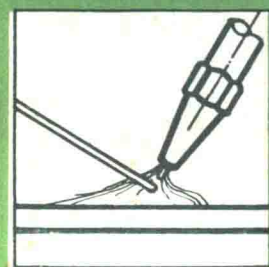
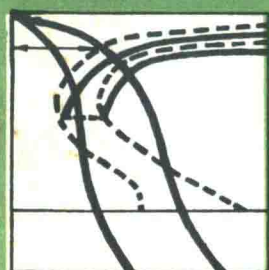
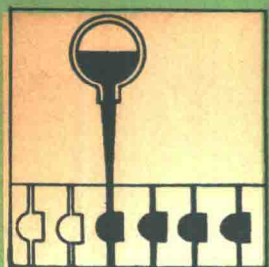


高等学校试用教材



特种铸造

东北工学院官克强 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

特种铸造

东北工学院官克强 主编



机械工业出版社

特 种 铸 造

东北工学院宫克强 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $13 \frac{1}{4}$ · 字数 320 千字

1982 年 1 月北京第一版·1982 年 1 月北京第一次印刷

印数 00,001—10,500 · 定价 1.40 元

*

统一书号: 15033 · 5097

前 言

本书系根据1978年一机部召开的全国高等院校铸造专业教材编审会议所审定的《特种铸造》教学大纲编写的。

根据高等院校铸造专业教学计划的安排,《特种铸造》课主要向学生介绍不同于砂型铸造的其它常用铸造方法的实质、基本原理和工艺特点,对工艺装备和工艺过程中所使用的主要设备的基本知识也作必要的叙述,但有关在各种铸造方法中经常遇到的合金种类、性能和铸件的热处理特点等,由《铸造合金及其熔炼》课讲授。

随着科学技术的发展,近来也出现了一系列新的工艺,如实型铸造,真空铸造等,这些铸造工艺都与一般传统的砂型铸造工艺有所不同,但考虑到在这些新工艺中所使用的造型材料、浇注方法以及铸件的成形特点等方面都与砂型铸造时的情况相近,可把这些铸造方法视为砂型铸造的新发展,所以在《特种铸造》课程中不讲授上述的铸造方法。

因此,在本课程中所要讲述的铸造方法为:熔模铸造、金属型铸造、低压铸造、压力铸造、离心铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、真空吸铸、挤压铸造和液体金属冲压、磁型铸造等。

这些铸造方法是随着科学技术的发展而陆续出现并逐步趋于完善的。它们在生产某些类型的铸件方面都有其独特的优点,因此在近代工业生产中得到了广泛的应用和发展。

本书为高等院校铸造专业的教学用书,也可供有关科技人员参考。

本书由东北工学院宫克强(主编)、佟铭铎、王玉玮;哈尔滨工业大学林柏年、徐实谦;洛阳农机学院李顺成等编写。由浙江大学曾昭昭同志主审。一机部教材编辑室周有德同志为责任编辑。在编写过程中得到许多工厂、科研单位和兄弟院校的大力支持,特此致谢。

由于我们水平所限,书中可能存在不少缺点和错误,请广大读者批评和指正。

目 录

绪论	1	§ 2-3 金属型铸件的工艺设计	54
第一章 熔模铸造	4	一、铸件结构的工艺性分析	54
概述	4	二、铸件在金属型中的浇注位置	55
§ 1-1 熔模的制造	5	三、铸件分型面的选择	56
一、模料	5	四、浇注系统设计	57
二、模料的配制与回收	8	五、冒口设计	59
三、熔模和模组的制造	11	六、金属型铸件的工艺参数	60
§ 1-2 型壳的制造	12	§ 2-4 金属型的设计	60
一、制备型壳用的材料	13	一、金属型的结构形式	62
二、制壳工艺	22	二、金属型主体设计	62
三、陶瓷型芯	25	三、型芯的设计	63
四、制壳机械化	28	四、金属型的排气	66
§ 1-3 熔模铸件的浇注和清理	28	五、顶出铸件机构的设计	69
一、熔模铸件的浇注	28	六、金属型的定位、导向及锁紧机构	70
二、熔模铸件的清理	30	七、金属型材料的选择	70
三、铸件上残余耐火材料的清除	32	§ 2-5 金属型铸造机械化	72
§ 1-4 熔模铸件工艺设计	32	一、金属型铸造机	72
一、铸件结构工艺性的分析	32	二、金属型铸造生产线	75
二、浇冒口系统的设计	33	第三章 低压铸造	77
§ 1-5 压型	35	概述	77
一、压型的主要结构组成	37	§ 3-1 低压铸造工艺设计	78
二、压型型腔和型芯的设计	38	一、铸型种类	78
第二章 金属型铸造	41	二、铸件顺序凝固条件的创造	78
概述	41	§ 3-2 低压铸造工艺	81
§ 2-1 金属型铸件形成过程的特点	42	一、充型和增压	81
一、型腔内气体状态变化对铸件成型的影响	42	二、铸型温度及浇注温度	85
二、铸件凝固过程中热交换的特点	43	三、涂料	85
三、金属型阻碍收缩对铸件质量的影响	47	四、低压铸造工艺举例	85
§ 2-2 金属型铸造工艺	47	§ 3-3 低压铸造设备	86
一、金属型的预热	48	一、保温炉及其附属装置	87
二、金属型的浇注	48	二、供气系统	88
三、铸件的出型和抽芯时间	49	§ 3-4 特殊低压铸造工艺	92
四、金属型工作温度的调节	49	一、压差法低压铸造	92
五、金属型涂料	50	二、冒口加压法低压铸造	92
六、覆砂金属型	52	第四章 压力铸造	94
七、金属型的寿命	53	概述	94
		§ 4-1 压铸机	95

一、压铸机的种类	95	四、液体金属中异相质点的径向移动	148
二、压铸机的主要机构	98	§ 5-2 离心铸件在液体金属相对运动 影响下的凝固特点	149
三、压铸机的选择	101	一、离心铸型横断面上液体金属的相对 运动及其对铸件结晶的影响	150
§ 4-2 压铸过程原理	102	二、离心铸型纵断面上液体金属的相对 流动及其对铸件结晶的影响	151
一、压铸压力	103	§ 5-3 离心铸造机	152
二、压铸速度	104	一、立式离心铸造机	152
三、充填压铸型的特点	105	二、卧式离心铸造机	152
§ 4-3 压铸件的工艺设计	107	§ 5-4 离心铸造工艺	157
一、压铸件的结构工艺性	107	一、离心铸造转速的选择	157
二、压铸件分型面的确定	109	二、离心铸造用铸型	159
三、浇注系统	111	三、涂料	161
四、溢流槽、排气槽	116	四、离心浇注	161
§ 4-4 压铸型设计	118	五、几种离心铸件的铸造工艺	163
一、压铸型的结构	118	第六章 其它特种铸造方法	168
二、压铸型的设计要求	118	§ 6-1 陶瓷型铸造	168
三、型腔尺寸的设计	119	一、陶瓷型铸造的实质、特点和应用 范围	168
四、抽芯机构	120	二、陶瓷型铸造工艺	170
五、顶出铸件机构	122	§ 6-2 连续铸造	173
六、压铸型的材料及压铸型的制造	125	一、连续铸造的基本原理、工艺特点 及应用范围	173
§ 4-5 压铸工艺	126	二、连续铸铁管	174
一、压铸压力和压铸速度的选择	126	三、连续铸管工艺与操作	185
二、浇注温度	127	§ 6-3 真空吸铸	187
三、压铸型的温度	127	一、真空吸铸的基本原理、特点及应用 范围	187
四、充填、持压和开型时间	128	二、真空吸铸设备	188
五、压铸用涂料	129	三、真空吸铸工艺	192
六、压铸生产自动化	130	§ 6-4 挤压铸造和液体金属冲压	194
七、压铸件清理	133	一、挤压铸造的工艺过程和应用范围	194
§ 4-6 压铸工艺的新发展	134	二、液体金属冲压的工艺过程及其应用	195
一、真空压铸	134	§ 6-5 磁型铸造	199
二、加氧压铸	135	一、磁型铸造的实质和应用范围	199
三、精、速、密压铸	136	二、磁型铸造所用的材料与要求	200
四、定向、抽气、加氧压铸	137	三、磁型铸造的浇注工艺及铸件质量 的控制	201
五、黑色金属压铸	137	四、磁型机及磁型生产线	205
六、半固态压铸	140		
第五章 离心铸造	142		
概述	142		
§ 5-1 铸件在离心力场中的成形特点	143		
一、离心力场	143		
二、离心力场中液体金属自由表面的 形状	143		
三、离心压力	146		

绪 论

一、特种铸造方法

铸造工艺中用得最普遍的方法是砂型铸造，它具有适应性广、生产准备简单等优点。但用此方法生产铸件的尺寸精度、表面光洁度都较差；铸件的内部质量也较低；生产过程较复杂不易实现机械化、自动化；在生产一些特殊零件（如管子、薄壁件）时，技术经济指标较低。所以除砂型铸造外，通过改变铸型的材料、浇注的方法、液体金属充填铸型的形式或铸件凝固的条件等因素，又形成了多种铸件成形过程有别于砂型铸造的其它铸造方法。人们把有别于砂型铸造工艺的其它铸造方法，统称为“特种铸造”。常见的特种铸造方法有：

1. 熔模铸造
2. 金属型铸造
3. 低压铸造
4. 压力铸造
5. 离心铸造
6. 陶瓷型铸造
7. 连续铸造
8. 真空吸铸
9. 挤压铸造和液体金属冲压
10. 磁型铸造

与砂型铸造比较，这些铸造工艺的优点可归纳如下：

1. 铸件的尺寸精度和表面光洁度较高，如压力铸造时，铸件的尺寸精度可达3级，表面光洁度达 $\nabla 7$ 。

2. 铸件的机械性能、内部质量较好。如金属型铸造时，与砂型铸造时相比，铝硅合金的抗拉强度可提高20%以上，延伸率的增加量大于25%，冲击性能值增加了一倍；离心铸造时，钢管的机械性能可满足锻钢件性能的要求。

3. 在生产一些结构特殊的铸件时，具有较好的技术经济效果。如管状铸件用离心铸造、连续铸造或真空吸铸法生产时，铸件的质量、生产效率都提高很多。二次世界大战时，苏联用真空吸铸法有效地解决了当时铜套毛坯质量低、产量小的问题；在美国，用熔模铸造生产出尺寸精度高、光洁度好的涡轮发动机叶片，这促进了新型航空发动机的生产。

4. 使铸造生产达到不用砂或少用砂的目的，降低了材料消耗，改善了劳动条件。除熔模铸造和陶瓷型铸造外，其它铸造工艺过程都简化很多，并使生产过程易于实现机械化和自动化。

但特种铸造方法的适应性差，如压力铸造在生产有色合金铸件时效果较好，而在生产黑色金属方面，则困难较多；连续铸造法只适于生产断面形状简单，并且断面形状在铸件长度方向上不变化的铸件，如铸锭、管子等。采用特种铸造方法时的生产准备工作量也较大，需要做复杂的工艺装备，如金属型、压铸型等；压力铸造还常需采用特殊的机器，如离心铸造

机、压力铸造机等。因此特种铸造工艺（陶瓷型铸造除外）一般适用于大批、大量生产。
各种特种铸造方法的应用范围见表0-1。

表0-1 各种铸造方法的应用范围

序号	铸造方法	铸件常用合金	铸件重量范围 (公斤)	铸件最小壁厚 (毫米)	表面光洁度	铸件尺寸公差	收得率 (%)	毛坯利用率	投产的最小批量 (件)
1	砂型	各种铸造合金	基本不受限制	> 3	$\nabla 1 \sim \nabla 3$	100 ± 1.0	30~50	0.7	单件
2	熔模铸造	碳钢、合金钢、有色金属	< 25公斤的复杂铸件	0.7; 孔 $\phi 1.5 \sim 2.0$	$\nabla 3 \sim \nabla 6$	100 ± 0.3	60	0.9	1000
3	金属型铸造	各种铸造合金	中小铸件; 有时达数吨	铸铝> 3 铸铁> 5	$\nabla 3 \sim \nabla 4$	100 ± 0.4	40~50	0.7	700~1000
4	低压铸造	有色金属	中小铸件; 有时达数百公斤	2	$\nabla 3 \sim \nabla 5$	100 ± 0.4	50~60	0.8	1000
5	压力铸造	有色金属	中小件 0.1~30	铜合金: 2 其它合金: 0.5~1.0	$\nabla 5 \sim \nabla 7$	100 ± 0.3	60	0.95	1000
6	离心铸造	铸钢, 铸铁、铜合金	中小件; 最大达数吨				85~95	0.7~0.9	100~1000
7	陶瓷型铸造	合金钢	中大铸件; 最大达数吨		$\nabla 3 \sim \nabla 5$	100 ± 0.35	50~60	0.9	5~100
8	连续铸造	各种铸造合金		4			90	连续管 0.9	6000~10000
9	真空吸铸	铜合金	小型套状铸件				85~95	0.7~0.9	1000
10	挤压铸造及液体金属冲压	有色金属、铸钢、铸铁	30公斤以下小件	6	$\nabla 3 \sim \nabla 7$		90~98	0.7~0.8	1000
11	磁型铸造	铸钢铸铁					40~50	0.7	1000

二、本课程的性质和任务

本课程是一门工艺性的专业课，它的任务是以砂型铸造时铸件成形的规律为基础，运用所学过的基础课和技术基础课的知识，对上述各种特种铸造方法中由于铸型材料、浇注方法、金属充填铸型情况或铸件凝固条件的变化所引起的铸件成形特点进行系统性的分析；并对每种铸造方法中的工艺原理进行详细的阐述。本课程还对一些重要工艺装备的设计原则、主要设备的工作原理以及某些铸件的典型工艺作了必要的叙述。

学生在学完本课程以后，应基本掌握每一种铸造方法的实质；了解每种铸造工艺的全过程和每一工序的作用；充分理解促使每种铸造方法之所以成为特种铸造工艺的起决定性作用的工艺因素；并学会从特种铸造方法起决定性作用的工艺因素出发，分析和理解铸件的成形特点，对铸件成形过程中所出现的问题进行研究，并提出合理的解决途径。如对金属型铸造而言，与砂型铸造相比，采用金属型是起决定性作用的工艺因素，由金属型所引起的铸件成

形特点为：金属型铸件冷却的速度大，铸型无退让性和透气性。这样便使铸造的生产过程、铸件的结构特点，浇注工艺、液体金属对铸型的充填、铸件在型中的凝固过程、结晶特点、铸件的质量等都发生了相应的变化。

学完本课程后，学生应能基本正确地为各种类型的铸件选择合理的铸造方法和制定出相应的工艺方案。

三、铸造方法的发展特点

在铸造工艺领域中，如上所述，出现了多种的铸造方法，其中发展历史最悠久的有熔模铸造和金属型铸造，早在几千年以前，我国的劳动人民就已掌握了这些方法的技术了。而发展历史最短的只有十多年，如磁型铸造。目前还正在研究一些新的铸造方法，如半固态压铸。通过对各种铸造方法发展历史的研究，可以看到，铸造方法尽管多种多样，它们具体的发展过程也各不相同，但都有下述几方面的共同性规律：

1. 每种铸造方法都是在原有铸造方法的基础上，通过改变某一工艺因素或突出某一工艺因素的作用而形成的。如压力铸造就是在金属型铸造的基础上，通过改变浇注的方法，将重力浇注改为在压力作用下高速浇注而形成的。低压铸造则是在突出一般铸造方法中的底注式工艺的作用而形成的。

2. 每种新铸造方法的发展也是应用其它学科技术中出现的新成就的结果。如现代熔模铸造之所以能获得发展，与化学工业能提供质量优良的粘结剂（如硅酸乙酯）和模料（石蜡、硬脂酸、松香等）分不开的。又如有关离心铸造方法的设想早在1809年就由英国人爱耳契耳特（Erchart）获得了第一个专利权，但由于当时没有合适的带动铸型旋转的动力源，第一台离心铸造机只是在四十年以后，在1894年由英国人安德罗·逊克（Andrew Shank）制造出来。电磁技术和高分子化学工业的成果为磁型铸造的出现提供了基础。

3. 每一种新铸造方法都只有在适应工业生产和社会建设需要的情况下才能获得发展。与此同时，新铸造方法的出现又会反过来推动其它技术的发展。如现代熔模铸造虽早在1907年由维利耶姆丁首创而用于制造金牙，但这一方法却长期来未能在工业中获得应用，只是在二次世界大战时，由于制造涡轮航空发动机叶片的需要，熔模铸造法才获得飞快的发展，而熔模铸造叶片的生产成功也进一步推动了涡轮发动机的发展。又如连续铸造法早在1857年就由转炉炼钢法的发明者贝斯麦（Bessemer S.）提出，可是这一方法只是在本世纪二十年代，当工业对大量钢锭的需求提到日程上来以后，才获得较快的发展。与此同时，连续铸造的推广也使钢材和其它金属材料的生产出现了新的面貌。

综上所述，特种铸造方法都是在原有铸造工艺的基础上，利用本学科或其它学科的成就，在适应科学技术或社会主义建设的某些需要的情况下发展起来的。由此可以推论：科学技术和社会建设在今后的发展过程中，一方面会向铸造技术提出新的要求，另一方面也将为铸造工艺的发展提供新的源泉。因此铸造工作者要在深入钻研本行业技术的前提下，同时注意其它科学领域中的发展情况，运用其它科技领域中的成就，来丰富和改善铸造工艺，创造出新的铸造方法，以满足工业生产和社会主义建设的需要。

第一章 熔模铸造

概 述

熔模铸造又称“失蜡铸造”，通常是在蜡模表面涂上数层耐火材料，待其硬化干燥后，将其中的蜡模熔去而制成型壳，再经过焙烧，然后进行浇注，而获得铸件的一种方法，由于获得的铸件具有较高的尺寸精度和表面光洁度，故又称“熔模精密铸造”。

早在二千多年前，我国的劳动人民就已掌握了“失蜡铸造”的原理，如古代流传下来的青铜钟鼎等器皿便是用这种方法铸造出来的。至今，还有老工人能用古老的熔模铸造法铸造铜像。此外埃及、印度等国家掌握熔模铸造法的历史也很悠久。

现代熔模铸造工艺与古代熔模铸造工艺相比，已有很大的不同。二十世纪初，牙科医生开始用熔模铸造工艺制造金属假牙。二次世界大战期间，由于当时机械工业及国防工业方面需要精密铸件，例如涡轮发动机的叶片形状复杂，尺寸精确，表面光洁度要求高且难于加工，就促使熔模铸造在现代机器制造工业中，首先在美国，而后在全世界其它国家迅速地发展起来了。

解放后，我国熔模铸造才得到发展。近二十年来，熔模铸造的应用范围不断扩大，并在结合我国现实的情况下取得了一些新的成就。目前它在航空、船舶、汽车、拖拉机、机床、农机、汽轮机、电讯机械、仪表、刀具、武器等制造行业中都得到了广泛的应用。国内已有不少专业化的熔模铸造工厂和车间，机械化生产的程度已达到了一定的水平。为适应我国社会主义四个现代化的需要，熔模铸造的生产规模正在迅速扩展，熔模铸造的工艺、材料和技术也正在不断地获得更新，铸件的质量逐步得到提高。

熔模铸造的工艺过程见图1-1。

可用熔模铸造法生产的合金种类有碳素

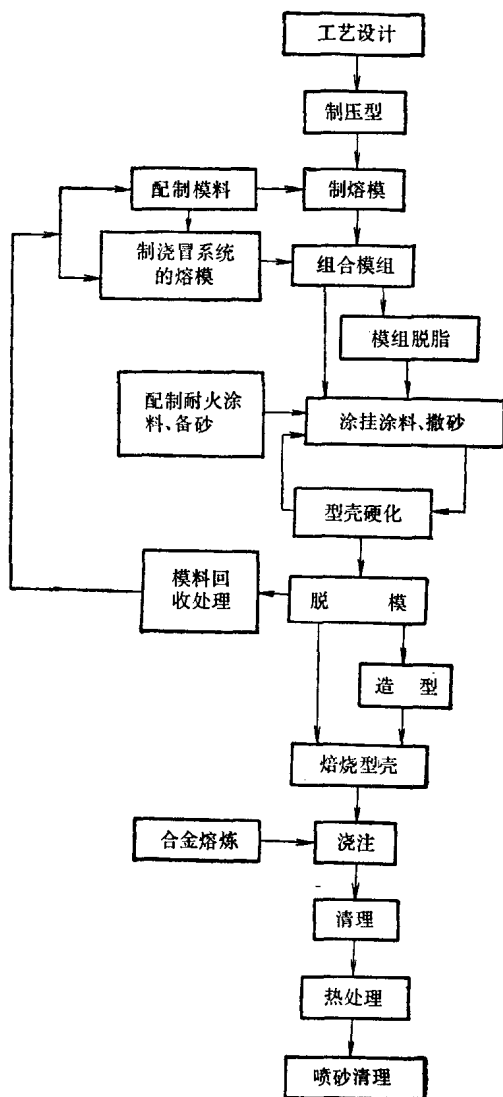


图1-1 熔模铸造工艺过程

钢、合金钢、耐热合金、不锈钢、精密合金、永磁合金、轴承合金、铜合金、铝合金、镁合金、钛合金和球墨铸铁等。

用熔模铸造法生产铸件的尺寸精度可达5~7级,铸件的表面光洁度最高达 $\nabla 6$ 。在涡轮发动机叶片的熔模铸造生产中,铸件的精度已达无加工余量的要求。

熔模铸件的形状一般都比较复杂,铸件上可铸出孔的最小直径可达0.5毫米,铸件的最小壁厚为0.3毫米。在生产中可将一些原来由几个零件组合而成的部件,通过改变零件的结构,设计成为整体零件而直接由熔模铸造铸出,以节省加工工时和金属材料的消耗,使零件结构更为合理。具体举例如图1-2所示。

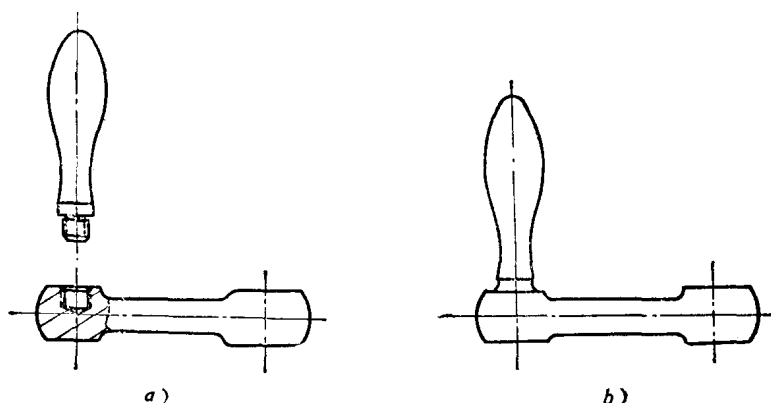


图1-2 机加工组合件改成熔模铸件

a) 机加工 b) 熔模铸造

熔模铸件的重量大多为几十克到几公斤,太重的铸件用熔模铸造法生产较为麻烦,但目前生产大的熔模铸件的重量已达800牛(80公斤)左右。

熔模铸造工艺过程较复杂,且不易控制,使用和消耗的材料较贵,故它适用于生产形状复杂、精度要求高、或很难进行其它加工的小型零件,如涡轮发动机叶片等。

§ 1-1 熔模的制造

熔模铸造生产的第一个工序就是制造熔模,熔模是用来形成耐火型壳中型腔的模型,所以要想获得尺寸精度和表面光洁度高的铸件,首先熔模本身就应该具有高的尺寸精度和表面光洁度。此外熔模本身的性能还应尽可能使随后的制型壳等工序简单易行。为得到上述高质量要求的熔模,除了应有好的压型(压制熔模的模具)外,还必须选择合适的制模材料(简称模料)和合理的制模工艺,本节将对后两个问题进行叙述。

一、模料

(一) 对模料性能的要求

制模材料的性能不单应保证方便地制得尺寸精确和表面光洁度高、强度好、重量轻的熔模,它还应为型壳的制造和获得良好铸件创造条件,所以模料的性能应满足以下要求。

1. 模料的合适熔点为 $60\sim 100^{\circ}\text{C}$,以便可以用简单的加热方法配制模料和自型壳中熔失熔模。

2. 模料开始软化变形的温度（称为软化点）要高于40℃，以保证制好的熔模在室温下不发生变形。

3. 模料要有高的强度、韧性和表面硬度，防止在熔模生产和制型壳的过程中出现熔模的破损、熔模表面的破坏以及型壳的断裂。

4. 在压制熔模时，模料的流动性要好，使熔模能清晰正确地复制压型型腔的形状；而在熔失熔模时，模料也易从型壳流出。

5. 模料在加热、冷却过程中的膨胀、收缩系数要小而稳定，使熔模上不易出现缩陷等缺陷，熔模的尺寸稳定。在熔失熔模时，阻滞在型壳中的液态模料也不易把型壳胀裂。

6. 模料应能被涂料很好地润湿，使涂料在制型壳时能均匀涂覆在熔模上，正确复制熔模的几何形状。

7. 模料的化学活性要低，它不应和生产过程中所遇到的物质（如压型材料、涂料等）发生化学作用，并对人体无害。

8. 模料在高温燃烧后，遗留的灰分要少，使焙烧后的型壳内部尽可能干净，防止铸件上出现夹渣的缺陷。

9. 模料的重度要小，焊接性要好，能多次复用，它的价格要便宜，来源要丰富。

经常用来配制模料的原材料的性能见表1-1。

表1-1 常用模料原材料的性能表

名 称	熔 点 (°C)	灰 分 (重量%)	密 度 25°C(克/厘米 ³)	抗 拉 强 度 (牛/米 ²)	延伸率 (%)	线收缩率 (%)	软化点 (°C)
石蜡	58~66	<0.11	0.85~0.87	$(2.21\sim2.94)\times10^5$	2~2.5	0.5~0.7	约30
硬脂酸	70~71	<0.02	0.84~0.87	$(1.72\sim1.96)\times10^5$	2.0~3.0	0.6~0.69	约35
松香	89~93	<0.03	0.88~1.07	—	—	0.07~0.09	52~66
川蜡	80~85	0.036~0.051	0.9~0.93	$(11.3\sim12.7)\times10^5$	1.6~2.2	0.8~1.2	—
地蜡	67~80	0.03	0.98	$>1.47\times10^5$	—	2.0	约40
褐煤蜡	82~87	0.1~0.5	0.86~1.01	—	—	—	—
聚乙烯	115~130	0.04~0.08	0.88~0.91	$(118\sim137)\times10^5$	—	1~1.5	约80

（二）模料的种类和性能

由于对制模材料有复杂的综合性能要求，单一的原材料是不能满足上面所提到的要求的，所以通常需要用两种或更多种的原材料来配制模料。模料一般用蜡料、天然树脂和塑料（合成树脂）配制。凡主要用蜡料配制的模料称为蜡基模料，它们的熔点较低，为60~70℃；凡主要用天然树脂配制的模料称为树脂基模料，熔点稍高，为70~120℃。

1. 蜡基模料 它主要用蜡料配制而成，用得最广泛的蜡基模料系由石蜡和硬脂酸配制。

石蜡是炼制石油的副产品，是饱和的固体碳氢化合物，它是含有20个以上碳原子烷烃的混合物，其分子通式为 C_nH_{2n+2} ，式中 $n = 20\sim30$ 。 n 越大，石蜡的熔点越高，如 $n = 30$ ，石蜡的熔点为70℃，此种石蜡称为70度石蜡。熔模铸造中常用的石蜡为58~62度石蜡。石蜡的化学活性低，呈中性，在140℃以下不易分解碳化、塑性好，故它是制模的好材料，但它的软化点低（约30℃），凝固收缩大，表面硬度小，故常和硬脂酸配合作为模料。

硬脂酸是固体的饱和羧酸（脂肪酸），分子式为 $C_{17}H_{35}COOH$ ，系用动、植物油脂加压蒸馏、水解制成。硬脂酸属弱酸，能直接与比氢更活泼的金属起置换反应，也容易与碱或碱性

氧化物起中和反应，生成皂盐（即皂化反应）。常压时，它在 120°C 以上会分解碳化。按制造时所加压力的大小，硬脂酸可分为一压、二压和三压三种，制作一级三压硬脂酸时所用的压力最大，它所含的有害杂质油酸最少，熔点为 60°C ，熔模铸造主要就使用此种硬脂酸。

石蜡和硬脂酸可以互溶，在石蜡中加入硬脂酸可提高模料的软化点、流动性、涂挂性和表面硬度。但当模料中硬脂酸含量超过80%时，模料的强度特低；而当硬脂酸含量小于20%时，熔模表面会起泡，它的涂挂性也不好。当硬脂酸含量在20~80%时，随硬脂酸增多，模料强度会略有下降，模料的凝固温度间隔也减小（图1-3）。生产中常用的石蜡—硬脂酸模料中石蜡和硬脂酸的含量往往各占50%。

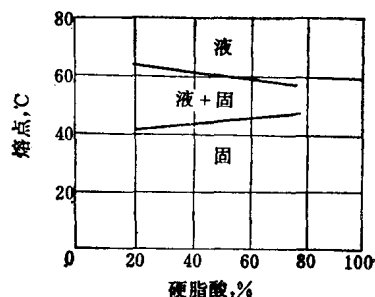


图1-3 石蜡—硬脂酸模料成分与熔点的关系

石蜡—硬脂酸模料配制简单，制模容易，性能基本符合熔模铸造的要求。但其软化点还是太低，夏天室温较高时，熔模易变形；它的收缩率也嫌太大。此外硬脂酸是一种价格较贵的材料。所以在石蜡—硬脂酸模料的基础上又出现了多种新成分的蜡基模料。

为提高石蜡—硬脂酸模料的软化点，可采用度数高的石蜡，如70度石蜡；也可在模料中加入聚乙烯、乙基纤维素或蜂蜡。

聚乙烯能少量地溶于石蜡中，石蜡也能少量地溶于聚乙烯中。在石蜡中加入10%聚乙烯，模料的滴点可由 50°C 提高到 80°C ，但流动性却降低了，并且收缩率增大。故在石蜡—硬脂酸模料中所加的聚乙烯含量只有1%左右。

乙基纤维素不溶于石蜡，而溶于硬脂酸中，故可借助硬脂酸把石蜡、乙基纤维素互溶在一起。在石蜡—硬脂酸模料中可加乙基纤维素约5%。

蜂蜡来源稀少，不宜采用。

为取代石蜡—硬脂酸模料中的硬脂酸，可采用树脂类材料，如松香、低分子聚乙烯等。

松香是将切开松树皮后分泌出来的松脂，经蒸馏提出松节油后而制得的，其主要成分为松香酸。它能与石蜡很好互溶，软化点高，收缩率低，但粘度大，流动性差。用松香配制性能较好的蜡基模料成分为石蜡40% + 松香40% + 地蜡20%。这种模料的韧性好，软化点高（ $33\sim 35^{\circ}\text{C}$ ），收缩率小（0.45~0.7%），涂挂性好，在使用过程不会产生有害的皂化物，所以旧模料的回收过程简单，只要煮沸片刻即可。但因松香的熔点高，所以配制模料麻烦；它的凝固温度区间小，因此模料的压注温度要严格控制；模料的流动性差，在压型中凝固较慢，故在制模时要用较高的压力和较长的保压时间。地蜡的价格也较贵。

近年来，国外也重视这种配方的模料，他们向模料中加入碳黑以减小模料的收缩率和提高模料的导热性，加速熔模在压型中的凝固。

用低分子聚乙烯替代硬脂酸配制蜡基模料也是近年来研究较多的配方。低分子聚乙烯的分子量小于5000，熔点为 60°C 左右，能与石蜡互溶。一般以用高压法生产聚乙烯时获得的低分子聚乙烯为好。石蜡—低分子聚乙烯模料的合适配方为石蜡95% + 低分子聚乙烯5%，它的强度高，收缩率小，熔点为 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，在使用时它不会皂化，故模料回收容易，只需加热片刻即可。

近来，国内正在研究用褐煤蜡代替硬脂酸制备蜡基模料。褐煤蜡是从褐煤中用有机溶剂

浸取而得的一种蜡料，主要由纯蜡、树脂和地沥青组成。它的熔点是 $77\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。用褐煤蜡配制的模料配方举例如石蜡60%+褐煤蜡30%+聚合松香10%。它的软化点是 40°C ，收缩率较低。

国外也采用褐煤蜡制备模料，其配方举例为褐煤蜡45~55%+松香7~10%+地蜡余量，可供参考。

2. 树脂基模料 多以松香为主要成分，故也可称松香基模料。主要用来生产精度要求高的熔模铸件，如涡轮发动机叶片等。树脂基模料的配方举例如（1）松香74.6%+地蜡20.7%+聚乙烯3.1%+210*松香改性酚醛树脂1.6%；（2）松香75%+地蜡15%+聚乙烯5%+川蜡5%。

川蜡是一种虫蜡，流动性好，软化点比松香高，故它能提高松香基模料的流动性、软化点和强度，降低脆性，但却会使收缩率增大。另外川蜡的晶粒粗大，会降低熔模的表面光洁度。川蜡用得较多的一种树脂基模料配方如松香47%+川蜡45%+地蜡5%+聚乙烯3%。

为进一步提高模料的软化点，有一种用改性松香代替部分松香的模料，其配方如：松香30%+210*改性松香27%+川蜡35%+地蜡5%+聚乙烯3%。这种模料的软化点为 $42\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，但收缩率偏大。

目前正在研究用乙烯—醋酸乙烯酯共聚树脂（简称EVA）代替聚乙烯以提高模料的韧性、强度和熔模的表面光洁度。

上述两类模料都是目前用得广泛的模料。

为进一步解决因模料软化而引起的熔模变形问题，目前正在试验用泡沫聚苯乙烯制造“熔模”。泡沫聚苯乙烯可用压力为 7×10^5 帕斯卡（即7大气压）的蒸汽熔化，它也可被燃烧气化，还能用三氯化烯溶化。聚苯乙烯的软化点为 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。制模时，将预发泡的聚苯乙烯珠粒放在压型中，将口堵死，放在 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行发泡，形成“熔模”。故泡沫聚苯乙烯是纯树脂基模料。但制模工艺复杂，不宜制造壁薄、形状复杂的“熔模”，“熔模”的表面光洁度差。

为尽可能地消除模料在成形时的收缩，提高熔模的精度，尿素粉填料模料也是一种正在试验的模料。尿素粉不是尿素，是尿素加热到 150°C 时先形成液状的二缩尿，而后再继续加热到 170°C 时形成的固体三聚氰胺，经球磨成粉状。尿素粉不溶于水，可混在模料之中。采用尿素粉的模料配方举例为：424*改性松香35%+硬脂酸30%+尿素粉35%+地蜡3%（外加）。

二、模料的配制与回收

（一）模料的配制

配制模料的目的是将组成模料的各种原材料混合成均匀的一体，并使模料的状态符合压制熔模的要求。配制时主要用加热的方法使各种原材料熔化混合成一体，而后再在冷却情况下，将模料剧烈搅拌，使模料成为糊膏状态供压制熔模用。有时也有将模料熔化为液体直接浇注熔模的情况。

1. 蜡基模料的配制 因为蜡基模料的原材料的熔点都低于 100°C ，为防止模料加热时温度太高所发生的分解碳化现象，大多采用蒸汽加热或热水槽加热的方法。图1-4即为一种用水槽加热熔化模料的装置，通过电加热器7把水加热，以水为媒介，热量通过蜡桶传给模料4，将模料熔化。如将该装置中的电加热去除，往水箱通入蒸汽，该加热槽便相应地被改成蒸汽加热熔化模料的装置了。

对熔化后的模料要搅拌均匀，并用100*或140*筛过滤除去杂质。而后放入容器中，在冷却过程中将蜡料制成糊状，其办法有两种。

(1) 旋转桨叶搅拌法 这是一种用得较广泛的方法，即将三分之一左右熔融蜡料和三分之二的固态小块蜡料放在容器中，旋转的桨叶（见图1-5）把固态蜡块充分粉碎，并和液态蜡均匀混成糊状。搅拌时应注意使蜡料表面尽可能平稳，防止卷入过多的空气，使蜡料中存有大的气泡，造成熔模表面因气泡外露而出现孔洞。

(2) 活塞搅拌法 把熔融的模料放入如图1-6所示的活塞缸中，借活塞的往复运动，使模料被迫通过活塞上的小孔在活塞的两面窜来窜去，模料被搅成糊状。根据放入活塞缸中模料的数量，可以控制混入模料中的空气量。通过活塞搅拌，可使模料中的空气以细小的气泡形式存在，这样，可减小制熔模时的收缩率。

2. 树脂基模料的配制 树脂基模料的熔点较高，一般用电阻炉加热熔化。树脂基模料的成分复杂，有的原材料不能互溶，如聚乙烯不溶于松香，但它却能和川蜡、地蜡溶在一起，并且它们的溶合物又都能溶于松香之中。因此配制树脂基模料时，要注意加料次序：先熔化川蜡、地蜡或石蜡，待升温至约140℃，在搅拌的情况下逐渐加入聚乙烯，再升温至约220℃，加入松香。全熔以后，在210℃时静置20~30分钟，以排除气体。最后滤去杂质，在降温情况下对模料进行搅拌，使成糊状（60~80℃）。如模料溶合不好，它的粘度会增大，晶粒粗大，使熔模质量降低。加热时，应防止温度过高，模料变质燃烧。

(二) 模料的回收

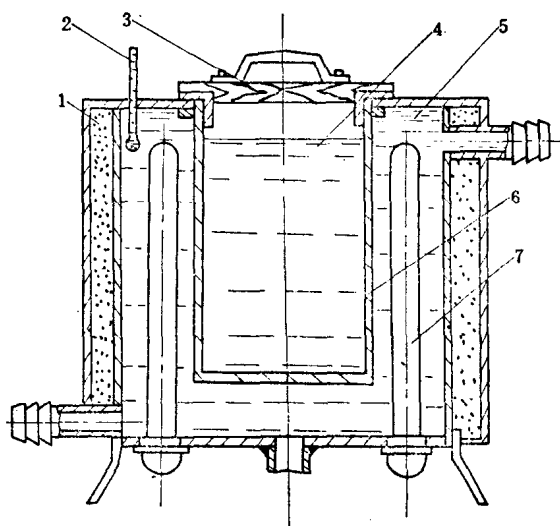


图1-4 熔化蜡基模料的加热槽

1—绝热层 2—温度计 3—盖 4—模料
5—水 6—蜡桶 7—加热器

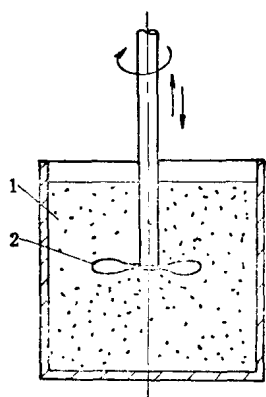


图1-5 旋转桨叶搅拌蜡基模料

1—模料 2—桨叶

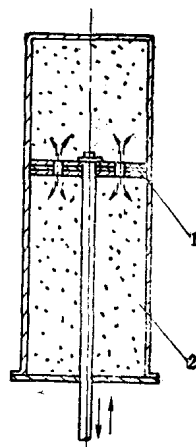


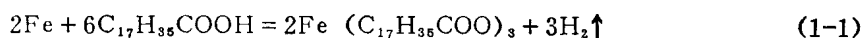
图1-6 活塞搅拌蜡基模料

1—活塞 2—模料

使用树脂基模料时, 由于对熔模的质量要求高, 大多用新材料配制模料压制铸件的熔模。而脱模后回收的模料, 在重熔过滤后用来制作浇冒口系统的熔模。

使用蜡基模料时, 脱模后所得的模料可以回收, 再用来制造新的熔模。可是在循环使用时, 模料的性能会变坏, 脆性增大, 灰分增多, 流动性下降, 收缩率增大, 颜色由白变褐, 这些主要与模料中硬脂酸的变质有关。

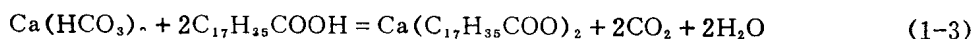
1. 蜡基模料中硬脂酸变质的原因 硬脂酸呈酸性, 它能和化学活性比氢强的金属进行置换反应, 如在制熔模时, 硬脂酸与铁接触, 便出现如下的置换反应:



硬脂酸还能和碱起中和反应, 如在水玻璃作型壳的粘结剂时, 硬脂酸会和 NaOH 发生如下的反应:



在熔失熔模时, 硬脂酸会和硬水中的钙、镁金属盐类起复分解反应, 如

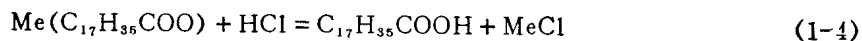


上述反应统称为皂化反应, 所产生的硬脂酸盐称为皂盐或皂化物, 大多不溶于水, 但却能与模料均匀混合, 使模料性能变坏。

因此, 为了尽可能地恢复旧模料的原有性能, 就要从旧模料中除去皂盐, 常用的方法有盐酸(硫酸)处理法、活性白土处理法和电解回收法。

2. 蜡基模料的处理方法

(1) 盐酸(硫酸)处理法 盐酸和硫酸都可使除硬脂酸铁以外的硬脂酸盐还原为硬脂酸, 即



式中 Me 为金属离子。

其具体方法为将水和旧模料放在不会生锈的容器中, 加热至 $80\sim 90^\circ\text{C}$, 然后加入蜡料重量 $3\sim 5\%$ 的纯盐酸或 $2\sim 3\%$ 的浓硫酸, 继续加热, 使酸充分与模料接触并反应, 经过 $30\sim 40$ 分钟后, 静置使模料与水分离, 然后取出处理好的模料, 铸成锭块备用。

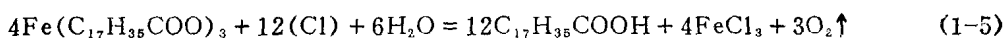
硬脂酸铁与盐酸、硫酸的反应为可逆反应, 并很快达到平衡, 故模料中的硬脂酸铁不能去除干净。

(2) 活性白土处理法 活性白土是一种经酸处理后的粘土, 它的晶格由硅氧四面体和铝氧八面体交叉成层构成, 各层间有大量孔隙, 好的白土, 其孔隙率可达 $60\sim 70\%$, 有很大的比表面积, 因而具有较高的吸附能力, 能吸附旧模料中的硬脂酸盐(包括硬脂酸铁)。此外活性白土中的阳离子(特别是 Al^{3+}) 还能和模料中带负电荷的胶状杂质结成中性质点, 变成凝胶下沉。所以可用活性白土去除模料中的一切硬脂酸盐。

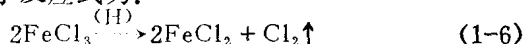
生产中一般用此法作为盐酸处理的补充工序。即每隔一段时间, 将用盐酸处理过的模料加热到 120°C 左右, 向模料加入烘干的活性白土(为模料重量的 $10\sim 15\%$), 进行搅拌, 约半小时后, 在 120°C 下保温静置 $4\sim 5$ 小时, 待活性白土与液态模料充分分离后, 即可得处理好的模料。

(3) 电解法 其目的为除去旧模料中的硬脂酸铁。电解液是浓度为 $2.8\sim 3.5\%$ 的盐酸溶液, 其温度为 $80\sim 85^\circ\text{C}$, 以碳精棒为阳极, 铅板作阴极。向电解槽中放入熔融经酸处理过的模料(见图1-7), 通电, 当电压超过盐酸的分解压(1.36伏)后, 在阳极上析出活性极强

的初生态氢，它能自硬脂酸铁夺取三价铁离子，其反应为：



而在阴极则析出还原能力极强的初生态氢，将 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ，其化学反应式为：



FeCl_2 在水中溶解度大，它能从模料进入盐酸中。这样硬脂酸铁便不断地被还原成硬脂酸。

生产中盐酸法用得较多，有时也用活性白土法，而电解法因工艺复杂，应用较少。

三、熔模和模组的制造

(一) 熔模的制造

生产中大多采用压力把糊状模料压入压型的方法制造熔模。压制熔模之前，需先在压型表面涂薄层分型剂，以便从压型中取出熔模。压制蜡基模料时，分型剂可为机油、松节油等；压制树脂基模料时，常用蓖麻油和酒精的混合液或硅油作分型剂。分型剂层越薄越好，使熔模能更好地复制压型的表面，提高熔模的表面光洁度。压制熔模的方法有下述三种。

1. 柱塞加压法 如图 1-8 a 所示，此法最简单，把压蜡筒 2 盛满模料，对准压型 7 的注蜡口，加力于柱塞 1，模料便被压入压型内。手工压制熔模时常用此法。但所加压力较小，只适用于压蜡基模料，生产效率也低。

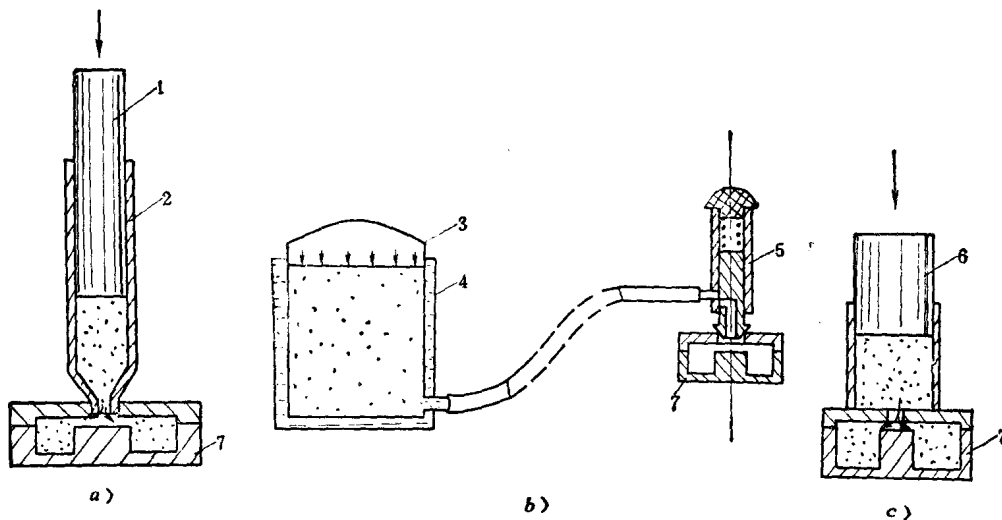


图1-8 熔模压制法示意图

a) 柱塞加压法 b) 气压法 c) 活塞加压法

1—柱塞 2—压蜡筒 3—压力罐 4—保温罐 5—蜡枪头 6—活塞 7—压型

2. 气压法 如图 1-8 b 所示，模料放入密闭的保温罐 4 中，向罐内通入 $(2 \sim 3) \times 10^5$ 帕斯卡 (2 ~ 3 大气压) 的压缩空气，将模料经导管压向蜡枪头 5。制熔模时，只需将蜡枪头的压蜡嘴压在压型的注蜡口上，蜡枪头内通道打开，模料便进入压型。此法只适用于压蜡基模料。因其操作容易，故国内有不少压模机都采用此种压模法。

3. 活塞加压法 如图 1-8 c 所示，压力机向活塞 6 上加压，把模料挤入压型中，因所用压力较大，故常用于压制树脂基模料。