	凹陷	31
2.3.16	脱皮冲砂	32
2.4	孔洞类	33
2.4.1	气孔	33
2.4.2	缩孔	37
2.4.3	缩松	39
2.4.4	疏松	40
2.5	裂纹冷隔类	42
2.5.1	冷裂	42
2.5.2	热裂	43
2.5.3	缩裂	44
2.5.4	冷隔	45
2.6	残缺类	46
2.6.1	浇不足	46
2.6.2	未浇满	47
2.6.3	跑火	47
2.6.4	变形	48
2.6.5	露芯（串皮）	50
2.6.6	堵孔（断芯）	51
2.6.7	并孔	52
2.6.8	偏芯	53
2.6.9	毛翅	54
2.6.10	毛刺	54
2.7	夹杂类缺陷	55
2.7.1	金属夹杂物（氧化夹杂）	55

2.7.2	冷豆	56
2.7.3	夹渣	57
2.7.4	砂眼	58
2.7.5	麻点	58
2.8	性能、成分、组织不合格	59
2.8.1	物理、力学性能和化学成分不合格	59
2.8.2	晶粒度缺陷	59
2.8.3	结晶缺陷	62
2.8.4	表面树枝晶(铝合金铸件)	67
2.8.5	魏氏组织	69
2.8.6	偏析	69
2.8.7	脱碳	70
2.8.8	脆性断口——碳硼化合物型	71

第3章 常见型壳与型芯、蜡模缺陷及分析

73

3.1	型壳缺陷	73
3.1.1	强度低	73
3.1.2	裂纹	74
3.1.3	变形	76
3.1.4	型壳表面沉积物	76
3.1.5	分层和鼓胀	79
3.1.6	壳层剥落	80
3.1.7	型壳内腔表面不光洁	81
3.2	型芯缺陷	84
3.2.1	型芯粘砂(陶瓷型芯)	84
3.2.2	鼓泡(陶瓷型芯)	85
3.2.3	型芯变形(陶瓷型芯)	86
3.2.4	裂纹和断芯(陶瓷型芯)	87
3.2.5	花纹(陶瓷型芯)	88
3.2.6	型芯断裂(陶瓷型芯)	89
3.2.7	并芯(石英玻璃型芯)	89
3.3	蜡模缺陷及分析	90
3.3.1	浇不足——欠注	90

3.3.2	冷隔	91
3.3.3	变形	92
3.3.4	错位	93
3.3.5	偏芯	94
3.3.6	缩陷	95
3.3.7	裂纹	96
3.3.8	表面粗糙	97
3.3.9	流纹	98
3.3.10	飞翅	99
3.3.11	顶杆凹坑	100
3.3.12	气孔	100
3.3.13	鼓泡	101
3.3.14	夹杂物	102
3.3.15	芯蜡分离	103
3.3.16	断芯	103

第4章 石膏型精密铸造铸件缺陷及分析

106

4.1	石膏型精密铸造简述	106
4.1.1	石膏型精密铸造工艺简介	106
4.1.2	石膏型精密铸造特点	106
4.1.3	发展现状	107
4.1.4	石膏型精密铸件主要缺陷	107
4.2	石膏型精密铸件缺陷及分析	108
4.2.1	铸件尺寸超差	108
4.2.2	铸件表面粗糙	112
4.2.3	气孔、浇不到	114
4.2.4	铸件晶粒粗大、缩孔、缩陷	116

第5章 铸件检测及铸件缺陷克服

119

5.1	铸件检测	119
5.1.1	熔模精铸件质量检验包括的内容	119
5.1.2	铸件的外观质量检查	119
5.1.3	铸件的内在质量检查	120

5.1.4 铸件的化学成分检测	120
5.1.5 铸件的力学性能检查	121
5.2 铸件缺陷克服	121
5.2.1 变形矫正	121
5.2.2 焊补	125

第6章 典型铸件缺陷分析

133

6.1 铁豆	133
6.2 金属刺（黄瓜刺）	134
6.3 橘子皮表面	135
6.4 钢液渗漏	135
6.5 飞边、毛刺	136
6.6 局部鼓胀	137
6.7 夹砂结疤（起夹子）	138
6.8 夹砂、砂眼	139
6.9 夹灰	140
6.10 麻坑	141
6.11 浇不到（欠铸）和未浇满	142
6.12 冷隔	143
6.13 分散气孔和皮下气孔	144
6.14 针孔	145
6.15 脆断	146
6.16 缩孔	147
6.17 缩松	148
6.18 （显微）疏松	149
6.19 冷裂	150
6.20 变形	151

第7章 铸件缺陷修补

153

7.1 铸件缺陷修补技术的发展及种类	153
7.2 铸造缺陷修补机的诞生、发展及原理	156
7.2.1 铸造缺陷修补机的诞生、发展	156
7.2.2 铸造缺陷修补机的原理	157

7.3 铸造缺陷修补机的操作工艺及修复特点	158
7.4 加工面缺陷纯金属修复的方法	164
7.5 非加工面缺陷纯金属修复的方法	165
7.6 铸造缺陷修补系列专用胶的发展、种类及特点	166
7.6.1 铸造缺陷修补系列专用胶的种类及选择	167
7.6.2 铸造缺陷系列专用修补胶的特点	169
7.7 铸造缺陷系列修补胶的使用工艺	171
7.8 铸造缺陷修补的基本原则及修补技术的选择	171
7.8.1 铸造缺陷修补的基本原则	171
7.8.2 修补技术的选择	172
7.9 铸件缺陷修补实例分析	172

第 1 章

概 述

1.1 熔模精密铸造的概念

熔模精密铸造，就是用易熔材料（例如蜡料及模料）制成可溶性模型（简称熔模），在其上涂覆若干层特制的耐火涂料（加撒砂），经过干燥和硬化形成一个整体模组，再从模组中熔失熔模而获得中空型的型壳；然后将型壳放入焙烧炉中经高温焙烧，最后在其中浇注熔融的金属而得到铸件的方法。由于通常所用的易熔模料是由蜡基材料制作，故又称“失蜡铸造”或“熔模铸造”。用此法获得的铸件与砂型铸造的相比，具有较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度，可实现少切削或无切削，故常将“熔模精密铸造”简称为“精密铸造”、“熔模精铸”或“精铸”。

1.2 熔模精铸生产工艺流程

熔模精铸生产工艺流程如图 1-1 所示。

1.3 熔模精铸的生产方式

基于生产者要求不同，熔模精铸生产方式基本分为两种类型。

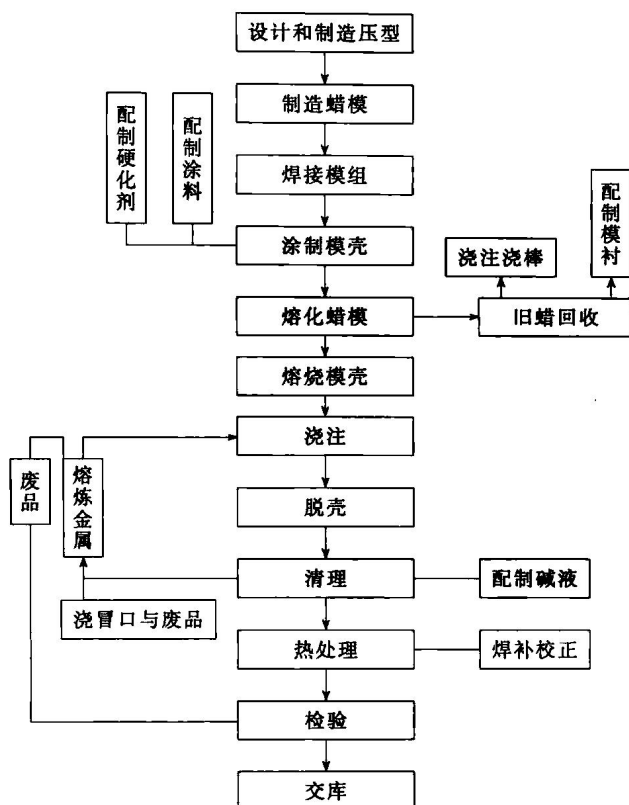


图 1-1 熔模精铸生产工艺流程（方框图）

第一种是一般工艺，基本上是采用手工及手动装置和简单机械化，生产成本低。第二种是当前大多数专业化工厂采用的生产方式，即在车间内部装有悬链输送机及机械化制壳流水线。这种生产布置的优点是：工艺及其配套的机械化适合生产快速调整，不受特设的辅机相互制约，可充分有效地利用时间，虽然成本要高一些，但其生产率高。

当前，采用熔模精铸获得尺寸精确、表面光洁、强度适中的零件及整体件，不用（或少用）加工以及由于成分等关系不能加工或难以加工的零件，是熔模精铸生产工艺技术发展的集中趋势。

此外，从适应零件形状、大小、尺寸精度及材料品种的广泛性而言，在各种精密铸造方法（压铸、陶瓷型、熔模）中，熔模精铸是最富有灵活性的特种铸造方法。因为除常规合金可用此法生产外，所有高强度合金几乎均可用此法生产。

1.4 熔模精密铸造常用的碳钢及合金钢的力学性能

熔模精密铸造常用的碳钢及合金钢的力学性能见表 1-1～表 1-4。

表 1-1 ZG45、ZG25 熔模铸件的力学性能

牌 号		条 件	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%	收缩率 ψ /%	冲击值 α_k /(J/cm ²)	金相组织
		GB 979	320	580	12	20	30	
ZG45	熔模铸 造一般 水平	铸态		530~790	6~10		6	细片珠光体加铁素体， 大晶粒魏氏体
		经 860℃ 正 火处理后		650~700	20		30~40	珠光体 55% 铁素体 45% 晶粒度 8 级
ZG25		GB 979	240	450	20	32	45	
		920℃ 正火 520℃ 回火 2h,熔模铸件	280	480	26	47	110	铁素体+珠光体

注：是使用梅花试样测定，试棒按 GB 228—63 制作。

表 1-2 常用几种低合金钢熔模铸件力学性能

牌 号	条 件	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%	收缩率 ψ /%	冲击值 α_k /(J/cm ²)	金相组织
ZG40Cr	850℃ 油 淬, 500℃ 回火	800	1000	9	60		
	精铸一般水平(调质处理后)	700	850	18	90	20~40	从梅花试块中取试样测定
ZG40Mn	850~860℃ 正火 400~450℃ 回火	300	650	12	30	163HB	
	850℃ 保温 3min 水淬 650℃ 回火 3h 空冷	490	620	24	52	191HB	
ZG20 CrMn	880℃ 淬火 500℃ 回火	700	900	12	100		
	900℃ 20min 油淬 (620±10)℃ 180min 空冷	550~600	690~740	16~19	80~140	214~246HB	

表 1-3 几种常用高合金钢熔模铸件的力学性能

牌号	条件状态	测试温度/℃	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%	收缩率 ψ /%	冲击值 α_k (J/cm ²)	硬度 (HB)
ZG1Cr13	950℃退火 1050℃淬火 750℃回火	室温	450	630	16	40	60	
	熔铸一般水平梅花试棒(1000℃ 0.5h 风冷, 670 ~ 690℃ 3h 空冷)	室温	480~640	670~690	14~23	37~58	30~80	202~250
ZGCr11MoV	1050~1100℃风冷 720~740℃风冷	室温	500	700	16	55	60	
	熔铸一般水平梅花试棒(1050℃ 15 ~ 30min 风冷, 700 ~ 730℃ 180min 空冷)	室温	550~630	720~820	16~22	51~60	50~130 80~140	219~246
		500	410~480	480~510	13~20	53~61		
ZG1Cr18Ni9Ti	1100℃水冷	室温	200	450	25	32	100	
	熔铸一般水平(1100℃保温 2h 水冷)	室温	240	515	27.2	38.7	85	

表 1-4 ZG45 加稀土 Re 的力学性能

成分	力学性能(860℃正火)		
Re/%	σ_b /MPa	δ /%	α_k /(J/cm ²)
0.018~0.022	680~750	15~20	32~35
0.030~0.036	630~700	10~15	35~42

1.5 熔模铸造的特点

一般来讲可将熔模铸造的特点归纳为三点：使用易熔模，不用开型起模，无分型面；采用涂料浆制型壳，涂层对易熔模复印性好；热壳浇注，金属液充型性好。因此，熔模铸造可以制造尺寸精度高、表面粗糙度低的复杂零件。

熔模铸件的尺寸公差国际上为 CT4~6，见表 1-5 所示，角度公差为±0.5°~2°，表面粗糙度 R_a 在 0.80~1.60 μ m 之间。

熔模铸造能铸出形状十分复杂的铸件，最小壁厚可达 0.3mm，最小铸出孔直径 0.5mm，质量小至 1g。不受合金种类的限制，可铸造碳钢、合金钢、球墨铸铁、铜合金、铝合金、镁合金、钛合金等合金材料的铸件。

表 1-5 熔模铸件尺寸公差

单位: mm

熔模铸件公称尺寸		铸件尺寸公差				
>	<	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8
—	10	0.26	0.36	0.52	0.74	1.0
10	16	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1
16	25	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2
25	40	0.32	0.46	0.64	0.90	1.3
40	63	0.36	0.50	0.70	1.0	1.4
63	100	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6
100	160	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8
160	250	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0
250	400	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2
400	630	0.64	0.90	1.2	1.8	2.6
630	1000		1.00	1.4	2.0	2.8

由于易熔模和型壳强度限制,熔模铸造不能做太大的件,最适于铸造几克到十几千克的中、小铸件。

20 世纪 80 年代发展起来的精复铸造,是将实型铸造、熔模铸造和负压铸造结合起来的新工艺。它利用塑料模代替蜡模,制壳,填干砂造型,抽真空浇注,可使铸件重量达 480kg,精度达 CT6 级、表面粗糙度为 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 。

熔模铸造工序繁多,生产周期长是该工艺的一个问题。

再则,熔模铸造热壳浇注,造成铸件冷却速度慢,铸态组织粗大。除定向凝固柱状晶或单晶叶片外,一般合金铸件的力学性能比相同材料其他铸造方法低。

1.6 熔模精铸的经济性

实现少、无余量零件的生产是世界上各个国家共同的努力目标,尤其对那些原材料缺乏、劳动力昂贵的国家更要十分注意。若采用一般工艺方法(如普铸、锻造→机加工),由原材料变成零件(产品),要消耗大量劳动力和材料。然而,采用熔模精铸代替机加工,直接铸成零件或组合的整体件,可获得巨大的经济效益。其经济性主要表现在以下几个方面。

(1) 铸件尺寸精度高：由于熔模精铸的先进工艺提高了铸件尺寸精度，因而可以减少机械加工费用；可以减少零件装配费用；可以减轻铸件重量；可以改善铸件外形；有利于将产品设计得紧凑。

(2) 金属利用率高：由表 1-6 中所列几种产品的统计，可见熔模精铸件金属利用率可达 83.4%，是一般锻造件的 2.78 倍。

表 1-6 熔模精铸件与锻造件金属利用率之比较

产品名称	净重 /kg	熔模精铸件		锻造件	
		质量/kg	利用率/%	质量/kg	利用率/%
汽轮机叶轮	5.5	6.5	84.6	18.3	30.0
纺织机铰翼	0.33	0.49	67.3	0.83	39.8
缝纫机梭网	0.025	0.031	80.6	0.30	8.3
猎枪枪机拉臂	0.020	0.025	80.0	0.135	14.8
合计	5.875	7.046	83.4	19.565	30.0

(3) 生产利润比较高，经济效果好：从表 1-7 中的总成本数字与一般精铸件售价（5000~6000 元/t）比较，每吨精铸件毛利至少有 1000 元。那么，一个生产 100t 精铸件的厂家，只要合理控制产品质量，就可获年利润 10 万元。

表 1-7 碳钢及低合金钢熔模精铸件成本 单位：元/t

项 目	简单件	较复杂件	复杂件	很复杂件
基本材料	119.95	135.34	164.80	183.11
辅助材料	400.71	451.13	549.32	610.35
基本工人工资	301.99	338.35	311.99	457.76
辅助工人工资	301.99	338.35	411.99	457.76
社会保险提成	40.07	45.11	54.93	61.04
电能	319.77	360.90	439.45	488.28
特别费用	382.93	428.57	521.85	579.83
废品损失	40.08	45.11	54.93	61.04
总成本	1967.49	2142.86	2509.26	2899.17

注：表中数据仅作参考。

此外，精铸工艺操作容易掌握，基本设备比较简单，一般机械厂都可自行设计制造；生产占地面积小，不需大量投资，城市街道及乡村企业都易于上马。