

特种铸造工艺

王乐仪 郑来苏 曲卫涛 编
周晓春 徐介文



国防工业出版社

特种铸造工艺

王乐仪 郑来苏 曲卫涛 编
周晓春 徐介文

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要阐述熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型熔模铸造以及陶瓷型铸造等七种特种铸造的工艺原理和工艺问题。在金属型铸造和压力铸造两篇中，还讨论了这两种方法的工艺设计问题。本书在系统阐明上述特种铸造工艺原理的基础上，侧重反映航空工业中特种铸造工艺的特点，并介绍国内外特种铸造的先进工艺和发展动态。

本书可用作航空院校铸造专业的教材，也可供其它院校铸造专业和有关科技人员参考。

特种铸造工艺

王乐仪 郑来苏 曲卫涛

编

周晓春 徐介文

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 $1/32$ 印张 14 $7/8$ 324 千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数：0,001—4,500册

统一书号：15034·2834 定价：2.25元

前 言

本书根据1982年航空院校铸造专业教材会议所审定的特种铸造工艺课程教学大纲编写，可用作航空院校铸造专业的教材，也可供其它院校铸造专业和有关科技人员参考。

按照航空院校铸造专业教学计划的安排，特种铸造工艺课程的总学时数为70，主要讲授熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型熔模铸造以及陶瓷型铸造等的工艺原理和工艺问题，在金属型铸造和压力铸造两篇中，还重点讲授这两种方法的工艺设计问题。上述各种特种铸造方法所使用的设备，在本课程中不作专门的讲授，这些内容在其它有关课程中讨论。

本书的特点是，按照教材会议所审定的教学大纲，系统阐明特种铸造方法的工艺原理，在此基础上侧重反映航空工业中特种铸造工艺的特点，并介绍国内外特种铸造的先进工艺和发展动态。

编写本书的分工如下：绪论由南昌航空工业学院周晓春编写；第一篇（熔模铸造）由西北工业大学王乐仪编写；第二篇（金属型铸造）由西北工业大学郑来苏编写；第三篇（压力铸造）由西北工业大学曲卫涛编写；第四篇（其它特种铸造方法）由南昌航空工业学院周晓春、徐介文编写。全书由西北工业大学王乐仪统编。

主审本书的是西安交通大学苏俊义副教授，他提出了许多修改意见，在此对他表示热忱的谢意。

编者才疏学浅，书中定有缺点和错误，衷心希望读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
一、特种铸造方法及其特点	1
二、特种铸造方法的发展	9
三、本课程的任务和要求	12
参考文献	12
第一篇 熔模铸造	13
第一章 熔模	14
第一节 对模料性能的要求	14
一、模料的熔点和热稳定性	14
二、模料的流动性和成型性	14
三、模料的收缩率和膨胀特性	15
四、模料的强度和表面硬度	15
五、模料的涂挂性	15
六、模料的焊接性	15
七、模料的灰分	15
第二节 模料的分类	15
第三节 模料的原材料及其性能	16
一、模料原材料的分类	16
二、模料原材料的化学结构与性能的关系	19
三、模料中主要原材料的性能特点	26
第四节 典型模料的组成和性能	28
一、蜡基模料	28
二、松香基模料的组成和性能	30
三、其它模料的组成和性能	31
第五节 模料的制备和回收	33
一、模料的制备	33

二、石蜡-硬脂酸模料的回收处理	34
第六节 制模工艺	35
一、压注成型	36
二、挤压成型	37
第二章 粘结剂	39
第一节 对粘结剂性能的要求和粘结剂的分类	39
一、对粘结剂性能的要求	39
二、粘结剂的分类	39
第二节 硅溶胶	40
一、硅酸的缩聚和硅溶胶的结构	41
二、硅溶胶的基本特性	43
三、硅溶胶的胶凝	44
第三节 水玻璃粘结剂	48
一、水玻璃的制造原理及其化学组成	48
二、水玻璃的胶凝原理	50
三、水玻璃的工艺性能	53
四、水玻璃模数和比重的调整	55
第四节 硅酸乙酯粘结剂	58
一、硅酸乙酯及其性能	58
二、硅酸乙酯的水解过程原理	59
三、水解过程中各组元作用及其数量计算	65
四、硅酸乙酯的水解工艺	67
第三章 制壳用耐火材料	69
第一节 耐火材料的应用与对它的性能要求	69
一、耐火材料的耐火度及最低共熔点	69
二、耐火材料的热膨胀性	70
三、耐火材料的化学稳定性	71
第二节 硅的氧化物	72
一、二氧化硅的变体及其转化	73
二、石英的性能及其应用	77
第三节 电熔刚玉	78
一、氧化铝及其变体	78
二、电熔刚玉的性质及应用	79

第四节 铝硅酸盐耐火材料	79
一、 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 二元系状态图	79
二、莫来石和莫来石化反应	81
第五节 锆砂	84
一、二氧化锆	85
二、硅酸锆	85
第四章 型壳和型芯的制造工艺	87
第一节 耐火涂料的配制	87
一、耐火涂料的工艺性能及其控制	87
二、常用耐火涂料的组成和配方	91
第二节 型壳的制备	92
一、涂挂和撒砂	92
二、型壳的干燥和硬化	93
第三节 脱模和焙烧	108
一、脱模	108
二、型壳的焙烧	112
第四节 陶瓷型芯的制备	115
一、陶瓷型芯制造工艺原理	115
二、石英玻璃型芯热压注法的工艺	121
第五章 型壳的质量	125
第一节 型壳的内表面质量	125
一、熔模表面和轮廓的复制精度	125
二、制壳工艺因素对型壳表面质量的影响	127
第二节 型壳的线量变化	128
一、水玻璃粘结剂型壳的线量变化	128
二、硅酸乙酯粘结剂型壳的线量变化	130
三、硅溶胶粘结剂型壳的线量变化	130
第三节 型壳的强度性能	131
一、浸涂材料及工艺因素对型壳常温强度的影响	131
二、型壳的高温强度	134
三、型壳的残留强度	137
第四节 型壳的高温透气性	138

一、型壳高温透气性的实际意义	138
二、影响型壳透气性的主要因素	139
参考文献	141
第二篇 金属型铸造	142
第一章 金属型铸造工艺	144
第一节 铸件形成过程的特点	144
一、铸件冷却凝固过程中热交换的特点	144
二、金属型铸件收缩的特点	150
三、型腔内气体对充填过程的影响	151
第二节 金属型铸造的热规范	153
一、金属型中铸件的凝固特性	153
二、金属型的工作温度	155
三、合金的浇注温度	157
四、浇注过程中金属型的热平衡	158
第三节 金属型涂料	163
一、金属型涂料的作用及对它的要求	163
二、涂料的组成	165
三、涂料的配制及喷涂	170
四、覆砂金属型	172
第四节 金属型的浇注	173
一、金属型的准备及浇注工序	173
二、金属型的浇注	174
三、铸件在金属型中的保持时间	176
第二章 金属型铸造工艺设计	178
第一节 铸件工艺设计	178
一、零件结构的铸造工艺性分析	178
二、铸件的工艺参数	180
第二节 铸型工艺设计	183
一、铸件在金属型中的浇注位置	183
二、铸件分型面的选择	184
三、浇注系统设计	186
四、冒口的设计	199
第三章 金属型设计	205

第一节 金属型的结构形式	205
一、金属型的分类和组成	205
二、金属型主要的结构形式	207
第二节 金属型的结构设计	212
一、金属型结构设计的一般要求	212
二、型体和底板的设计	214
三、型芯的使用和设计	222
四、金属型的排气装置	238
五、金属型的加热和冷却装置	242
六、金属型的操作机构	247
第三节 金属型的尺寸	261
一、金属型型腔尺寸	261
二、金属型零件的尺寸公差和配合	263
三、金属型零件的表面光洁度	267
四、金属型的安装要求	267
第四节 金属型的寿命和材料选择	268
一、金属型损坏的类型及其原因	268
二、延长金属型寿命的措施	274
三、金属型材料的选择	275
参考文献	283
第三篇 压力铸造	284
第一章 压力铸造过程原理	288
第一节 压铸压力	288
第二节 压射速度和充填速度	290
第三节 金属充填铸型的形态	292
一、金属充填理论	292
二、理想充填形态在三级压射中的获得	297
三、金属液在型腔中的几种充填形态	299
第四节 金属在铸型型腔中的运动	301
第二章 压铸工艺	305
第一节 压铸工艺因素	305
一、比压的选择	305

二、充填速度的选择	306
三、合金浇注温度	307
四、压铸型温度	308
五、压铸用涂料	310
六、充填时间与持压时间	312
七、压铸工艺参数的监测	314
第二节 特殊压铸工艺	319
一、真空压铸	320
二、充氧压铸	321
三、精速密压铸	323
四、半固态压铸	325
五、黑色金属压铸	326
第三章 压铸件结构特点和压铸型设计	329
第一节 压铸件结构特点	329
一、壁厚	329
二、夹角	330
三、铸造斜度	330
四、孔径尺寸压铸成型	332
五、压铸件尺寸精度	333
六、压铸螺纹	333
七、镶嵌件	334
第二节 压铸型设计和压铸机的关系	335
一、铸件在分型面上的垂直投影面积与压铸机的比压及 合型力之关系	336
二、铸件重量	336
三、压铸机开型距离与压铸型厚度的关系	337
四、铸件的顶出	338
第三节 压铸型的结构	338
第四节 分型面的选择	341
第五节 浇注系统设计	344
一、浇注系统的组成	344
二、浇注系统的种类及特点	354
三、浇注系统的理论计算	359
第六节 溢流槽和排气槽设计	362

一、溢流槽设计·····	362
二、排气槽设计·····	364
第七节 压铸型成型部分尺寸计算 ·····	366
一、影响铸件尺寸精度的因素·····	366
二、压铸型成型部分的尺寸计算·····	369
第八节 压铸型型体和型芯设计 ·····	371
一、压铸型外形尺寸设计·····	371
二、动、静型型块(镶块)结构设计·····	374
三、型芯结构设计·····	376
第九节 抽芯机构设计 ·····	377
一、斜销抽芯机构·····	378
二、斜滑块抽芯机构·····	385
三、齿轮齿条抽芯机构·····	387
四、液压抽芯机构·····	389
第十节 顶出机构的设计 ·····	391
一、推杆顶出机构·····	391
二、卸料板(推板)顶出机构·····	396
三、斜滑块顶出机构·····	396
第十一节 压铸型材料的选择 ·····	397
一、成型部分零件材料的选择原则·····	397
二、座板、顶杆等其它零件材料的选择原则·····	399
三、黑色金属压铸时采用的铸型材料·····	400
第十二节 压铸型的技术要求 ·····	401
一、压铸型零件的公差与配合·····	401
二、压铸型零件不同工作面的光洁度·····	401
三、对压铸型总装的要求·····	402
四、对铸型零件的要求·····	403
参考文献 ·····	403
第四篇 其它特种铸造方法 ·····	404
第一章 低压铸造 ·····	404
第一节 低压铸造工艺设计 ·····	406
一、铸件在铸型中的位置·····	406
二、浇注系统·····	408

三、铸型的排气	409
第二节 低压铸造工艺	410
一、升液压力和升液速度	411
二、充型压力和充型速度	412
三、增压和增压速度	413
四、保压时间	414
五、铸型温度和浇注温度	419
六、铸型涂料	419
第三节 特殊低压铸造工艺	420
一、反压铸造	420
二、电磁低压铸造	423
第二章 离心铸造	424
第一节 在离心力场中铸件的成型和凝固特点	425
一、作用于液体金属的离心力和压力	425
二、离心力场中液体金属自由表面的形状	428
三、离心铸造过程中金属凝固的特点	431
第二节 离心铸造工艺	432
一、铸型转速的确定	432
二、铸型	434
三、液体金属的浇注和定量	438
四、双金属离心铸造	439
第三章 石膏型熔模铸造	442
第一节 石膏及其特性	442
第二节 石膏型熔模铸造的工艺	444
一、熔模的制造和组装特点	445
二、石膏型的制造	445
三、合金的熔炼和浇注	450
第四章 陶瓷型铸造	451
第一节 陶瓷型材料	451
一、耐火材料	451
二、粘结剂	452
三、催化劑	452
四、透气剂	452

五、脱模剂.....	453
第二节 陶瓷型的制造工艺及合箱浇注	453
一、模型.....	454
二、陶瓷浆料的配制与灌浆.....	454
三、起模.....	457
四、喷烧.....	457
五、焙烧.....	459
六、浇注与清理.....	459
参考文献	460

绪 论

一、特种铸造方法及其特点

特种铸造方法通常是指区别于普通砂型铸造的一些方法。虽然砂型铸造在铸造生产中应用很普遍，但用此法生产的铸件，其尺寸精度、表面光洁度和铸件的内部质量，远远不能满足许多机械零件特别是一些航空、航天产品零件的要求。所以除砂型铸造外，通过改变铸型材料、浇注方法、液体金属充填铸型的形式和铸件凝固条件等因素，出现了许多特种铸造方法。这些方法，不但能提高铸件的质量，而且多数方法可以一型多铸，便于实现机械化或自动化生产，因而适于成批生产和大量生产。生产铸件的批量越大，铸件的成本就越低。但这些方法的工艺装备和设备的投资费用较大，生产数量少的铸件，则不便采用。

航空铸造生产中常见的特种铸造方法有以下几种：

1. 熔模铸造 又称“失蜡铸造”，是在熔模（通常由蜡料或塑料制成）表面涂上数层耐火材料，经过硬化干燥后，将其中的熔模熔去而制成整体型壳，再经高温焙烧，然后进行浇注而得到铸件的一种铸造方法。

由于熔模铸造采用精确的压型制造熔模，并避免了起模、下芯、合型等工序所带来的铸件尺寸误差；而且所用的耐火材料均经高温处理，减少了型壳变形的可能性，因而容易制得尺寸精度和表面光洁度高的铸件。一般精度相当于 HB0-7-67 的 ZJ₂~ZJ₃，光洁度在 GB1031-68 的 $\nabla 4 \sim \nabla 6$ 之间。所

以熔模铸件可减少或免去机械加工。航空工业中要求对涡轮叶片等重要零件实现无余量精铸，就要求进一步提高熔模铸造工艺的水平。

用熔模铸造方法可以制造各种合金和形状复杂的铸件，它几乎是目前生产耐热合金复杂铸件的唯一方法。因为它可以选用高级耐火材料来制造型壳；熔模可分成几部分压制，再焊接成一个整体熔模；型壳又可在高温下进行浇注，便于金属液充填铸型，所以熔模铸造可制造很复杂的薄壁铸件。铸钢件能浇注的最小壁厚可达 0.3 毫米。

然而，熔模铸造方法也存在一些缺点，例如，生产工序繁多，周期较长，且铸件不能太大；生产中所用的某些模料、粘结剂和耐火材料，价格较贵且质量不稳定，所以铸件质量不易控制，生产成本较高。因此，熔模铸造在整个铸造生产中所占的比重还是较小的。

熔模铸造方法早期主要应用于汽轮机、涡轮发动机、柴油机增压器等各种叶片及其它小型零件的铸造。由于熔模铸造是实现毛坯精化的重要方法之一，因而目前它的应用范围正在逐渐扩大，相继在航空、汽车、机械、船舶、仪器、仪表等制造工业中被广泛采用。

2. 金属型铸造 亦称硬模铸造或钢模铸造。这是一种将定量的液体金属浇入金属铸型中，在重力的作用下结晶凝固，开型后即可获得铸件的铸造方法。由于金属型的导热性强，加快了铸件的冷却速度，所得铸件结晶组织细密，其强度、硬度、耐磨性和耐蚀性等机械性能均高于砂型铸件。铸件精度可达 HB0-7-67 的 ZJ₄~ZJ₅，光洁度一般为 GB1031-68 的 $\nabla 3 \sim \nabla 5$ ，减少了机械加工工时。但制造金属型的成本较高，周期较长，只有在成批、大量生产时才有利。金属型

可以在一个工作班里连续浇注，使劳动生产率和生产面积的利用率大大提高。由于金属型铸造是在高温下进行，劳动条件不好，因而金属型铸造生产应尽量实现机械化甚至自动化。金属型铸造方法的工序简单，铸件的废品率一般比砂型铸造低 30~50%。但是，它对铸造工艺因素的变动比较敏感，如金属型的工作温度和涂料、合金的浇注温度和浇注速度、出芯和开型的时间等，当某种工艺因素控制不严或不稳定的时候，都可能出现废品。在制订防止出现废品的措施时，还要特别注意金属铸型和型芯没有透气性和退让性这一特点。

当前在航空、汽车、拖拉机、内燃机制造业等方面的中小型铝、镁合金铸件，如铝活塞、气缸体、气缸盖、油泵壳体、机匣等等，都广泛地应用金属型铸造方法来制造。黑色金属铸件亦在不断增加，但只能铸造形状简单的零件。在航空工业中轻合金铸件最多，而轻合金铸件又特别适宜用金属型铸造，所以金属型铸造在航空工业中应用特别广泛。

3. 压力铸造 简称压铸。这一方法的实质是，在压铸机的压室内，浇入定量的液态或半液态金属，使它在高压和高速下充填铸型，并在高压下成型和结晶，开型后即可获得精密的压铸件。

在压铸过程中，金属液受到很高的压射比压，一般从几千至几万千牛/米²，甚至高达 2×10^5 千牛/米²；充填速度约为 10~80 米/秒，充填时间极短，一般在 0.01~0.2 秒范围内。所以，高压高速是压铸的根本特点。

压铸是目前铸造生产中最先进的工艺方法之一，用这一方法制造的铸件具有高的尺寸精度（HB0-7-67 的 ZJ₁~ZJ₂）和表面光洁度（GB1031-68 的 $\nabla 5 \sim \nabla 7$ ），铸件尺寸稳定，互换性好。由于压铸型导热快，金属冷却迅速，同时在

压力下结晶，所以铸件具有细小的晶粒组织，表皮坚实，提高了铸件的强度和硬度以及耐磨性、耐蚀性和气密性等。应用压铸方法可以制造复杂的薄壁铸件，如具有各种孔眼、螺纹、文字及花纹图案的铸件。

压铸法的生产率极高，例如国产 J1113 型卧式冷室压铸机平均每八小时可压铸 600~700 次，一副压铸型可以生产几千至几十万个铸件，如果采用“一型多腔”，产量还可以成倍增加。

由于压铸件的尺寸精度和光洁度高，尺寸互换性好，一般只需经过精加工和铰孔就可以直接使用，因而提高了金属的利用率，减少了大量加工工时和设备。在大量生产条件下，由于压铸生产率高，铸件成本比单件机械加工费用要少得多。压铸方法还可以采用组合件以及嵌入其它合金或非金属材料的预制件，以满足铸件的特殊要求（如耐磨性、绝缘性、导磁性等）和改善铸件结构的工艺性。

但是，压铸法也存在一些缺点，例如，它不适于单件小批生产，因为它除需要价钱昂贵的压铸机外，更主要的是压铸型成本高，生产准备周期长；由于压铸过程中金属的充填速度极高，型腔中的气体很难完全排除，加之金属液在型中凝固快，实际上很难补缩，故在现行压铸工艺的情况下，铸件中容易产生微小气孔和缩松，铸件壁愈厚，这种缺陷愈严重；压铸件不能进行热处理，以免在加热时因气泡膨胀使铸件表面产生突起和变形；压铸件的塑性（特别是延伸率）低，不宜在冲击载荷和有震动的情况下工作；另外对内凹复杂的铸件，压铸较为困难；高熔点合金压铸时，压铸型寿命很低。这些都使压铸生产的扩大应用受到限制。

目前，压铸已广泛用于汽车、仪表、航空、兵器、电器