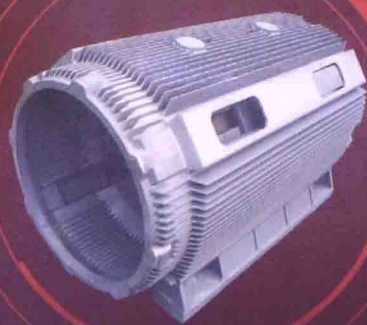


普通高等教育“十二五”规划教材

# 特种铸造

>>>>>>> 周志明 王春欢 黄伟九 主编

配套电子课件

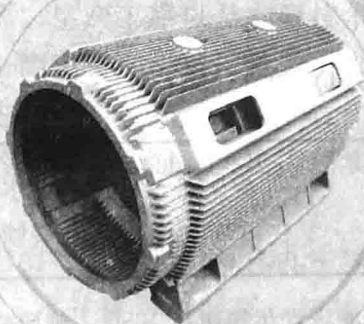


化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 特种铸造

>>>>>>> 周志明 王春欢 黄伟九 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书坚持以“应用为主”为前提，从内容上兼顾理论基础和工艺设计两个方面，突出学生工程实践意识和创新能力的培养。全书共分为8章，第1~6章分别系统地介绍了熔模精密铸造、消失模铸造、金属型铸造、反重力铸造、压力铸造、离心铸造等特种铸造方法的工艺特点、基本原理、应用领域，并着重阐述特种铸造的生产流程、生产工序以及主要技术参数、铸件缺陷分析和铸件应用实例。第7章对石膏型精密铸造、陶瓷铸造、挤压铸造、半固态铸造、连续铸造、喷射成形和快速铸造等其他先进铸造技术进行了简要介绍。第8章简单介绍了计算机在铸造技术中的应用。本书取材经典而新颖，内容丰富和全面，突出应用实例，辅以大量数据图表，极富启发性和实用性。为方便教学，本书配套电子课件。

本书可作为普通高等院校机械、材料类专业本科生及相关专业大专院校师生的教材，也可以作为相关专业研究生、工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

特种铸造/周志明, 王春欢, 黄伟九主编. —北京:  
化学工业出版社, 2014.8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-122-21038-8

I. ①特… II. ①周… ②王… ③黄… III. ①特种铸  
造-高等学校-教材 IV. ④TG249

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 135583 号

---

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 王素芹

装帧设计: 张辉

---

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 459 千字 2014 年 10 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

铸造是汽车、电力、钢铁、石化、造船、装备制造等支柱产业的基础制造技术。2013年我国各类铸件总产量为4450万吨，产值约5500亿元，位居全球之首，然而其高性能的优质铸件占的比例较低。随着科学技术的发展和人类生活需求的多样化，对铸件生产提出了新的更高的要求，如要求铸件的尺寸精度更接近零件的最终形状和尺寸，以实现少切削或无切削加工；要求铸件的质量好，力学性能高；要求改善劳动条件和环境；要求尽可能简化生产工艺过程，提高生产效率，便于实现机械化和自动化；要求铸件生产所消耗的资源 and 能源越来越少，生产成本低，经济效益和社会效益高。尽管近年来不少企业通过技术改造取得了较大的进步和改观，然而我国铸造产业仍然面临经济效益差、铸件质量低、材料利用率低、能耗高、劳动条件恶劣和环境污染严重等问题，满足不了日益激烈的市场竞争需要。因此为了满足我国经济建设快速发展与铸造行业水平不断提高的需要，我国铸造企业需要面向市场，调整产业结构，优化资源配置，通过特种铸造技术来优化生产工艺，提升铸件质量、提高劳动生产率、降低能源消耗和环境污染等实现可持续生产。

为适应国家对应用型人才培养的需要，本书坚持以“应用为主”为前提，从内容上兼顾理论基础和工艺设计两个方面，突出学生工程实践意识和创新能力的培养。本书较详细地介绍了各类特种铸造的基本原理、工艺特点、应用、材料的使用、铸造成形工艺设计等方面，尤其注重产品的设计特点、铸造成形技术和工艺的设计及优化等，具有较好的前沿性和实用性。

本书可作为普通高等院校机械、材料类专业本科生及相关专业大专院校师生的教材，也可以作为相关专业研究生、工程技术人员的参考书。

全书共分为8章，第1~6章分别系统地介绍了熔模精密铸造、消失模铸造、金属型铸造、反重力铸造、压力铸造、离心铸造等特种铸造方法的工艺特点、基本原理、应用领域，并着重阐述特种铸造的生产流程、生产工序以及主要技术参数、铸件缺陷分析和铸件应用实例。第7章对石膏型精密铸造、陶瓷铸造、挤压铸造、半固态铸造、连续铸造、喷射成形和快速铸造等其他先进铸造技术进行了简要介绍。第8章简单介绍了计算机在铸造技术中的应用。本书取材经典而新颖，内容丰富和全面，突出应用实例，辅以大量数据图表，极富启发性和实用性。

本书由重庆理工大学的周志明、王春欢、黄伟九主编，全书由周志明进行统稿。王春欢编写第1~4章，周志明编写第5章并撰写了前言，柴林江编写第6章，王春欢和黄伟九编写第7章，涂坚编写第8章。重庆理工大学的刘杰、刘兵、肖红梅、陈宝凤等研究生参加了部分编写与校正工作。

本书在编写过程中得到了重庆市教育教学改革研究项目、重庆市研究生教育教学改革研究项目和重庆理工大学教育教学改革项目等支持与帮助，在此谨致谢意。

本书有配套电子课件，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如有需要，可发邮件到 [hqlbook@126.com](mailto:hqlbook@126.com) 索取。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏或不妥之处，敬请广大读者批评指正！

编者

# 目 录

第 1 章 熔模精密铸造	1	1.8.4 浇冒口系统设计	29
1.1 概述	1	1.9 压型设计	33
1.1.1 工艺过程	1	1.9.1 机械加工压型	33
1.1.2 工艺特点	1	1.9.2 易熔合金、石膏、橡胶压型	34
1.1.3 应用范围	3	1.10 熔模铸件常见缺陷及预防措施	35
1.2 模料	3	习题	37
1.2.1 模料	3	第 2 章 消失模铸造	38
1.2.2 模料的分类	4	2.1 概述	38
1.2.3 模料的配制	5	2.1.1 消失模铸造成形原理分析	38
1.2.4 模料的回收及再生	6	2.1.2 消失模铸造工艺流程	39
1.3 熔模的制造与组装	7	2.1.3 消失模铸造的特点	40
1.3.1 熔模的制造	7	2.1.4 消失模铸造的应用概况	41
1.3.2 熔模的组装	9	2.2 模样的制造	42
1.3.3 熔模的清洗	9	2.2.1 模样的要求	42
1.4 型壳的制作	10	2.2.2 模样生产的工艺流程	42
1.4.1 型壳耐火材料	10	2.2.3 模样材料	43
1.4.2 型壳黏结剂	12	2.2.4 泡沫模样的制作	44
1.4.3 型壳涂料的配制	13	2.2.5 泡沫塑料模浇注系统及模组黏结	48
1.4.4 型壳的制造	14	2.2.6 模样常见缺陷的原因及预防方法	49
1.4.5 复合型壳	16	2.3 发泡模具的设计及制造	51
1.5 熔模铸造型芯	16	2.3.1 发泡成形工艺设计	51
1.5.1 熔模铸造型芯的分类	16	2.3.2 发泡成形模具设计	53
1.5.2 热压注陶瓷型芯	17	2.3.3 发泡模具制造	55
1.5.3 水溶型芯	18	2.4 涂料	57
1.5.4 水玻璃砂型芯	19	2.4.1 涂料的作用及性能要求	57
1.6 熔模铸件的浇注	20	2.4.2 涂料的组成、制备与使用	58
1.6.1 常用的浇注方法	20	2.4.3 涂料常见缺陷及措施	60
1.6.2 浇注工艺参数	21	2.5 造型及振动紧实	61
1.7 铸件的清理	22	2.5.1 型砂	61
1.7.1 清除型壳	22	2.5.2 型砂的紧实	61
1.7.2 切割浇冒口	22	2.5.3 干砂振动充填紧实的影响因素	62
1.7.3 铸件表面的清理	22	2.5.4 砂箱中的减压程度	62
1.7.4 铸件的修补和清理	23	2.6 浇注系统及浇注工艺	62
1.7.5 铸件的热处理	24	2.6.1 浇注工艺参数	62
1.8 熔模铸造工艺设计	24	2.6.2 浇注位置的确定	64
1.8.1 铸件结构工艺设计	24	2.6.3 浇注系统的形式	64
1.8.2 铸造工艺方案确定	25		
1.8.3 工艺参数选择	26		

2.6.4 浇注系统的设计 .....	65	4.2.3 浇注系统设计 .....	102
2.7 消失模铸造缺陷分析 .....	66	4.2.4 升液管设计 .....	105
习题 .....	67	4.3 低压铸造工艺参数选择 .....	105
<b>第3章 金属型铸造</b> .....	<b>69</b>	4.3.1 加压工艺参数选择 .....	105
3.1 概述 .....	69	4.3.2 浇注温度及铸型温度 .....	107
3.1.1 金属型铸造工艺过程 .....	69	4.3.3 涂料 .....	107
3.1.2 金属型铸造的优缺点 .....	70	4.4 Cosworth 工艺 .....	108
3.1.3 金属型铸造的成形特点 .....	70	4.4.1 工艺原理 .....	108
3.1.4 应用概况 .....	72	4.4.2 工艺特点 .....	108
3.2 金属型铸件的工艺设计 .....	72	4.4.3 工艺应用 .....	108
3.2.1 金属型铸件设计 .....	72	4.5 低压铸造设备 .....	109
3.2.2 铸件在金属型中的位置 .....	76	4.5.1 低压铸造机 .....	109
3.2.3 分型面的选择 .....	79	4.5.2 自动加压控制系统 .....	110
3.2.4 铸造工艺参数选择 .....	79	4.6 其他反重力铸造成形工艺 .....	111
3.3 浇注系统的设计 .....	80	4.6.1 差压铸造 .....	111
3.3.1 浇注系统的设计原则 .....	80	4.6.2 真空吸铸 .....	114
3.3.2 浇注系统的形式 .....	81	4.6.3 调压铸造 .....	117
3.3.3 浇注系统的计算 .....	82	4.7 反重力铸造成形应用实例 .....	118
3.3.4 冒口设计 .....	83	4.7.1 大型薄壁筒体件反重力铸造	
3.4 金属型设计 .....	83	成形 .....	118
3.4.1 金属型的结构形式 .....	83	4.7.2 薄壁壳体反重力铸造成形 .....	119
3.4.2 金属型型腔的设计 .....	84	习题 .....	120
3.4.3 金属型芯的设计 .....	86	<b>第5章 压力铸造</b> .....	<b>121</b>
3.4.4 排气系统设计 .....	88	5.1 概述 .....	121
3.4.5 金属型半型间的定位 .....	90	5.1.1 压铸的工艺特点 .....	121
3.4.6 金属型的锁紧机构 .....	90	5.1.2 压铸机的分类 .....	122
3.4.7 顶出铸件机构 .....	91	5.1.3 压铸方法的分类 .....	123
3.4.8 金属型的预热和冷却装置 .....	93	5.1.4 应用概况 .....	123
3.4.9 金属型的材料 .....	94	5.2 压铸成形原理 .....	124
3.4.10 金属型的破坏原因 .....	95	5.2.1 工艺原理 .....	124
3.5 金属型铸造工艺 .....	96	5.2.2 填充理论 .....	125
3.5.1 金属型的预热 .....	96	5.2.3 能量转换 .....	126
3.5.2 涂料及涂敷工艺 .....	97	5.2.4 充型的连续性 .....	127
3.5.3 金属型浇注工艺 .....	98	5.3 压铸工艺参数 .....	127
3.6 金属型铸件常见缺陷及预防措施 .....	98	5.3.1 压力 .....	127
习题 .....	99	5.3.2 速度 .....	130
<b>第4章 反重力铸造</b> .....	<b>100</b>	5.3.3 温度 .....	131
4.1 低压铸造成形概述 .....	100	5.3.4 时间 .....	133
4.1.1 工作原理及浇注工艺过程 .....	100	5.4 压铸件工艺设计 .....	134
4.1.2 工艺特点 .....	101	5.4.1 压铸件结构工艺性 .....	134
4.1.3 应用概况 .....	101	5.4.2 壁厚和肋 .....	137
4.2 低压铸造工艺设计 .....	102	5.4.3 铸造圆角 .....	138
4.2.1 铸型种类的选择 .....	102	5.4.4 铸孔与铸槽 .....	139
4.2.2 分型面的选择 .....	102	5.4.5 螺纹与齿轮 .....	139

5.4.6	网纹及图案	140	习题	189
5.4.7	嵌铸	140	<b>第6章 离心铸造</b>	191
5.4.8	铸造斜度	142	6.1 概述	191
5.4.9	加工余量	142	6.2 离心铸造原理	192
5.5	分型面的确定	143	6.2.1 离心力和离心力场	192
5.5.1	分型面的形式	143	6.2.2 离心力场中液体金属自由表面的形状	193
5.5.2	分型面的确定原则	143	6.2.3 液体金属中异相质点的径向运动	194
5.5.3	分型面的选择	143	6.2.4 离心铸件在液体金属相对运动影响下的凝固特点	194
5.6	浇注系统设计	145	6.3 离心铸造机	195
5.6.1	设计原则	145	6.4 离心铸造工艺	198
5.6.2	浇注系统的组成	146	6.4.1 铸型转速的选择	198
5.6.3	浇注系统的种类及特点	150	6.4.2 离心铸型	199
5.6.4	溢流槽	152	6.4.3 离心浇注	201
5.6.5	排气槽	154	6.5 离心铸造工艺实例	204
5.6.6	充填位置的选择	155	6.5.1 铸铁汽缸套的离心铸造工艺	204
5.7	压铸型的设计	159	6.5.2 铸铁管的金属型离心铸造工艺	206
5.7.1	压铸模具结构	159	6.5.3 双金属复合轧辊的离心铸造工艺	207
5.7.2	成形零件的设计	164	习题	209
5.7.3	型腔尺寸的计算	169	<b>第7章 其他特种铸造</b>	210
5.7.4	抽芯机构	171	7.1 石膏型精密铸造	210
5.7.5	推出机构	174	7.1.1 概述	210
5.7.6	模具的冷却	175	7.1.2 石膏型铸造工艺	211
5.8	压铸型技术要求	176	7.1.3 石膏型铸件工艺设计	218
5.8.1	压铸型零部件的尺寸精度	176	7.2 陶瓷型铸造	220
5.8.2	压铸合金的选择及热处理	180	7.2.1 概述	220
5.8.3	总装技术要求	180	7.2.2 陶瓷型铸造工艺	222
5.9	压铸涂料的选用	182	7.3 挤压铸造成形	226
5.9.1	涂料的作用	182	7.3.1 概述	226
5.9.2	对涂料的要求	182	7.3.2 挤压铸造合金的组织与性能	229
5.9.3	涂料的选择及喷涂	182	7.3.3 挤压铸造工艺	230
5.10	压铸件缺陷分析	183	7.3.4 铸型设计	232
5.11	压铸新技术	185	7.3.5 挤压铸造技术新发展	232
5.11.1	真空压铸	185	7.4 半固态铸造成形技术	233
5.11.2	加氧压铸	186	7.4.1 概述	233
5.11.3	精、速、密压铸	187	7.4.2 半固态铸造金属浆料的制备	235
5.11.4	超低速压铸	187	7.4.3 半固态金属组织形成机理	238
5.12	压铸件生产案例	188	7.4.4 半固态合金的力学行为	238
5.12.1	压铸件的简介	188	7.4.5 半固态金属流变铸造技术	239
5.12.2	压铸件的精度、表面粗糙度及加工余量的确定	188	7.4.6 半固态金属触变铸造技术	243
5.12.3	压铸件基本结构单元设计	188	7.5 连续铸造	245
5.12.4	压铸机的选取	189		
5.12.5	参数计算	189		
5.12.6	浇注系统及推出结构的分布	189		

7.5.1 概述 .....	245	习题 .....	270
7.5.2 连续铸造钢坯 .....	246	第 8 章 计算机技术在铸造技术中的应用 .....	272
7.5.3 有色合金坯的连续铸造 .....	249	8.1 铸造过程计算机数值模拟 (CAE) ...	272
7.5.4 铸铁的连续铸造 .....	252	8.1.1 概述 .....	272
7.6 喷射成形 .....	254	8.1.2 铸造过程计算机数值模拟 (CAE) 的流程 .....	272
7.6.1 概述 .....	254	8.2 铸造工艺计算机辅助设计 (CAD) ...	279
7.6.2 喷射成形工艺 .....	256	8.2.1 概述 .....	279
7.6.3 喷射成形装置 .....	258	8.2.2 冒口 CAD 系统 .....	280
7.6.4 喷射成形孔隙产生与致密化 .....	258	8.2.3 浇注系统 CAD 系统 .....	280
7.6.5 合金材料的喷射成形 .....	260	习题 .....	282
7.7 快速铸造 .....	262	参考文献 .....	283
7.7.1 快速成形的主要工艺 .....	262		
7.7.2 快速铸造 .....	263		



# 第 1 章 熔模精密铸造

## 1.1 概述

熔模精密铸造，简称熔模铸造（Investment Casting），是将液态金属浇入由熔模熔失后形成的中空型壳并在其中成形从而获得精密铸件的方法，又称失蜡铸造（Lost Wax Casting）。

我国失蜡铸造历史悠久，最晚起源于春秋时期。失蜡铸造是在焚失法铸造工艺（商代中期出现的运用可燃烧成灰的材料，如绳索等作为模型，制整体外范后烧去可燃烧材料即可浇注金属液，即无范线构件的“焚失法”铸造工艺）原理的基础上，运用蜂蜡、松香、油脂等制造蜡模，从而创造了失蜡铸造法。目前发现最早的失蜡铸件为春秋中期（公元前 570 年）楚国铸造的愠儿盞，其后是楚王盞（公元前 560 年或稍早）和透空云纹铜禁等物的出现。近代熔模铸造于 1907 年由维利耶姆丁首创，用于制造金牙，但该方法在工业中一直未能获得应用。在第二次世界大战期间，美国、英国等国用该技术制造涡轮发动机叶片才使该技术获得快速发展。熔模铸造叶片的诞生也进一步推动了涡轮发动机的发展。目前工业上用的 98% 以上的钛合金铸造结构件都是熔模铸造制造的。

熔模铸造生产技术已发展到很高的水平，其生产的铸件精密、复杂，接近于零件最后的形状，可不经加工直接使用或只经很少加工后使用，是一种近净形技术，已成为航空航天和军工领域及复杂结构件的重要材料成形方法。

### 1.1.1 工艺过程

熔模精密铸造生产工艺流程如图 1-1、图 1-2 所示。

### 1.1.2 工艺特点

与其他铸造方法和零件成形方法比较，熔模铸造具有以下特点。

① 铸件尺寸精确。一般其精度可达 CT4~7，有时尺寸公差可小于  $\pm 0.005\text{cm}$ 。表面粗糙度最小可达  $Ra0.63\sim 1.25\mu\text{m}$ ，故可使铸件达到少切削，甚至无余量的要求。

② 可铸造形状复杂的铸件。铸件壁厚最小可为 0.5mm，可铸最小孔径为 0.5mm，最小的铸件质量可达 1g，而重的铸件可达 10kg 以上，最重的熔模铸件有达 80kg 的记录。还可把原由几个零件组装、焊接起来的组合件进行整体铸造，减轻机件质量，缩短生产过程。

③ 不受铸件材料的限制。熔模铸造可用来制造碳钢、合金钢、球墨铸铁、铜合金、铝合金、镁合金、钛合金、高温合金、贵重金属的铸件。一些难以锻造、焊接或切削加工的精密铸件用熔模铸造法生产具有很大的经济效益。

④ 铸件尺寸不能太大，质量也有限制，不像砂型铸造那样可生产几吨甚至几十吨重的铸件。

⑤ 工艺过程复杂、工序繁多，使生产过程控制难度大增。消耗的材料较贵，对模具和设备要求较严。生产周期长。

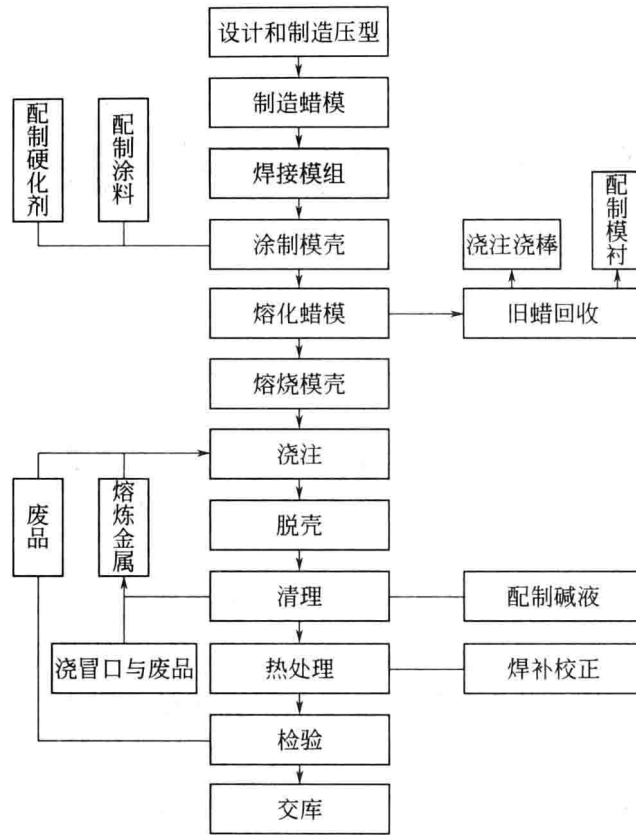


图 1-1 熔模精密铸造生产工艺流程框图

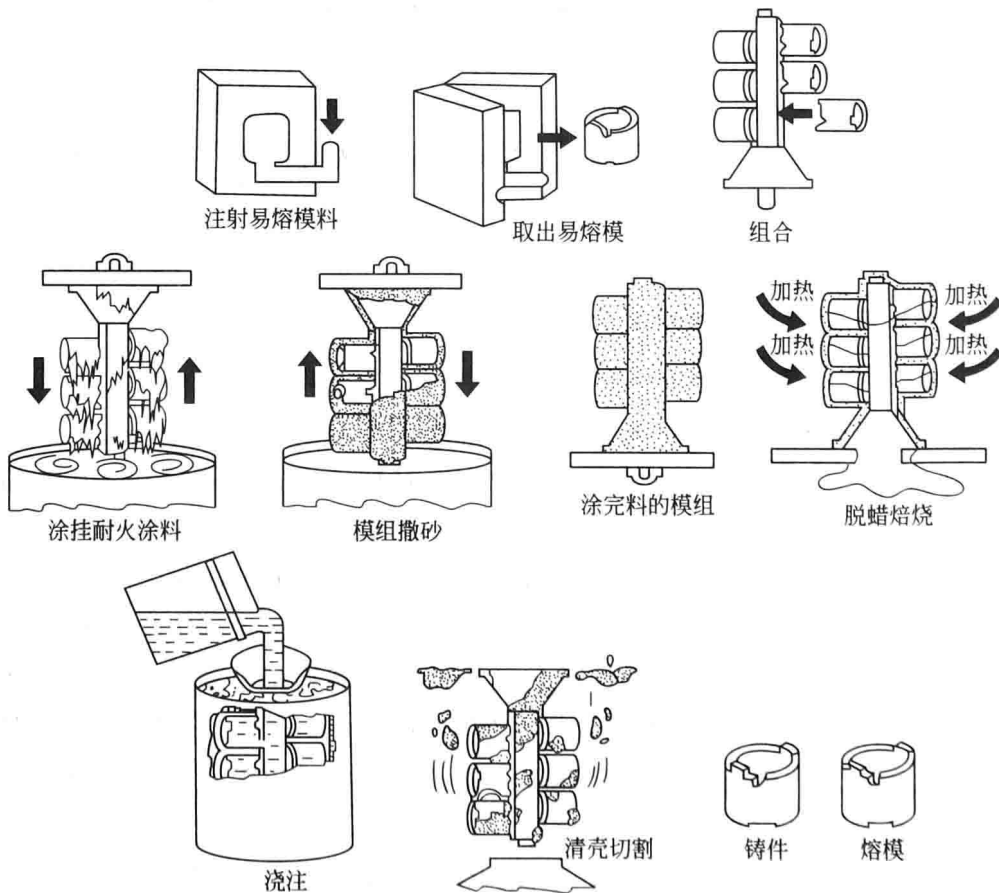


图 1-2 熔模精密铸造生产工艺流程示意图

⑥ 铸件冷却速度慢，故铸件晶粒粗大。除特殊产品，如定向结晶件、单晶叶片外，一般铸件的力学性能都有所降低，需要通过热处理来提高铸件性能等。碳钢件还易表面脱碳。

### 1.1.3 应用范围

熔模铸造应用于几乎所有的工业部门，特别是航空航天、造船、汽轮机和燃气轮机、兵器、电子、石油、核能、机械等。同时，熔模铸造适用于形状复杂、难以用其他方法加工成形的精密铸件的生产，如航空发动机的叶片、叶轮，复杂的薄壁框架，雷达天线，带有很多散热薄片、柱、销轴的框体、齿套等。图 1-3 图 1-4 为熔模铸件应用实例。

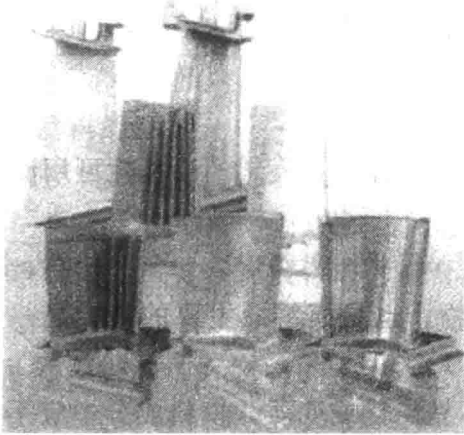


图 1-3 定向凝固柱晶和单晶空心叶片

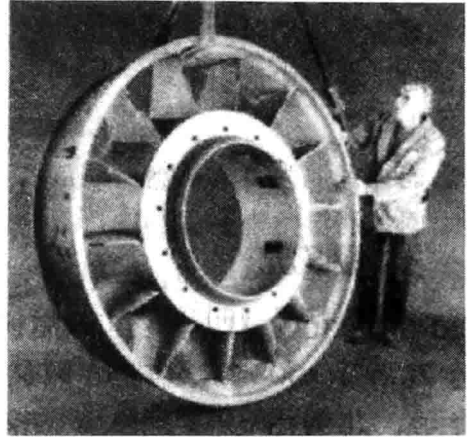


图 1-4 大型复杂熔模铸件

## 1.2 模料

### 1.2.1 模料

对模料的性能要求如下。

#### (1) 熔化温度和凝固温度范围

模料的熔化温度范围通常控制在  $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，凝固温度范围则以  $6\sim 10^{\circ}\text{C}$  为宜。

#### (2) 耐热性

耐热性是指当温度升高时模料抗软化变形的能力。通常有两种表示方法：一种是软化点，另一种是热变形量，后者测试更方便些。一般要求  $35^{\circ}\text{C}$  下模料的热变形量为

$$\Delta H_{35-2} \leq 2\text{mm} \quad (1-1)$$

式中， $\Delta H_{35-2}$  为  $35^{\circ}\text{C}$ 、2h 时悬臂试样伸出端下垂量。

#### (3) 收缩率

模料热胀冷缩小，可以提高熔模的尺寸精度，也可减少脱蜡时胀裂型壳的可能性。所以，收缩率是模料最重要的性能指标之一，模料线收缩率一般应小于  $1.0\%$ ，优质模料线收缩率为  $0.3\%\sim 0.5\%$ 。

#### (4) 强度

模料在常温下应有足够的强度和硬度，以保证在制模、制壳、运输等生产过程中熔模不发生破损、断裂或表面擦伤。模料强度通常以抗弯强度来衡量。模料的抗弯强度一般不低于  $2.0\text{MPa}$ ，最好为  $5.0\sim 8.0\text{MPa}$ 。

#### (5) 硬度

为保持熔模的表面质量，模料应有足够的硬度，以防摩擦损伤。模料硬度常以针入度来表示。模料的针入度多在 4~6 度（1 度 =  $10^{-1}$  mm）。

#### (6) 黏度

黏度指模料在液态下（如 99℃）的黏度。为便于脱蜡和模料回收，模料在 90℃ 附近的黏度应为  $3 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-1}$  Pa·s。黏度大会影响脱蜡速度，使水分、粉尘分离困难，影响模料回收。

#### (7) 流动性

流动性指模料压注状态（通常为膏状）充填压型型腔的能力。模料应具有良好的流动性，以利于充满压型型腔，获得棱角清晰、尺寸精确、表面平滑光洁的熔模；此外，也便于模料在脱蜡时从型壳中流出。

#### (8) 涂挂性

模料应能很好地为耐火材料所润湿，并形成均匀的覆盖层，模料的涂挂性可用测定熔模与黏结剂之间的润湿角来衡量。

#### (9) 灰分

灰分指模料经高温（900℃ 以上）焙烧后的残留物，也是模料最主要的指标之一。一般灰分应低于 0.05%，钛合金用模料灰分要求低于 0.01%。

此外，还希望模料的化学性质稳定，长期使用不易老化或变质，模料成分中应不含有毒及有害物质，价格低廉，复用性好，回收方便。

### 1.2.2 模料的分类

按照模料熔点的高低将其分为高温、中温及低温模料。低温模料的熔点低于 60℃，主要为蜡基模料，如石蜡-硬脂酸（1:1）模料；高温模料的熔点高于 120℃，如组成为松香 50%、地蜡 20%、聚苯乙烯 30% 的模料；中温模料的熔点介于上述两类模料之间。实际生产中使用较多的是中低温模料。还可按模料基体材料的成分来分，分为蜡基模料、树脂基模料、填料模料及水溶性模料等。国内使用较广泛的为蜡基模料和树脂基模料。

表 1-1 是熔模材料的类型和特点。

表 1-1 熔模材料的类型和特点

类型	成分	特点	应用范围
蜡基模料	蜡基模料是以矿物蜡、动植物蜡为主要成分的模料；使用最广泛的蜡基模料系由石蜡和硬脂酸组成	此类模料一般成分比较简单，成本较低，便于脱蜡和回收，但强度和热稳定性较低，收缩大	多用于要求较低的铸件
树脂基模料	树脂基模料是以树脂及改性树脂为主要组分的模料	此类模料一般成分比较复杂，强度较高，热稳定性较好，收缩较小，制成的熔模的质量和尺寸稳定性较高，但模料易老化、寿命短，成本较高	多用于质量要求较高的熔模铸件，如涡轮叶片等航空件的生产
系列商品模料	由专门的模料工厂研制系列的模料，供熔模铸造生产单位按不同要求选用		

续表

类型	成分	特点	应用范围
填料 模料	在实际生产中用得最多的是固体填料, 固体填料主要有聚乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯醇、聚氯乙烯等合成树脂, 多聚乙烯乙二醇、橡胶、尿素粉、炭黑等	加入在蜡基或树脂基模料中一定数量与之一不相溶的充填材料, 填料的主要作用是减少收缩, 防止熔模变形和表面缩陷, 从而提高蜡模表面质量和尺寸精度。填料模料回收利用较难, 不利于降低生产成本	适用于制作高精度件和大型件
水溶性 模料	一种水溶性模料, 常用的有尿素-聚合物水溶性模料和聚乙二醇基水溶性模料	其优点是收缩小、刚度大、耐热性好, 脱蜡时型壳胀裂的可能性小, 缺点是密度大、易吸潮、熔点高、质脆	适用于大批量生产, 生产复杂型腔型芯的产品

### 1.2.3 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  $100^{\circ}\text{C}$ , 为防止模料加热时温度太高所发生的分解炭化现象, 大多采用蒸汽加热或热水槽加热的方法。图 1-5 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 6 传给模料 4, 将模料熔化。如将该装置中的电加热器去除, 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 号或 140 号筛过滤除去杂质。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 旋转浆叶搅拌法 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, 旋转的浆叶 (见图 1-6) 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 1-7 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 and 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

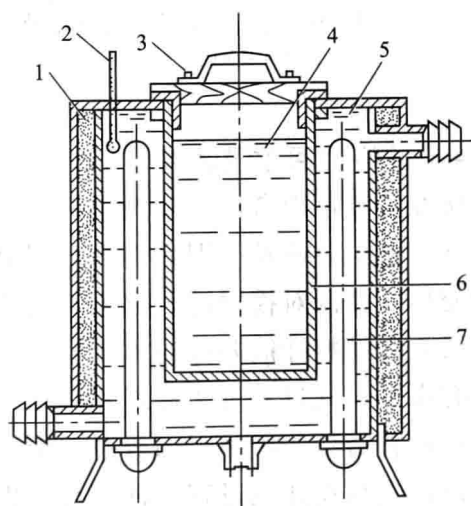


图 1-5 熔化蜡基模料的加热槽

1—绝热层; 2—温度计; 3—盖; 4—模料;  
5—水; 6—蜡桶; 7—电加热器

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 20~30min，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，它的黏度会增大，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。

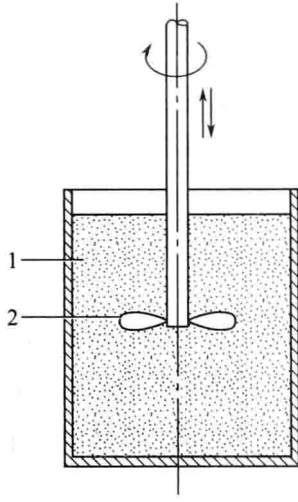


图 1-6 旋转浆叶搅拌蜡基模料  
1—模料；2—浆叶

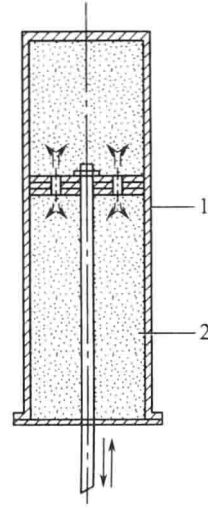


图 1-7 活塞搅拌蜡基模料  
1—活塞；2—模料

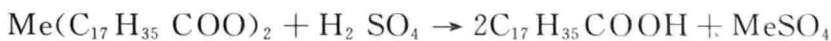
#### 1.2.4 模料的回收及再生

从经济和环保考虑，模料最好能多次重复长期使用，但在制模、制壳和脱蜡过程中，常因水分、粉尘、砂粒等混入模料，同时模料中的一些成分还会发生皂化、老化等，从而使其性能变坏，故需对模料进行回收及再生处理。不同的模料其组成不同，应采用不同的回收方法。回收后模料性能若还达不到原有水平，则需补加部分新蜡或其他添加剂，使其性能恢复到原有水平，此过程称为模料再生。

##### (1) 石蜡硬脂酸模料回收及再生

该种模料在使用过程中硬脂酸会发生皂化反应生成皂化物，模料还会混入粉尘、砂粒和水分等。回收的方法有酸处理法、电解法和活性白土法。酸处理法效果明显且方法简单，应用最广；电解法效果好，但需专用设备，使用较少。活性白土法是将酸处理后的模料去除杂质的一种方法，但所得的回收蜡中残留的白土不易除净，应用很少。

酸处理法是通过化学反应将皂化物还原成硬脂酸，再经静置沉淀将模料与水、粉尘和砂粒分开。基本原理是在待回收模料中加入硫酸或盐酸，使硬脂酸盐（皂化物）还原为硬脂酸，即



式中，Me 代表某种金属离子。反应生成的盐为水溶性盐，只要处理时加适量水，即可将生成的盐与模料分离。具体处理方法是，在待处理的旧蜡液中加入体积分数为 2%~3% 的浓硫酸或 3%~5% 的工业盐酸，在沸腾状态下保持 1~2h，直至蜡液中的白色皂化物颗粒消失为止。静置约 2h，待杂质下沉后，去除杂质，上部清蜡液即可使用。但此法难于将模料中的硬脂酸铁去除干净，因为硬脂酸铁与酸的反应是可逆的。所以，生产中应防止模料生成硬脂酸铁而变红。防止措施主要是化蜡、脱蜡槽使用不锈钢或有保护层的碳钢槽，不让模

料与碳钢直接接触，防止高温时硬脂酸与铁反应。

可测定回收处理后模料的酸值，并将它与新模料酸值进行比较，两者相等则说明皂化物已全部被还原成硬脂酸，如处理后模料酸值偏低，则表明处理尚不彻底。

用石蜡硬脂酸模料的工厂通常自行进行模料回收，并适量地加入5%~20%的新模料重新使用。石蜡硬脂酸模料可以长期反复使用，一些工厂采用上述回收、再生措施使模料使用长达40~50年，性能仍然保持得较好。

### (2) 树脂基模料的回收和再生

树脂基模料在使用过程中某些组分因加热挥发分解，树脂化和析出碳分，还会混入水分、粉尘和砂粒。如采用蒸气脱蜡后的旧模料常会含质量分数5%~15%的水，0.5%的粉尘和砂粒。回收难于解决组分的变化，主要任务是去除模料中的水分、粉尘和砂粒。国外有专业模料处理厂进行模料的回收和再生。

国内工厂多自行进行模料的回收。由于树脂基模料黏度高于蜡基模料，要分离模料中的夹杂物就需较高的温度和较长的时间。提高处理的温度可降低模料黏度，以利于夹杂物的去除，并缩短处理时间。但提高温度会使树脂模料中其他成分容易氧化，从而增加其脆性、恶化性能，因此处理温度应适当。现国内这类模料回收处理有两种流程，第一种为静置脱水→搅拌蒸发脱水→静置去污；第二种是快速蒸发脱水→搅拌蒸发脱水→静置去污。比较起来，第二种流程中的快速蒸发脱水其温度高，模料易变质，建议采用第一种回收处理流程。第一种回收处理的工艺及设备见表1-2。需要提出的是搅拌蒸发脱水时的温度，建议小于100℃，最高110℃。不少工厂为提高效率搅拌蒸发脱水温度采用110~120℃，甚至高到130℃，但温度高，模料很容易氧化变质，从外观看模料颜色很快就变深，性能恶化。

表 1-2 模料第一种回收处理工艺及设备

工序名称	设备	操作要点	备注
静置脱水	静置桶	温度<90℃、时间4~8h	静置完毕把沉淀水放掉
搅拌蒸发脱水	除水桶	搅拌温度<100℃、时间>12h	蜡液表面无泡沫即可停止搅拌，蜡液经60号筛过滤后开始静止去污
静置去污	静置桶	温度<90℃、时间>12h	定期放掉底部污物

## 1.3 熔模的制造与组装

### 1.3.1 熔模的制造

熔模的制作是熔模精密铸造工艺的核心环节之一，优质熔模是获得优质铸件的前提。铸件尺寸精度和表面粗糙度首先取决于模样的制备，制模材料（简称模料）、压型及制模工艺则直接影响熔模的质量。

#### (1) 制模方法

将模料压注成形是生产熔模最常用的方法。目前，国内大多数熔模铸造工厂采用商品模料，在0.2~0.3MPa低压下或用手工压制易熔模。也有如河南平光铸造等少数厂家采用国际熔模铸造常用工艺及设备，采用收缩小、强度高的优质模料，在恒温条件下，在较高压下压制光亮、精确的易熔模，在制作高精度铸件时甚至使用液态压蜡方法制作易熔模。压制熔

模的方法有三种：柱塞加压法、气压法和活塞加压法。图 1-8~图 1-10 是三种压制熔模方法的示意图。

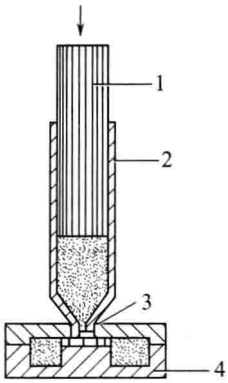


图 1-8 柱塞加压法  
1—柱塞；2—压蜡筒；  
3—注蜡口；4—压型

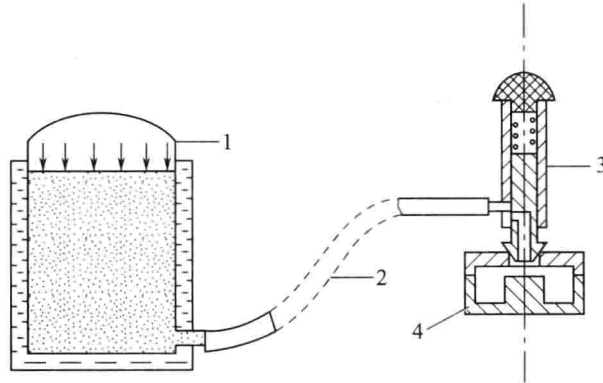


图 1-9 气压法  
1—密闭保温压力罐；2—导管；  
3—注料口头；4—压型

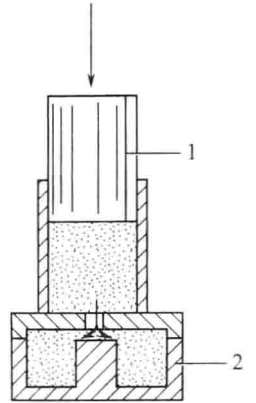


图 1-10 活塞加压法  
1—活塞；2—压型

## (2) 制模设备

制模的设备是压蜡机，压蜡机有气力压蜡机、气动活塞压蜡机和液压压蜡机等几种，其中液压压蜡机压射力大、整机体积小、结构紧凑、应用较广。

## (3) 制模主要工艺参数

在熔模铸造生产中，必须根据模料的性能和铸件的要求，合理制订制模工艺，在制备熔模时，应按照工艺规范，准确控制压注时模料温度（压蜡温度）、压型温度、压注压力和保压时间等因素。

① 压蜡温度 压蜡温度对熔模表面粗糙度影响很大。压蜡温度越高，熔模表面粗糙度越低，但收缩率大，熔模表面容易缩陷；压蜡温度越低，则表面粗糙度越高。

使用液态模料或糊状模料制模时，在保证充型良好的情况下，尽量采用低的压蜡温度，以减少模料的收缩，提高熔模的尺寸精度。

② 压型温度 压型工作温度将影响熔模的质量和生产率。压型工作温度过高，使得熔模在压型中冷却缓慢，不但使生产率降低，而且还易产生变形、缩陷等缺陷；过低则熔模的冷却速度过快，会降低熔模的表面质量，或产生冷隔、浇不足等缺陷，且在局部易出现裂纹。

③ 压注压力 压注压力的大小主要由模料的性能、压蜡温度、压型温度以及熔模结构等因素所决定。黏度较大的模料流动性差，就需要较高的压注压力；反之，若模料的黏度较小，则压注压力就可低些。

虽然压力越大熔模线收缩率越小，但压力也不是越大越好。压力过大，会使熔模表面不光滑，产生“鼓泡”（熔模表皮下气泡膨胀），同时易使模料飞溅。压力过低，则熔模易产生缩陷、冷隔等缺陷。

④ 保压时间 模料在充满压型的型腔后，保压时间越长，则熔模的线收缩率越小。保压时间的长短取决于压蜡温度、熔模壁厚及冷却条件等。若保压时间过短即从压型中取出熔模，其表面会出现“鼓泡”，但保压时间过长会降低生产率。

表 1-3 为我国典型制模工艺。



表 1-3 国内典型的制模工艺

模料	制模设备	压蜡温度/°C	压射压力/MPa	压型温度/°C	保压时间 <sup>①</sup> /s	起模时间 <sup>①</sup> /s	脱模剂
石蜡硬脂酸模料	气力压蜡机	45~48	0.3~0.5	18~25	3~10 或更长	20~100 或更长	10# 变压器油或松节油
松香基模料	液压压蜡机	54~62	2.5~15	冷却水 温度 6~12	3~10 或更长	20~100 或更长	210~20 甲基硅油或雾化硅油

① 按熔模大小和壁厚调整。

### 1.3.2 熔模的组装

模组组装根据工艺设计的要求将经修整检验合格的铸件熔模与浇口棒熔模（或浇冒口系统）组装成整体模组称模组组装。组装的方法有焊接法、黏结法和机械组装法。前两种方法虽劳动强度较大、效率较低，但简便灵活、适应性强、适用较广泛。

① 焊接法 生产中广泛应用热刀将铸件熔模与浇注系统熔模连接处局部加热熔化、黏结达到焊接在一起的目的。使用的热刀有酒精灯烧的热刀片、电烙铁、低压电热刀等，其中以低压电热刀使用较方便和安全可靠。

② 黏结法 它是用专用的黏结蜡将熔模和浇注系统黏结成一体。黏结蜡有较高的黏度和黏结强度，黏结后很快凝固，燃烧后几乎无残留物。

③ 机械组装法 为提高生产效率，大量生产小熔模铸件时可使用机械组装法，图 1-11 所示是一种机械组装模组的方法。它是将模组沿直浇道高度分成若干个小模组 5，分别压制。组装时先放浇口杯熔模 6，然后将这些小模组 5 一层层套在浇口棒 7 上，套好后将浇口棒 7 向下压，管子 8 将浇口棒 7 中的弹簧 3 压缩，带有销子 2 的杆 4 向上伸出，用金属帽 1 拧上，紧紧压紧直浇道上的小模组，使多层模组形成一体。

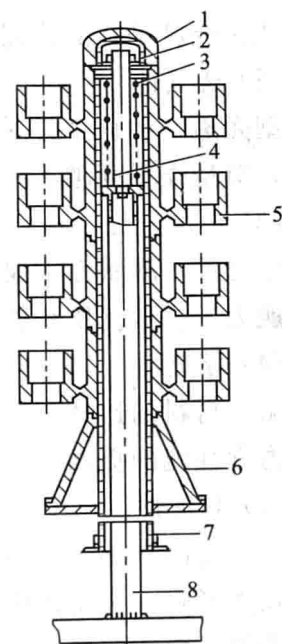


图 1-11 机械组装模组

1—金属帽；2—销子；3—弹簧；  
4—杆；5—小模组；6—浇口杯熔模；  
7—浇口棒；8—管子

### 1.3.3 熔模的清洗

为了清除熔模表面附着的蜡削、脱模剂等，提高涂料对模组的润湿性，熔模及浇注系统在组树和涂挂前必须进行清洗，常用清洗剂及使用方法见表 1-4。

表 1-4 常用熔模清洗剂及使用方法

清洗剂类别	组成	清洗温度/°C	清洗方法
乙醇基清洗剂	体积分数为 50% 的工业乙醇 + 50% 的水	22~25	在清洗剂中清洗 3~5s，清洗后在 22~25°C 的清水中擦洗数遍后晾干
肥皂水清洗剂	质量分数为 0.5% 的肥皂水		
复合清洗剂	质量分数为 70% 的三氯乙烷 + 30% 的工业乙醇或纯丁酮		