

前 言

为了适应改革开放的需要,增强毕业生的适应性与灵活性,拓宽专业业务范围,我们将原来的锻、铸、焊三个专业合并为热加工工艺及设备专业大类。在学生毕业前一年,根据市场需要的预测,学生再向各专门化分流。我们编写的《铸造工艺学》就是分流后的铸造专门化的必修课程之一的教材。教学计划规定为 80 学时。

本书共分 4 篇 19 章。

第一篇铸型材料;第二篇铸造工艺过程;第三篇铸造工艺设计;第四篇铸造工艺装备设计。

铸造工艺知识的讲授,几十年来都是由几位教师分别开出铸造材料化学(32 学时),砂型铸造工艺(80 学时),特种铸造工艺(60 学时)三门课程来完成的。其结果是三门课程各自组成独立的体系,很多内容重复。这个问题一直没有解决好。全国 60 多所高等院校的铸造专业,在铸造工艺课程的安排上大致相似。西北工业大学自 1988 年起在铸造工艺课程的改革上进行了试验,将上述三门课程合并组成一门课程——铸造工艺学(80 学时),由一位教师讲授,其目的在于减少重复,保证重点,一次讲透,以求达到事半功倍之效果。经过 5 年的实践证明效果是好的。这本教材就是在上述实践的基础上整理编写的。它是以铸造工艺为纲组成一个统一的体系,打破了以往以铸造方法为纲的旧体系。

参加本书编写的有西北工业大学曲卫涛(绪论,第九、十、十一、十二、十八、十九章)、张启勋(第一、七、十三、十四、十五、十六、十七章),南昌航空工业学院林再学(第二、四、五、六章)、王薇薇(第三、八章)。曲卫涛任主编。

本书在编写过程中曾得到西北工业大学 403 教研室商宝禄教授的热情指导和帮助。全国高等学校铸造工艺教学指导委员会委员、西安交通大学铸造教研室何纪运副教授惠予评审,对书稿提出许多宝贵的修改意见。在此一并谨致谢意。

限于编者水平,书中难免有不足和不当之处,恳请广大读者指正。

编者

1993 年 9 月

目 录

绪 论	1
第一篇 铸型材料	
第一章 金属和铸型的相互作用	5
§ 1-1 金属和铸型的热作用	5
§ 1-2 金属和铸型的机械作用	12
§ 1-3 金属与铸型的物理化学作用	13
§ 1-4 液态金属与金属铸型的相互作用及金属铸型的破坏	18
复习思考题	20
第二章 铸造用砂(原砂)	22
§ 2-1 铸造用砂的基本要求	22
§ 2-2 铸造用砂的分类、表示方法	28
§ 2-3 石英砂	29
§ 2-4 非石英质铸造用砂	33
复习思考题	38
第三章 粘结剂	39
§ 3-1 粘结剂的分类	39
§ 3-2 无机粘结剂	40
§ 3-3 有机粘结剂	65
复习思考题	84
第四章 粘土型(芯)砂	85
§ 4-1 粘土型(芯)砂的性能及其影响因素	87
§ 4-2 粘土型砂的分类及应用	97
§ 4-3 粘土型砂的配制	106
复习思考题	108
第五章 金属铸型材料	109
§ 5-1 概述	109
§ 5-2 金属型材料	110
§ 5-3 压铸型材料	112
复习思考题	113

第六章 铸造涂料	114
§ 6-1 涂料的作用及对它的要求.....	114
§ 6-2 涂料的组成.....	117
§ 6-3 涂料的配制.....	123
§ 6-4 铸造用胶合剂及涂膏.....	123
复习思考题.....	125

第二篇 铸造工艺过程

第七章 砂型铸造	127
§ 7-1 概述.....	127
§ 7-2 造型(芯).....	128
§ 7-3 砂型(芯)的烘干、合箱与浇注.....	134
§ 7-4 铸件的落砂与清理.....	136
§ 7-5 铸件质量检验与缺陷修补.....	138
复习思考题.....	140

第八章 熔模铸造	142
§ 8-1 模料.....	142
§ 8-2 熔模铸造工艺流程图.....	157
§ 8-3 型壳干燥过程的控制.....	158
复习思考题.....	162

第九章 金属型铸造	163
§ 9-1 金属型铸造工艺流程图.....	163
§ 9-2 金属型铸造的热规范.....	163
复习思考题.....	169

第十章 压力铸造	170
§ 10-1 压铸机简介.....	170
§ 10-2 压力铸造的工艺流程.....	172
§ 10-3 压铸压力.....	173
§ 10-4 压射速度和充填速度.....	175
§ 10-5 浇注温度.....	177
§ 10-6 铸型温度.....	178
§ 10-7 充填时间与持压时间.....	179
§ 10-8 压铸工艺参数的监测.....	180
复习思考题.....	180

第十一章 其他铸造方法简介	182
----------------------------	-----

§ 11-1 低压铸造	182
§ 11-2 石膏型熔模铸造	186
复习思考题	191

第三篇 铸造工艺设计

第十二章 铸件结构设计	193
§ 12-1 概述	193
§ 12-2 铸件结构设计原则	193
§ 12-3 铸件结构要素	195
复习思考题	206
第十三章 铸造工艺方案设计	207
§ 13-1 铸造工艺方法的选择	207
§ 13-2 铸件浇注位置及分型面的选择	210
§ 13-3 铸件机械加工初基准的选择	214
§ 13-4 铸造工艺设计的主要参数	215
§ 13-5 型芯设计	220
复习思考题	225
第十四章 浇注系统设计	226
§ 14-1 液态金属在浇注系统和型腔中的流动情况	226
§ 14-2 浇注系统的类型及应用范围	238
§ 14-3 浇注系统的尺寸计算	243
复习思考题	252
第十五章 冒口、冷铁设计	253
§ 15-1 冒口的设计	253
§ 15-2 冷铁的设计	269
复习思考题	276
第十六章 铸件图和铸型图的绘制	277
§ 16-1 铸件图的绘制	277
§ 16-2 铸型装配图的绘制	280
§ 16-3 铸造工艺规程和工艺卡片的编制	283
复习思考题	283

第四篇 铸造工艺装备设计

第十七章 砂型铸造工艺装备设计	285
§ 17-1 模样及模板	285

§ 17-2 砂箱	292
§ 17-3 芯盒	294
复习思考题	299
第十八章 金属型设计	300
§ 18-1 金属型的结构形式	300
§ 18-2 金属型的结构设计	301
§ 18-3 金属型的尺寸	319
复习思考题	322
第十九章 压铸型设计	323
§ 19-1 压铸机选用	323
§ 19-2 压铸型结构	325
§ 19-3 分型面的选择	326
§ 19-4 浇注系统的设计	329
§ 19-5 溢流槽和排气槽设计	339
§ 19-6 压铸型成型部分尺寸计算	342
§ 19-7 压铸型型体和型芯设计	344
§ 19-8 抽芯机构设计	348
§ 19-9 顶出机构设计	355
§ 19-10 压铸型的技术要求	358
复习思考题	360
参考文献	361

绪 论

铸造是机器零件、毛坯采用液态金属直接成型的一种制造方法。铸造生产工艺是将金属熔炼成具有一定化学成分、一定温度的液态金属，在重力场或外力场（压力或离心力等）的作用下，浇注到具有一定几何形状、尺寸大小的铸型型腔中，待液态金属结晶、凝固并冷却到一定温度后，从铸型型腔中取出，经过清理、切除浇冒口而获得铸件（亦就是机器零件或毛坯）。

铸造工艺学是研究铸件成型方法的一门科学。

一、我国铸造工艺发展概况

我国在铸造技术方面，已有 5 000 多年的悠久历史，是世界上应用铸造技术最早的国家之一。

目前发现的我国最早的青铜器是 1975 年在甘肃省东乡林家村一处古遗址中的一把铜刀。这把刀经科学鉴定，确系青铜铸成。这个遗址属于甘肃仰韶文化马家窑类型。年代距今已有 5 000 多年。这时人类社会才从漫长的石器时代进入青铜器时代。

我国在殷商时期就已创造了灿烂的青铜文化，所谓“钟鸣鼎食”，成了当时贵族权势和地位的标志。河南安阳出土的殷朝祭器司母戊鼎，重达 700 多公斤，长×高超过 1×1 m，四周饰有精美的蟠龙纹及饕餮纹。1978 年在湖北省随县出土的曾侯乙墓青铜器总重达 10 t 左右，其中有 64 件的一套编钟，分八组，包括辅件在内用铜达 5 t。钟面铸有变体龙纹和花卉纹饰，有的细如发丝，钟上共铸有错金铭文 2 800 多字，标记音名、音律。每钟可发两音，一为正鼓音，一为右鼓音。整套编钟音域宽达五个半八度，可演奏各类名曲，音律准确和谐，音色优美动听，铸造工艺水平极高，可称得是我国古代青铜铸造的代表作。这套编钟的铸造时代是距今 2 400 年前的战国初期。

公元前 6~7 世纪的春秋时代，我国就发明了冶铸生铁的技术，这约比欧洲早 1 700 年。我国古代的冶金匠师卓越地发明了，并有效地运用了金属型来铸造农具及其它生产工具，已由 1953 年在今河北省兴隆县寿王坟出土的 87 件铁范（即金属型）所证实。这些铁范据推测是战国时代燕国的，也就是公元前 3~4 世纪的产物，其中有锄范、双镰范、镢范、斧范、凿范（现存中国历史博物馆）。经过对这些铁范及附近出土的同时代的铁锄、铁斧的研究证明，这些铁范是用来铸造铸铁件的。欧洲人直到公元 1568 年才开始用金属型铸出铁炮弹，所以说我国采用金属型铸造比欧洲采用金属型铸造要早 1 800 年左右。

隋唐以后，我国社会经济有了进一步的发展，铸造技术向大型和特大型铸件发展。例如：河北沧州的大铁狮，高 5 m 多，长 6 m 多，重 5 万多公斤，是公元 10 世纪五代时后周铸造的。明朝永乐铸青铜大钟，铸于明朝永乐 18 年（公元 1418~1422 年）前后，全高 6.75 m，钟口外径 3.3 m，钟唇厚 18.5 cm，重 46.5 t，钟体内外遍铸经文 230 184 个字（现存北京大钟寺内）。

泥范（泥型）、铁范（金属型）和失蜡法（熔模铸造）三种铸造工艺方法是我国古代的冶

铸匠师们首先发明的。

我国早在 3 500 多年前就能用泥范来铸造各种各样的铸件。隋唐以后，一直盛行用铁范铸造各种农具，这一点前已述及，但以后由于历史条件的变化，这种铸造方法时起时落。根据近人考证，约在 13 世纪，由于活版印刷的发展，曾用金属型浇注锡活字。在清代龚振麟所著《铁模图说》中详尽地论述了用泥型铸造金属型和用金属型铸造铁炮的工艺方法，但这种铸造方法并未很快被近代工业所采用。

关于失蜡铸造，在《天工开物》中有这样的记载：“凡造万钧钟和铸鼎同，挖坑深丈几尺，操筑其中如房舍……干燥后，涂以牛油和黄蜡……然后雕镂书文物象丝发，成就，然后舂绝细土与炭末为泥，涂墁以渐而加厚至数寸……外施火力，炙化其中油蜡，一中既空，则倾熔铜……”现代熔模铸造是由牙科医生维利耶姆丁于 1907 年发明的，近几十年随着喷气发动机的发展而迅速发展。

综上所述，可知我国古代铸造技术居世界先进行列。勤劳智慧的中华民族在铸造技术方面作出了伟大的贡献。但解放前，由于三座大山的残酷统治和掠夺，我国工业生产水平大大地落后了，铸造生产也长期处于落后状态。

解放后，我国广大铸造工作者和其他战线的同志一样在党和政府的领导下，以冲天的革命干劲，奋发图强、自力更生做出了很大的成绩，不仅能成套的设计、制造大型机械化铸造车间设备，铸造工艺水平也有了很大的发展和提高，尤其是改革开放以来随着我国国民经济的大发展，铸造生产也突飞猛进。据报导我国目前铸造业生产能力是年产 $800 \times 10^4 t$ ，仅次于俄、美，居世界第三位。

压力铸造自从 J. J. Sturgiss (斯特金斯) 于 1849 年设计第一台简易手动活塞式热压室压铸机，并在美国取得专利至今已有 140 多年的历史。解放前我国仅有三家小工厂有压铸生产，只有几台压铸机，现在全国已有数百家工厂有压铸生产，乡镇企业、个体户亦有不少压铸专业厂，据统计我国压铸机的总台数为 3 000 台左右，居世界前列。第二汽车制造厂已建成 $5\,000\text{ m}^2$ ，号称亚洲最大的压铸车间，现已装有 43 台压铸机。

当前，与世界工业发达国家相比，我国铸造生产的差距不是表现在规模和产量上，而是集中在质量和效率上。如国际铸造学会执委会主席周尧和教授 1990 年元月传达的铸件劳动生产率统计：美国 $50 \sim 60\text{ t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ ，日本 $70\text{ t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ ，前苏联 $40\text{ t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ ，中国低于 $80\text{ t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。

随着科学技术的发展和我国四化建设的需要，铸造技术的发展方向是：(1) 大力组织专业化生产，以利竞争；(2) 实现铸造生产过程的机械化和自动化，重点应放在造型、砂处理、压铸机的机械化和自动化上；(3) 加强基础理论研究的同时，消化引进发展新材料、新工艺。

二、铸造工艺方法分类

(一) 根据铸型特点分类

(1) 一次型：制得的铸型只能浇注一次。属于这一类的铸造工艺方法有砂型铸造、熔模铸造、壳型铸造、石膏型铸造、磁型铸造、真空实型铸造、水银模铸造等。

(2) 半永久型：制得的铸型能多次甚至几十次进行浇注。属于这一类的铸造方法有泥型铸造、陶瓷型铸造、玻璃型铸造、石墨型铸造等。

(3) 永久型：制得的铸型能浇注 100 次以上。浇注次数最多的如压铸型可浇注几十万次。

属于这一类的铸造方法有：

a. 非金属铸型：石头型铸造。

b. 金属铸型：金属型铸造、压力铸造、液体金属冲压、挤压铸造、离心铸造、真空吸铸、液体轧板、连续铸造等。

(二) 根据浇注时，金属液所承受的压力状态分类

(1) 常压下浇注（自由浇注、重力浇注）：液态金属在重力作用下充填型腔并结晶凝固。如砂型铸造、金属型铸造、磁型铸造、熔模铸造等。

(2) 低压下浇注：液态金属在较低的压力（20~60 kPa）作用下充填型腔并结晶凝固。如低压铸造、差压铸造、调压铸造、真空吸铸等。

(3) 高压下浇注：液态金属在几千~ 2×10^5 kPa 的高压下充填型腔并结晶凝固。如压力铸造。

(4) 离心铸造：将液态金属浇入高速旋转的铸型中，在离心力的作用下充填铸型并结晶凝固。如离心铸造。

(5) 真空浇注：金属在真空度为 1.3~0.013 Pa 的专用设备中熔化后充填型腔并结晶凝固。这种铸造方法一般用在易氧化的高温合金铸件浇注。其特点是充填性能好，浇注温度低，但设备费用高。镍基、钴基合金的航空发动机叶片常采用熔模铸造真空浇注。

三、本课程的性质、任务、内容和要求

铸造工艺学是热加工工艺及设备专业铸造专门化的必修课，是一门实践性很强的应用科学。

本课程的任务是讲授铸造工艺的基本理论和基本知识，使学生能了解和掌握铸型材料的基本知识、主要铸造方法的工艺过程、铸造工艺设计原理和方法、铸型工艺装备设计，从而完成一个铸造工程师所必须具备的分析问题和解决工程实际问题能力的培养。

本课程的内容：

铸造这种古老的工艺发展到今天，其工艺方法已有几十种之多。本课程既要考虑到航空、航天工业发展的需要，又要考虑到军转民生产民品的需要。因此，着重研究有色合金铸件砂型铸造、金属型铸造、压力铸造和铸钢及高温合金的熔模铸造，同时兼顾铸铁、铸钢的砂型铸造及其他常用铸造方法。针对上述情况，我们决定以其共性——铸造工艺——为纲，组成一个统一的体系，打破以铸造方法为纲的旧体系，从而将本课程组成四篇：第一篇铸型材料、第二篇铸造工艺过程、第三篇铸造工艺设计、第四篇铸造工艺装备设计。

本课程的要求：

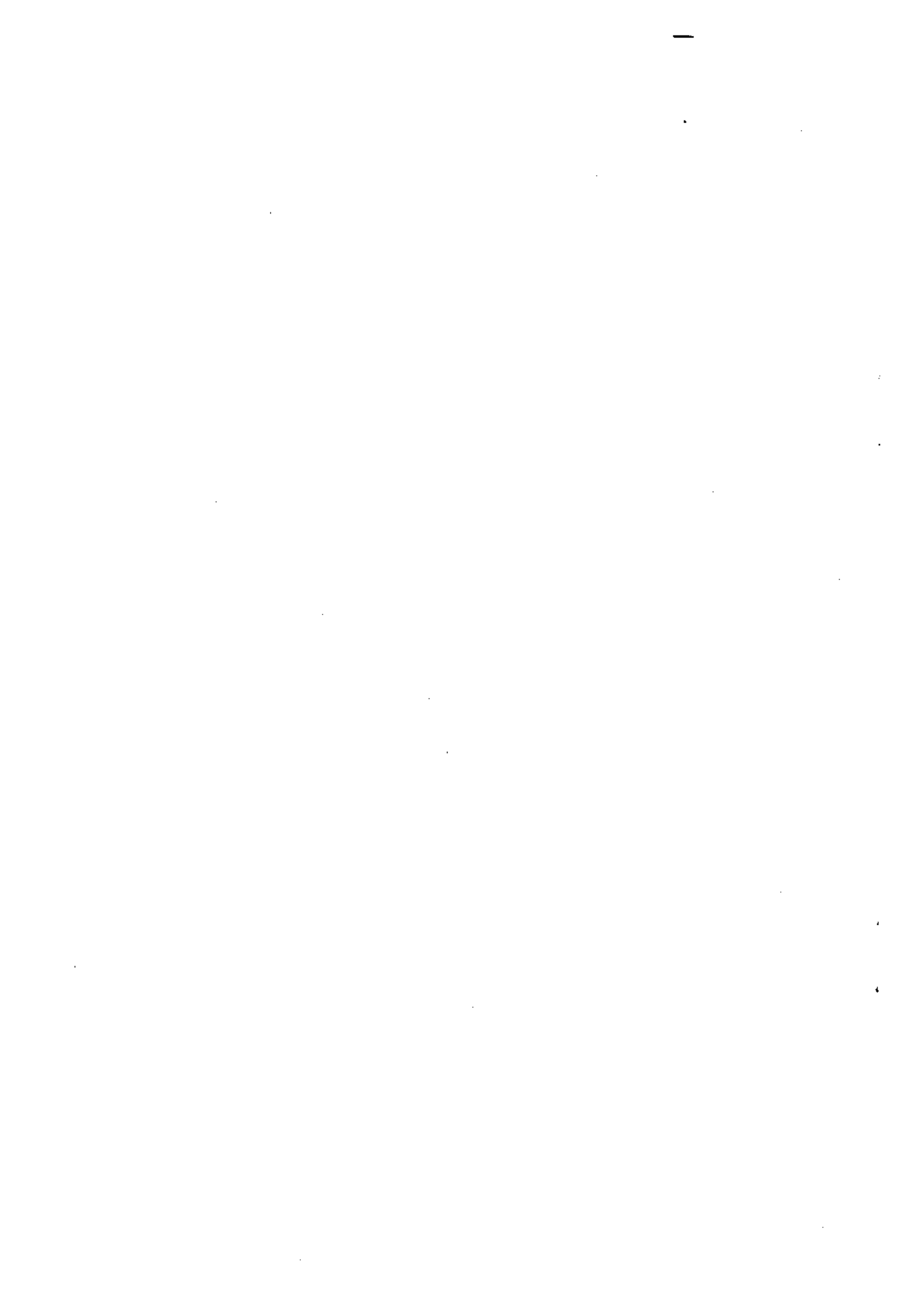
(1) 全面系统地了解各类铸型材料的组成、特性及应用范围，为合理地选用和开发新型铸型材料打下坚实的理论基础。

(2) 了解和掌握主要铸造方法的工艺特点、工艺过程原理、工艺参数选择和适用范围。

(3) 掌握铸件的铸造工艺设计原理和方法。学完本课程以后，通过铸造工艺课程设计训练，使学生具备中等复杂程度铸件的铸造工艺设计能力。

(4) 掌握常见铸造缺陷产生的原因及排除方法。

(5) 了解各种主要铸造方法的发展动态。



第一篇 铸型材料

第一章 金属和铸型的相互作用

金属在充填、凝固、冷却过程中会和铸型（包括砂质铸型和金属型）发生热的、机械的、物理化学的相互作用。铸件的某些缺陷，如：砂眼、夹砂、粘砂、裂纹、燃烧和侵入气孔等各种缺陷都是不利的相互作用条件下形成的。掌握金属和铸型相互作用的规律，不仅可以防止铸造缺陷，还可以提高铸件质量、降低材料和工时消耗，提高经济效益。

本章主要研究铸型在金属液热作用下发生的变化及其对铸件质量的影响；与此有关的铸件缺陷的特征、形成机理、影响因素和防止措施；选用新的造型材料的依据。

§ 1-1 金属和铸型的热作用

金属液浇入铸型后，液体金属与铸型之间就发生剧烈的热交换。在金属液的热作用下，铸型温度升高，导致铸型体积膨胀、型内水分迁移等现象产生。金属和铸型间的机械作用和物理化学作用亦随温度升高而加剧。热作用、机械作用、物理化学作用三者是互相联系的，而热作用是其它两方面作用的基础。

一、铸型的温度场

研究液体金属对铸型的加热，主要是研究在不同时间内铸型各点温度变化的情况，以及铸型在不同时间内所吸收的热量。研究的方法有数学分析法、模拟法（电模拟和水力模拟）以及实测法等。

用数学分析法研究热作用可以明显地反映铸型温度场的变化规律。金属和铸型的传热过程是非常复杂的不稳定导热过程。可用傅立叶导热微分方程表示：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

在假定铸件和铸型均为无限大平板、材质是均匀的，热物理常数不随温度变化，金属液浇入铸型后温度一致，并没有对流等条件下，将三维的导热微分方程简化为一维的导热微分方程 $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)$ 。由此方程的通解和单值条件，可得到铸型的温度场方程式为

$$t = t_0 + (t_k - t_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4a\tau}} \right) \right] \quad (1-1)$$

式中： x —— 铸型中某点到金属铸型界面的距离；

- t —— 铸型中距型腔表面为 x 处的温度(°C);
- t_0 —— 铸型的初始温度(°C);
- t_k —— 金属的温度(°C);
- τ —— 铸型被加热的时间(h);

$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)$ —— 高斯误差积分函数,可由有关数学手册中查出;

- a —— 铸型的热扩散率, $a = \frac{\lambda}{c\rho}$;
- λ —— 铸型的热导率;
- c —— 铸型的比热容;
- ρ —— 铸型材料的密度(kg/m^3);

在上述条件下根据铸型吸热和铸件放热的热平衡方程式,可得出铸型所吸收的热量 Q 为:

$$Q = \frac{a}{\sqrt{\pi}} b F (t_k - t_0) \sqrt{\tau} \quad (1-2)$$

式中: b —— 铸型材料的蓄热系数, $b = \sqrt{\lambda c \rho}$;

F —— 铸型的面积。

公式(1-1)和(1-2)对于干态砂型和金属铸型是适应的,而对湿态砂型则必须进行必要的修正。该公式也是在许多具体限制条件下得出的,故计算结果是近似的。在实际生产中,一般只要求得到有一定准确度的近似解,故常采用近似计算的公式或用数值分析方法计算。

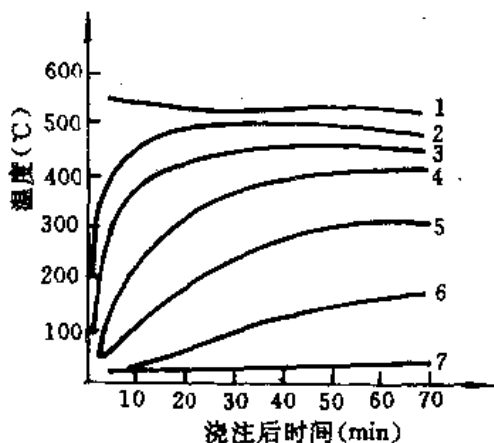


图1-1 干型的加热曲线

1—型面 mm 2—2.7mm 3—6.5mm 4—13.3mm
5—25.2mm 6—50.8mm 7—101.6mm

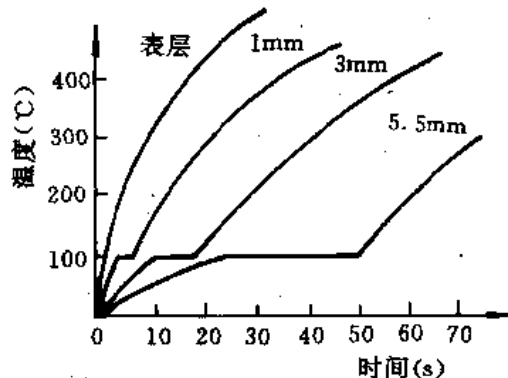


图1-2 湿型受热时的温度变化曲线

用直接测温法研究热作用的规律是目前应用最广泛的方法。其方法是在铸型中距界面不同距离的地方安置热电偶以测量液体金属浇入型腔后铸型中各点的温度变化情况;并进而根据温度变化曲线得出温度分布曲线。图1-1和图1-2分别为在干态砂型和湿砂型中浇注 Al-30%Cu 合金铸件时,铸型中各点的温度变化曲线。图1-3和图1-4分别为浇注铝合金时干型和湿型的温度分布曲线,从图中可以看出如下特点:

(1) 浇注后铸型表面层的温度迅速地接近液体金属的温度,而铸型其它部分仍处于相当

低的温度。铸型表层的热作用比较剧烈，必须予以足够重视。

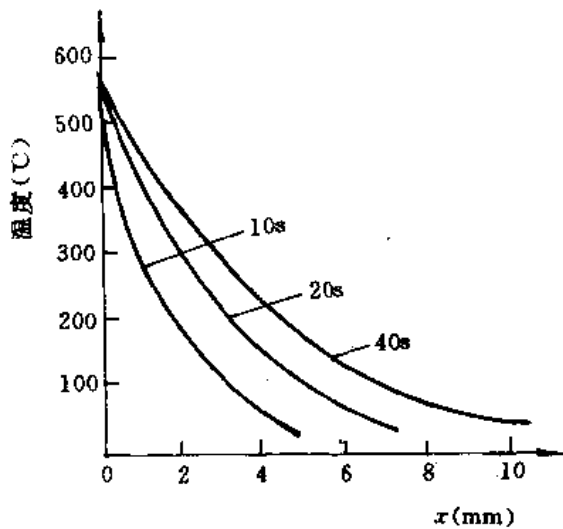


图 1-3 干型的温度分布曲线

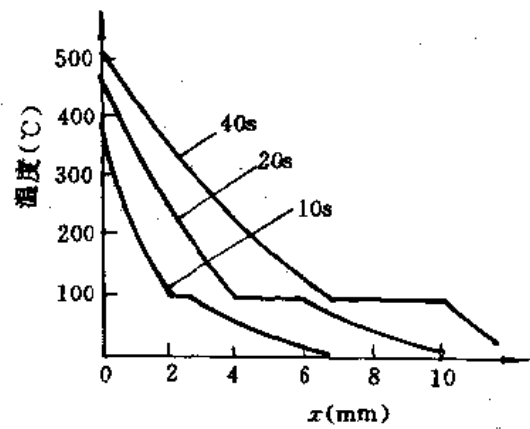


图 1-4 湿型的温度分布曲线

(2) 干砂型的温度分布曲线和金属型相似，趋近于抛物线，和公式(1-1)的数值比较符合，而湿型的温度变化曲线和温度分布曲线上都呈现出平台部分，这是由于湿型内水分的相变和迁移形成的。

(3) 砂质铸型热导率比金属型低，受热后不能迅速地把热量从型腔表面层传递给里层，表层和里层之间存在着很大的温度差。

(4) 干型表面层的温度比湿型高。湿型的热容量比干型大 1.5 ~ 2 倍。由于水分蒸发时还产生了较大的蒸汽压力，增加了铸型的热导率，能够比较迅速地传递热量。

二、湿砂型在浇注时的水分迁移

湿型被金属液急剧加热时，砂型中的水分会从高温的表面层向低温的里层迁移。水分迁移的原因是砂型表面层中的水分受热蒸发变成水蒸气、水蒸气通过砂粒间的孔隙流向砂型内层，进而凝聚成水；另外急热时砂粒间孔隙中的水在压力差和表面张力的作用下也由温度高处向温度低处移动。

由于水分迁移的结果，在湿型中出现四个区域（见图 1-5）。

第一区域——干燥区。它是从金属与铸型的界面到温度为 100°C 的地方。该区的温度高于 100°C，自由水分都被蒸发，因而水分含量很少。水分蒸发产生大量气体，所以又称发气区，在不利的条件下，气体可能侵入液体金属中，产生侵入性气孔缺陷。该区域透气性好，强度高。

第二区域——水分饱和凝聚区。铸型中温度为 100°C 的区域。这个区域的水分含量高达 10 ~ 15%，为正常水分的 2 ~ 3 倍。这些水分是干燥区产生的水蒸气在这儿凝聚起来的，但水分到一定程度后会达到饱和，水蒸气则流向更里层的水分凝聚区凝结，所以该区域称水分饱和凝聚区。由于该区域水分过高，使砂粒间出现自由水，破坏了粘土膜的粘结性能，使型砂强度降低。一般只为正常区强度的 3/1 ~ 1/10。多余的水分也堵塞了砂粒间的孔隙，使型砂的透气性大大降低。该区的透气性低，干燥区产生的气体不能迅速排除出去，提高了界面上气体

的剩余压力。在不利的条件下，有可能侵入液体金属中，使铸件产生气孔缺陷。

第三区域——过渡区，也叫水分不饱和凝聚区。它是从铸型中温度为100℃至室温的区域。干燥区来的水蒸气在此区域凝结。故这个区域的水分含量比正常区的稍高，但其分布是不均匀的，随着至型腔表面距离的增加而减少，直至趋向正常的水分，因此称为过渡区。

水分饱和凝聚区和过渡区总称为水分凝聚区。水分凝聚区的含水量，为型砂原含水量和因水分迁移而增加的含水量之和。由水分迁移而增加的含水量，可近似地按水蒸气凝聚而增加的含水量计算。

第四区域——正常区，它是从铸型温度为室温至砂箱壁处。该区域未受液体金属热作用的影响，其温度、水分、强度和透气性都保持正常的状态。

铸型中因水分迁移而形成的四个区域是在不断地发展和变化的。干燥区在一定时间内将不断地扩大。水分凝聚区将不断地向型壁的深处推进，金属液的浇注温度愈高，移动的速度愈快。水分饱和凝聚区的厚度则随离界面的距离增大而增大。浇注速度的影响与浇注温度相似。

型砂的含水量、粘土的种类和加入量、砂型紧实度等对水分迁移亦有很大影响。型砂的含水量高，水分饱和凝聚区出现得早，离界面近，饱和凝聚区的水分亦较高。型砂含水量同时，用膨润土代替普通粘土，提高砂型紧实度，饱和凝聚区出现较迟，含水量亦较低。

必须指出，当液体金属表面尚未凝固成硬壳之前，干燥区与水分凝聚区的大小、位置、强度和透气性的高低对铸件的质量有很大的影响。但当液体金属表面已经凝固并具有足够的强度后，水分迁移对铸件质量的影响就不明显。

三、砂型在加热时的膨胀

砂型呈多孔性，它在加热时的膨胀可分为显微膨胀和宏观膨胀两个阶段。在砂粒的膨胀能被粘土膜的收缩抵消，或砂粒相互移动的阻力小于砂型外部的阻力时，仅减少砂粒间孔隙，并不引起砂型尺寸的变化，这个阶段称为显微膨胀阶段。在砂粒间的孔隙已不能再减小，或砂粒间相互移动的阻力大于砂型外部的阻力时，砂型的外部尺寸才发生变化，这个阶段称为宏观膨胀阶段。砂型在加热时的膨胀，不仅与砂粒材料的膨胀系数与特性、粘结剂和加入物的性质及加入量等有关，还和砂型的紧实度、加热温度、加热速度、膨胀条件等因素有关。

原砂和粘土是型砂的主要成分。原砂的主要成分石英在加热时，开始随温度升高而均匀

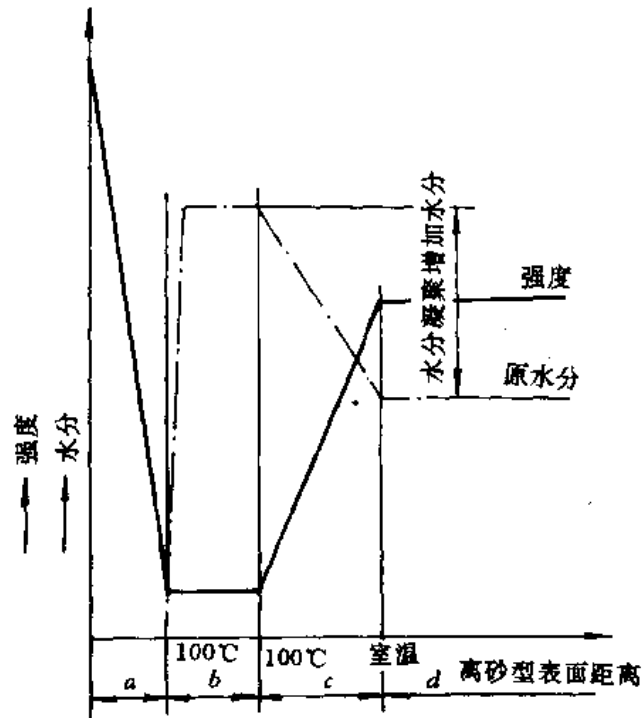


图 1-5 浇注后湿型中某瞬间水分分布示意图

- a—完全烘干区（温度高于100℃）
- b—水分饱和凝聚区（温度稳定在100℃）
- c—水分不饱和凝聚区（温度在100℃以下到室温）
- d—未受影响区（温度为室温）

膨胀，在 573℃ 时， β 石英转变成 α 石英，因晶格常数变化发生突然膨胀，相变体积膨胀量为 0.82%。温度升高到 870℃，并有强的催化剂的作用下，将有一部分的 α 石英开始转变为 α' 石英。在铸型条件下，既缺乏催化剂，加热时间又短， α 石英是稳定的，不再发生相变和膨胀，故石英砂加热到 600℃ 附近即达最大膨胀值（线膨胀约 15%）。

润湿的粘土在风干或烘干时因失去水分发生收缩，湿粘土的含水量愈高，则收缩值愈大。湿粘土的风干线收缩值为 2.6~10.5%。粘土在加热时粘土矿物因失去吸附水和结构水而收缩，粘土中的石英杂质则膨胀，加热温度超出粘土晶格破坏的温度和重结晶温度后则发生很大收缩，粘土的煅烧线收缩为 7~13%，其主要决定于粘土的矿物成分、杂质含量和加热温度。

粒度细而集中，粉粒含量高，铸型紧实度高，加热速度快，都会减少砂型的显微膨胀而使宏观膨胀增大。型砂中加入高温时能收缩或烧失的粘结剂或附加物，采用粒度大而分散的原砂，减少砂型紧实度，可延长显微膨胀阶段而使宏观膨胀减小。

四、夹砂

夹砂是铸件常见的一类表面缺陷，是在铸件表面还没有凝固或凝固壳强度很低时，因砂型表面层膨胀发生拱起和裂纹而造成的。分为夹砂结疤和鼠尾两类。金属液进入裂纹把拱起的砂型表层包在铸件内，就成为夹砂结疤缺陷（亦称包砂），如图 1-6 (a) 所示；砂型表面只拱起而未断开，就造成鼠尾缺陷（亦叫沟槽），如图 1-6 (b) 所示。夹砂的形成过程如图 1-7 所示。

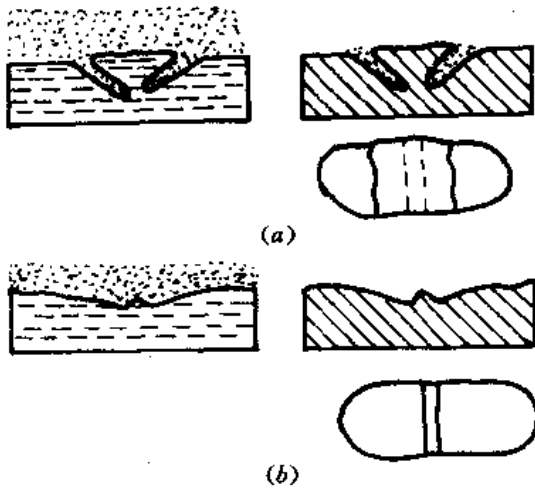


图 1-6 夹砂的形式
(a) 夹砂 (b) 鼠尾

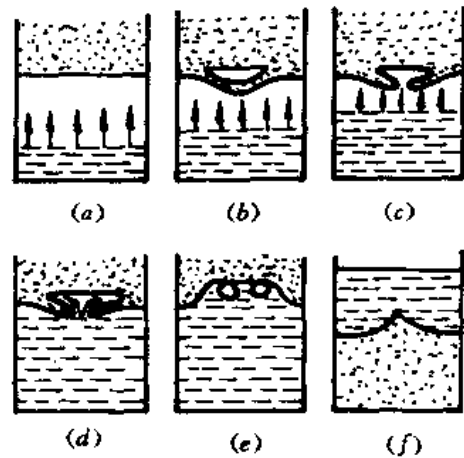


图 1-7 夹砂形成示意图

夹砂类缺陷在湿型铸造时最常发生，铸铁件、铸铜件和铸铝件常发生鼠尾及夹砂结疤缺陷；铸钢件则主要发生夹砂结疤。夹砂结疤大多发生的铸件的上表面、浇口附近。鼠尾则常发生在铸件下表面。厚壁的、大平面、浇注温度高和浇注时间长的铸件，夹砂结疤较严重。

夹砂损坏了铸件表面，影响了铸件的精度，增加了清理铸件的劳动量，甚至报废，应加以防止。

(一) 夹砂的形成机理

夹砂的形成机理，有几种不同的理论见解。

(1) 砂型表面层因热膨胀产生的应力超出了水分饱和凝聚区的强度,浇注时,砂型表面层和内层之间因温度不同、膨胀量不同而产生热应力。如设想砂型由互相联结的许多薄层组成,在热作用下,表面层温度高、膨胀量大,受到热压应力;内层温度低、膨胀量小,则受到热拉应力;层与层之间,在平行于层的方向受到热剪应力;在垂直于层的方向受到热拉应力。

产生夹砂时的力学条件,设想如图 1-8 所示。在砂型 A、B 范围内,表面层的热应力 F_1 为 A、B 两端的阻力 F_2 和表面层与底层之间的阻力 F_3 所平衡。当 $F_1 > F_2 + F_3$ 时,表面层将拱起和开裂,使铸件产生夹砂缺陷(如图 1-7)。

水分饱和区的强度很低,故常在该处发生分层和开裂。如果下箱的表面局部拱起而不开裂时,则产生鼠尾缺陷,如图 1-7(f) 所示。

砂型内的气体压力,将促使型腔表面的分层和开裂,但由于气体的压力较低,与热应力相比较,它不是主要的因素。

如果砂型表面层的拱起发生在铸件已凝固并具有足够强度的硬壳层之后,那末就不会发生夹砂缺陷。因此金属的浇注温度、浇注时间、砂型内热应力的分布、水分凝聚区的位置及强度、铸件凝固有足够强度硬壳的时间等对夹砂类缺陷的形成都有影响。

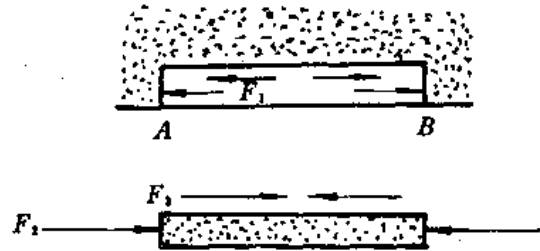


图 1-8 上箱砂型表面层产生夹砂时应力示意图

(2) 型砂的热膨胀超过热应变:砂型在浇注时受热发生膨胀,如果热膨胀值超过了热应变,砂型表面将破裂,引起夹砂。

热膨胀和热应变与温度的关系见图 1-9。在温度较低时,热膨胀小于热应变,这时不会发生夹砂、温度升高,热膨胀超过了热应变,没有消除的膨胀愈大,热膨胀曲线与热应变曲线包围的面积愈大,则形成夹砂的倾向愈大。当温度继续升高到临界温度(热应变超过热膨胀的温度)以上,热应变超过了热膨胀就不会发生夹砂。最大膨胀量、没有消除的膨胀、包围面积和临界温度增大,都使夹砂倾向增大。

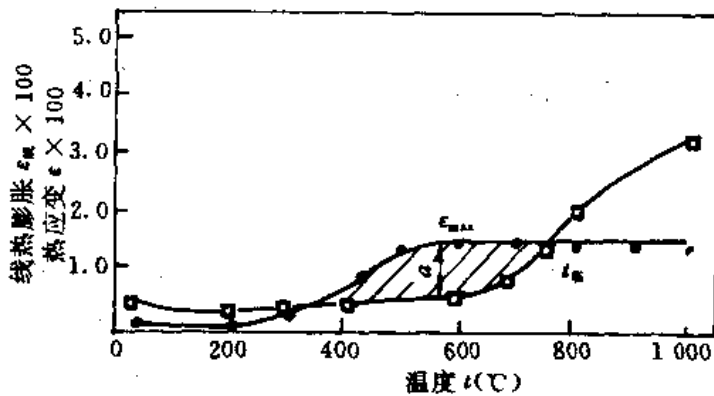


图 1-9 热膨胀和热应变与温度的关系

膨润土 6% 紧实率 50% ···· 线热膨胀 □—□ 热应变
阴影部分—包含面积 t_c —临界温度 a—没有消除的膨胀

(3) 干燥层的热应力超出水分凝聚区的强度,热膨胀大于凝聚区的热应变;此种理论认为夹砂发生时砂型内的状态如图 1-10 所示。

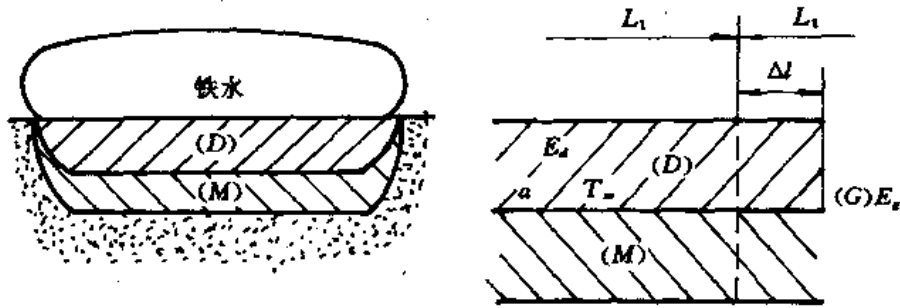


图 1-10 夹砂发生时砂型内的状态
(D) 完全烘干区 (M) 水分凝聚区

在砂型的干燥层内,最初长度 L_1 ,热膨胀率 α ,平均温度 T_m ,干燥层横向自由膨胀的伸长 Δ_1 ,则

$$\Delta_1 = \alpha T_m L_1 \quad (1-3)$$

干燥层的膨胀受水分正常层的限制,使干燥层受压应力 σ ,压应力使干燥层缩小 Δ_2

$$\Delta_2 = \frac{\sigma}{E_d} L_1 \quad (1-4)$$

式中: E_d ——干燥层在高温时的弹性模数。

干燥层的实际伸长 Δl

$$\Delta l = \Delta_1 - \Delta_2 = \alpha T_m L_1 - \frac{\sigma}{E_d} L_1 \quad (1-5)$$

水分正常层的缩小

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E_s} L_2 \quad (1-6)$$

式中: E_s ——常温湿态弹性模数;

L_2 ——水分正常层的长度。

所以

$$\alpha T_m L_1 - \frac{\sigma}{E_d} L_1 = \frac{\sigma}{E_s} L_2$$

整理后可得:

$$\sigma = \frac{\alpha T_m}{\frac{1}{E_d} + \frac{L_2}{L_1} \frac{1}{E_s}} \quad (1-7)$$

$$\Delta l = \frac{\alpha T_m L_1}{1 + \frac{L_1}{L_2} \frac{E_s}{E_d}} \quad (1-8)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_1} = \frac{\alpha T_m}{1 + \frac{L_1}{L_2} \frac{E_s}{E_d}} \quad (1-9)$$

由以上可以看出,砂型干燥层的压缩应力 σ 和膨胀率(热应变率) ϵ 决定于: α, T_m, E_d, E_s 。砂型的热膨胀引起干燥层的热应力,并使水分凝聚区发生变形。水分凝聚区发生开裂的条件有二: ① 干燥层的膨胀应力超出水分凝聚区的强度; ② 干燥层的膨胀量超出水分凝聚层的变形量。

(二) 防止夹砂类缺陷的措施

根据夹砂形成机理、可从以下几方面来防止夹砂的产生:

(1) 造型材料方面:正确选用和配制型砂是防止夹砂的主要措施。如选用膨胀系数小的石英——长石砂作原砂。重、大铸件采用热膨胀系数小、没有相变、热扩散率和蓄热系数高的特种砂作原砂。选用粒度分散的原砂(最好分布在相邻的五个筛上)。

选用热湿拉强度高、热压应力低的膨润土,增加膨润土的加入量,都能提高型砂的抗夹砂能力。

在型砂中加入煤粉、重油、木屑等能减少热压应力。尽可能降低型砂的含水量,保证一定的混砂时间,混好的型砂经过调匀和松砂,对保持型砂性能稳定和防止夹砂都有很大作用。

采用水玻璃砂、石灰石水玻璃砂、树脂砂,都能有效地防止夹砂。

(2) 铸造工艺方面:避免大平面在水平位置浇注。浇注系统应能使金属液平稳进入型腔;内浇口应均匀分布,防止局部过热;浇口阻流面积适当增大,适当降低浇注温度。

春砂应力求均匀,避免局部过硬或过松;在上型表面、浇口附近等易产生夹砂的地方应多扎气眼减少气体压力,用插钉子进行局部加固;砂型表面烘干,提高表面强度。

(3) 铸件结构方面:尽量避免大平面,铸造圆角要合适。不同形状的型腔,其抗夹砂的能力是不同的。凹面形状抗夹砂能力最好,平面形状次之、凸面形状最差,工艺设计时,应对凸面形状的型腔采取必要的措施,以防止夹砂的产生。

§ 1-2 金属和铸型的机械作用

浇注时铸型受到金属液的冲刷和冲击;型壁承受金属液的静压力和动压力;铸件在凝固、冷却收缩时受到铸型的阻碍而产生内应力。在不利的情况下,铸件将产生砂眼、冲砂、掉砂、抬箱、裂纹等缺陷。

一、金属液对铸型表面的冲刷作用

金属液沿铸型表面流动时对铸型表面有摩擦力,如摩擦力超出砂型表面层砂粒间在浇注温度下的粘结力,砂粒将被冲下,造成铸件表面局部粗糙、冲砂、砂眼等缺陷。

金属液对铸型表面的冲刷作用,主要取决于金属的浇注温度、铸型的表面强度和高温强度。浇注温度越高,则冲刷作用越严重。如果浇注温度低,液体金属与铸型表面接触后,很快形成硬壳,金属液在壳内流动不与砂型接触,故能减轻冲刷作用。铸型的表面强度和高温强度越高,则抗冲刷作用的性能就越好。提高砂型的紧实度、表面强度,采用表面干型、水玻璃砂型、树脂砂型,采用涂料等,都能提高铸型表面的抗冲刷作用。

二、金属液对铸型表面的静压力和动压力

液体金属浇入铸型中,在铸件没有凝成足够的硬壳前,型壁受到金属液的静压强为

$$p_{\text{静}} = \rho g h \quad (1-10)$$

式中: ρ —— 金属液的密度;

g —— 重力加速度;

h —— 金属压头的高度。

$p_{\text{静}}$ 随 h 增大而增大, h 在浇注终了时达到最大值。

浇注时, 型壁表面受到金属液的动压力

$$P_{\text{动}} = Fv\rho v = \rho Fv^2 \quad (1-11)$$

$$p_{\text{动}} = \frac{P_{\text{动}}}{F} = \rho v^2$$

在忽略金属流动阻力的条件下

$$v^2 = 2gh$$

$$\therefore p_{\text{动}} = 2\rho gh = 2p_{\text{静}} \quad (1-12)$$

式中: $P_{\text{动}}$ ——金属液对铸型表面的动压力;

F ——金属液截面积;

v ——金属液的流速;

$p_{\text{动}}$ ——金属液对铸型表面的动压强。

从公式(1-12)可以看出, 在金属压头相同的条件下, $p_{\text{动}}$ 约为 $p_{\text{静}}$ 的 2 倍。

在开始浇注时直浇口的底部、对着内浇口的型(芯)壁、浇注终了时的型腔表面等处常受到金属液的动压力。如金属液的动压强超出砂型的表面强度, 砂型表面将被冲坏, 使铸件造成砂眼、多肉等缺陷。

在液体金属的静压力和动压力的作用下, 会产生型壁移动、盖箱抬起、砂芯漂浮, 从而使铸件产生胀砂、多肉、披缝等铸造缺陷。如果产生的浮力过大, 砂芯会发生变形和破坏, 使铸件偏心以至报废。

在铝合金、镁合金铸造中, 静压力和动压力较小。而在黑色金属大中型铸件生产中, 静压力和动压力所产生的型壁移动、盖箱抬起等现象则比较严重, 铸造生产中应引起足够重视。

§ 1-3 金属与铸型的物理化学作用

金属与铸型表面的物理化学作用有: 铸型的气体侵入金属液, 金属液从铸型吸收气体, 金属液渗入砂粒间空隙, 金属液与铸型材料或铸型中气体发生化学作用生成新的化合物等等。

因金属液和铸型的物理化学作用, 在不利的情况下, 铸件将发生气孔、燃烧、粘砂等缺陷。但也可以利用铸型表面涂料中的合金元素, 使铸件表面合金化而提高铸件表面质量。

一、气 孔

气孔是铸型或金属液中的气体在金属液中形成的气泡, 未能浮出而留在铸件内的一种铸造缺陷。气孔的内壁光滑, 表面有金属或氧化皮膜的色泽, 故气孔与砂眼、渣孔等缺陷很易区别。气孔使铸件的工作截面积减小, 造成渗漏、损坏铸件表面, 而常使铸件报废。

由于气体的来源和形成过程不同, 铸件的气孔可分为析出气孔、反应气孔和侵入气孔三种。前两种气孔, 在铸造原理和合金熔炼课程中已作详细介绍, 不再赘述。本课程主要讨论侵入性气孔的问题。

(一) 侵入气孔的特征

侵入性气孔是湿型铸造时最常发生的缺陷之一, 侵入气孔的体积较大, 呈梨形、圆形、扁圆形, 常在铸件浇注位置的上部发现, 主要由砂型、砂芯在浇注时产生的气体侵入金属液造成。

铝合金铸件的侵入气孔,在喷砂后进行外观检查时即可发现。镁合金铸件则往往需在氧化处理后方可发现。隐藏在铸件内部的气孔,只有通过 X 光检查,以及在铸件进行机械加工时才能发现。

不同的气体与液态镁合金作用后形成的气孔具有不同的颜色。我们可以根据气孔内表面的不同颜色,分析产生气孔的物质,寻找产生气孔的原因,如表 1-1 所示。

表 1-1 镁合金气孔内表面色泽与产生气体物质的关系

序 号	气 孔 内 表 面 色 泽	形成气孔的主要物质
1	金属光亮	水
2	黄蓝色并发亮	煤 炭
3	黑色或褐黑色并发暗	空气或有机物质
4	黄绿色或浅褐色并发暗	硫 磺
5	灰白色并带有氧化皮	硼 酸
6	青灰色、土褐色并发亮	氟化物

(二) 侵入气孔的形成机理

铸型在金属液热作用下发生水分蒸发,有机物燃烧或挥发,金属液与铸型产生化学作用,均可使金属液和铸型界面上气体的压力增加。当气体的压力大于在金属液中形成气泡所必须克服的压力后,气体就侵入金属液形成气泡(见图 1-11)。

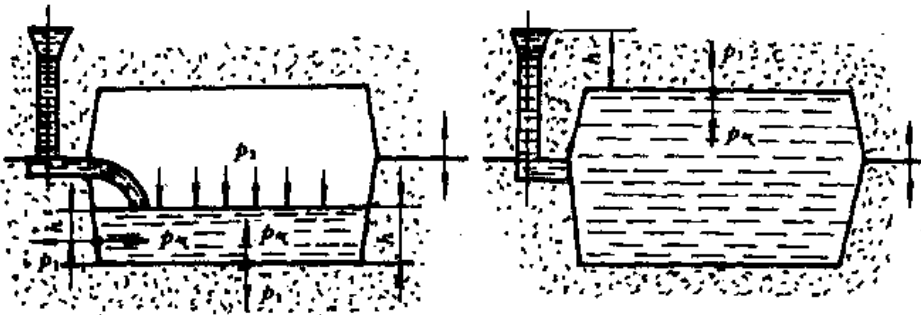


图 1-11 金属液和砂型界面上气体侵入金属液的条件

在均匀的金属液中,气泡体积变化所做的功和表面能增量平衡

$$PdV = \sigma dS \tag{1-13}$$

式中: $P = P_g - P_m - P_0$

- P —— 气泡内气体压力;
- P_m —— 作用在气泡表面的金属静压力;
- P_0 —— 作用在液面上的型内气体压力;
- dV —— 气泡体积的增量。设气泡为球形

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad dV = 4\pi r^2 dr$$

r —— 气泡的半径;
 σ —— 金属液的表面张力;
 dS —— 气泡表面积的增量

$$S = 4\pi r^2 \quad dS = 8\pi r dr$$

故有

$$4\pi r^2 dr (P_{\text{气}} - P_{\text{金}} - P_{\text{型}}) = 8\pi \sigma r dr$$

得到

$$P_{\text{气}} = \frac{2\sigma}{r} + P_{\text{金}} + P_{\text{型}} \quad (1-14)$$

金属液和铸型界面上气体的压力 $P_{\text{气}}$ 必须大于 $\frac{2\sigma}{r} + P_{\text{金}} + P_{\text{型}}$ 后, 气体才能侵入金属液造成气泡。下面对式(1-14)中的各项进行分析:

(1) $\frac{2\sigma}{r}$: 为形成气泡必须克服的因金属液表面张力引起的毛细压力, 当 r 很小时, $\frac{2\sigma}{r}$ 很大。在均匀的金属液中形成气泡几乎是不可能的。在金属液和砂型界面上, 砂粒间孔隙(相当于毛细管)中的气体, 能成为气泡核心。当砂粒间空隙的直径在 $20 \sim 100 \mu\text{m}$ 时, $\frac{2\sigma}{r}$ 仅为 $0.3 \sim 0.06$ MPa。孔隙直径进一步增大, $\frac{2\sigma}{r}$ 进一步减小; 在铸造条件下砂型中的气体就容易侵入金属液。

(2) $P_{\text{金}}$: 在金属液与铸型表面接触到形成气泡核心的这段时间中, 型内金属液已上升了一定高度(h), $P_{\text{金}} = \rho gh$ 。在浇注时 $P_{\text{金}}$ 随金属液在型内的上升高度而变化, 浇注终了时等于气泡至浇口杯液面的高度。

(3) $P_{\text{型}}$: 作用在金属液面上的型内气体压力, 在有明冒口时 $P_{\text{型}}$ 为大气压力。

(4) $P_{\text{气}}$: 砂型表面层的发气量大、发气速度快、砂型透气性低、水分饱和凝聚区离铸件表面近、砂型出气孔位置不当和数量少等, 都使界面的气体压力 $P_{\text{气}}$ 增高。

气泡侵入金属液后, 溶解在金属液中的气体会向内扩散而使气泡长大。如气泡没有上浮就在侵入处形成梨形气孔。小孔端的位置表明气体的来源。在金属液的温度高和粘度小的情况下, 气泡能从金属液内逸出或浮入冒口, 则铸件并不产生气孔。如铸件表面的凝固壳强度很低, 表面气泡虽不能侵入, 但使铸件表面发生局部变形而留下凹坑, 就出现表面气孔。

(三) 防止侵入气孔的措施

主要从减少 $P_{\text{气}}$ 、增大气体侵入金属液的阻力, 使气泡能从铸件金属液中浮出等方面着手。

(1) 减少 $P_{\text{气}}$: 减少型(芯)的发气量、发气速度和使气体容易排出。

减少砂型(芯)的发气量和发气速度: 严格控制型砂中的含水量, 尽力控制在低限; 起模、修型时尽量不刷水; 采用发气量低的粘结剂或加入物并控制其加入量; 采用表干型或干型; 砂芯要烘干, 避免已烘干的砂型(芯)返潮; 冷铁表面涂油不能过多, 并须很好烘干; 型砂中不得混入煤屑、草根等有机物质; 型砂中的硫磺、硼酸等附加物应混合均匀。

使浇注时产生的气体容易从砂型(芯)内排出: 应选用粒度合适和含泥量低的原砂; 控制粘土和附加物的加入量; 保证型砂有足够的透气性; 砂型多扎出气孔, 用薄壁或空心的砂芯; 砂芯工作条件恶劣、排气比较困难必须多扎通气孔, 对于断面小、形状复杂的砂芯, 可用蜡线作出通气孔。

(2) 增大气体侵入金属液的阻力: 在砂型表面刷涂料, 能减少砂型表面孔隙的半径, 使 $\frac{2\sigma}{r}$ 增大; 涂料层的透气性低, 能阻碍气体进入型腔。但涂料层的发气性必须小, 以免造成气孔。

(3) 使气泡能从金属液中浮出: 适当提高浇注温度和浇注速度, 避免浇注时型腔中有大的

水平面,设置冒口等。

二、燃 烧

燃烧是镁合金铸件常见的缺陷之一。含镁量高的铝合金铸件有时也会出现。

(一) 燃烧缺陷的特征

(1) 铸件表面上有分散的或成群的孔穴。在吹砂、氧化处理之前,孔穴内填满灰色的氧化镁粉末。在吹砂、氧化处理后,孔穴呈清洁而粗糙的表面。

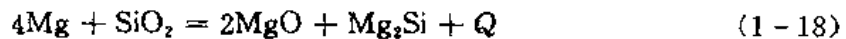
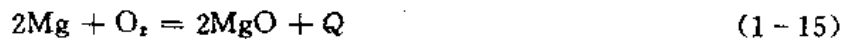
(2) 铸件表面上有黑色或灰色的连续的氧化皱纹,并带有氧化镁粉末的白色斑点,吹砂、氧化处理后,呈灰褐色。

(3) 铸件表面上出现大小不同的金属燃烧产物的菌状瘤疤。

燃烧缺陷常发生在铸件受热严重、保护剂烧损比较厉害的地方,经常发生的部位有:铸件上的厚大部位;内浇道附近,特别是内浇道的对面;冒口根部。燃烧缺陷出现的部位附近,往往出现疏松缺陷。

(二) 燃烧缺陷产生的机理

镁的化学性质很活泼,在常温下就能和氧反应,而液态的镁及其合金能和 O_2 、 H_2O 、 N_2 、 SiO_2 产生剧烈的反应:



发生上述反应的结果,生成氧化镁、镁的氮化物、镁的硅化物和游离状态的氢,同时放出了大量的热量。由于覆盖在液体金属表面上的 MgO 是一种致密度很松、导热性能很差的氧化物,因此,反应时释放出来的大量热量,不能迅速地散发出去,使反应界面上的温度迅速提高。温度的提高又加速镁的氧化,加剧镁的燃烧,使反应界面上的温度越来越高,最高可达 $2850^\circ C$,并发出闪耀的白光和弥漫的浓烟。

(三) 防止燃烧的措施

产生燃烧的内在因素是由于液态的镁合金易与 O_2 、 N_2 、 H_2O 等发生剧烈的反应;而外界原因是在浇注、凝固过程中给燃烧提供了条件,而防止燃烧主要是断绝镁与空气、 H_2O 和 N_2 的接触。在实际生产中常采取以下措施:

(1) 在型砂中加入必要的防燃附加物,目前一般是加入 $3 \sim 4\%$ 的烷基磺酸钠(含烷基磺酸钠 28% 的水溶液),并加入 $1.5 \sim 2.5\%$ 的硼酸。

(2) 型砂、芯砂必须干净,不得混入煤屑、草根等有机物。

(3) 给合金液中加入少量的铍($0.001 \sim 0.002\%$),以减少镁合金的燃烧倾向。在浇注时,适当降低浇注温度,缩短浇注时间。

三、粘 砂

粘砂是铸钢、铸铁件生产中常见的铸造缺陷之一。铸件部分或整个表面粘着一层型砂或型砂与金属氧化物形成的化合物称为粘砂。粘砂大多发生在铸件的厚壁部分、浇冒口附近等部位,通常铸钢比铸铁件粘砂严重,湿型铸造比干型严重。

根据将砂层粘结在铸件表面的粘结物质的性质,粘砂可分为:机械粘砂——金属渗入到砂粒间空隙,将砂粒固定在铸件表面;化学粘砂——金属或金属氧化物和造型材料形成化合物,将砂层粘结在铸件表面。

(一) 机械粘砂

1. 机械粘砂的形成机理

金属液渗入砂粒间空隙就会形成机械粘砂,金属液渗入砂粒间空隙的条件为

$$P_{\text{金}} \geq P_{\text{气}} - P_{\text{毛}} - P_{\text{型}} \quad (1-19)$$

式中: $P_{\text{金}}$ ——铸型中金属液的压力(包括静压力和动压力);

$P_{\text{气}}$ ——砂型空隙中气体的压力;

$P_{\text{型}}$ ——型腔内气体的压力;

$P_{\text{毛}}$ ——毛细压力,从有关物理知识可知

$$P_{\text{毛}} = \frac{2\sigma\cos\theta}{r}$$

σ ——液体金属的表面张力;

r ——砂粒空隙的半径;

θ ——液体金属对砂粒空隙的润湿角。

2. 影响机械粘砂的因素

(1) 金属液的静压力和动压力始终是促使液体金属向砂粒间的空隙渗入的。在金属液润湿砂粒的情况下, $P_{\text{金}}$ 越大,渗入深度越大,机械粘砂越严重。因此高大铸件下部容易形成机械粘砂。

(2) $P_{\text{气}}$ 是空隙中气体对金属液的反压力,始终阻碍金属液的渗入。但生产中很少用提高 $P_{\text{气}}$ 来防止机械粘砂。

(3) 金属液与造型材料的润湿性对金属渗入有很大影响。如金属液能润湿造型材料,润湿角 $\theta < 90^\circ$, $\cos\theta$ 为正值, $P_{\text{毛}}$ 为正值,则毛细压力促使液体金属渗入砂粒间隙。如金属液不润湿造型材料, $\theta > 90^\circ$, $\cos\theta$ 为负值, $P_{\text{毛}}$ 为负值,则毛细压力阻止金属液渗入砂粒间隙。润湿角 θ 的大小主要决定于金属液与造型材料的性质,但金属液的成分和氧化程度,接触气氛的性质、接触时间等对其也有很大影响。金属液与造型材料的润湿角 θ 可由实验测出。对于一定成分的金属液和一定材料的铸型,润湿角 θ 和表面张力 σ 是一定的,不可能用改变 θ 和 σ 来改变毛细压力。

(4) 砂型表面砂粒空隙的大小对金属液渗入有很大影响,减小砂粒间空隙半径,可减小金属渗入。采用细砂、提高砂型紧实度、表面刷涂料等减小砂粒间空隙的措施,均有利于防止机械粘砂。

在大多数情况下,铸件有明冒口或出气冒口, $P_{\text{型}}$ 的影响可以忽略不计。

3. 防止机械粘砂的措施

(1) 采用细砂、提高铸型紧实度、铸型表面刷涂料,有利于防止粘砂。

(2) 铸铁件型砂中采用煤粉砂。煤粉在 400°C 以上发生裂解,析出光亮碳层。光亮碳包覆在砂粒表面,由于光亮碳不被金属及金属氧化物湿润,对防粘砂有突出作用。

(3) 降低浇注温度。

(二) 化学粘砂

化学粘砂主要发生在铸钢和铸铁件上,粘结物质为金属氧化物和造型材料形成的化合物,粘砂层的厚度比机械粘砂大。化学粘砂层去除的难易程度,主要决定于粘砂层的性质以及粘砂层与铸件表面的结合力。因此化学粘砂必须从化学粘砂层的形成及其与铸件表面的结合力两方面来研究。

(1) 化学粘砂层的形成:钢水或铁水在浇注时与铸型气体中的氧、二氧化碳、水蒸气等发生化学作用生成氧化铁。在铸钢的浇注温度下 FeO 为液体并能够润湿石英,故易渗入砂粒间空隙。 FeO 与 SiO_2 反应生成 Fe_2SiO_4 ,熔点为 1205°C 。 FeO 和 Fe_2SiO_4 的共晶,熔点为 1177°C 。液态时它们都能润湿石英,在毛细压力作用下渗入砂粒间空隙,熔解石英生成不同成分的铁玻璃。其渗入的深度,也就是化学粘砂层的厚度。

由此可见,产生化学粘砂的先决条件是金属氧化。影响化学粘砂的因素主要是金属氧化物的数量以及与型砂之间的作用程度,后者主要取决于热作用的情况。热作用越大,则形成易熔物的作用越剧烈。由于钢水在高温时易氧化,浇注温度又高,故铸钢件粘砂层厚度比铸铁大。

(2) 粘砂层与铸件表面的结合力:一般认为与铸件表面铁的氧化物成分和厚度有关。 FeO 的组织致密,能阻碍继续氧化,造成难清理的粘砂;而高价氧化铁 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 结晶时体积有较大膨胀,组织疏松,不能阻碍继续氧化,氧化层厚,容易从铁件表面剥落,使粘砂层容易清理。

(3) 防止粘砂的措施:可从防止形成粘砂层和降低粘砂层与铸件表面的结合力两方面着手。

① 防止形成化学粘砂层:这可由防止金属氧化,避免金属氧化物与型砂起化学作用来达到。措施有:将金属液脱氧和适当降低浇注温度;在型砂中加入能很快形成还原性气氛的加入物如煤粉、重油、沥青、有机粘结剂等;采用涂料;生产耐热钢、不锈钢等高合金钢铸件和大型铸件时,采用锆砂、镁砂、铬铁矿砂、刚玉砂等特殊耐火材料作型砂或涂料。

② 降低化学粘砂层与铸件表面的结合力:在型砂中加入适量(3~5%)氧化铁粉;注意选用合适的原砂。我国某些原砂,如郑庵砂、六合红砂等能得到表面光洁的铸铁件,铸件表面亦容易清理。

§ 1-4 液态金属与金属铸型的相互作用及金属铸型的破坏

金属型铸造、压力铸造、离心铸造、挤压铸造中一般用金属材料制作铸型,这些铸型反复使用次数常达几千次、几万次以上,故又称永久铸型。液态金属和金属铸型的相互作用除具有前述的液态金属和砂型相互作用相似的规律外,还有其自己的特点,就是长期,反复的作用,并因而使金属铸型产生龟裂、外裂、烧蚀等破坏现象,影响了金属铸型的寿命。

一、交变热作用及铸型表面的龟裂

液态金属浇入铸型的每一个周期中,金属铸型受到加热和冷却的交替作用,在铸型内外产生交变的热应力。金属液浇入型腔时,型腔内表面温度高于内层的温度,表层的热膨胀量也大于内层的热膨胀量。而内层和表层是刚性整体,表层的膨胀受到内层的限制,使表层受到压应力的作用,内层受拉应力的作用。当铸件成型后,型腔表层即向大气散热,故表层温

度会低于内层的温度，此时表层受拉应力而内层受压应力。再一次浇入液态金属，这种交变热应力又重复出现一次。金属铸型因这些交变应力发生疲劳，最终在型腔表面产生网状裂纹，称为表面龟裂。这种龟裂开始时很小，以后逐渐扩大为沟槽，严重时会使表面剥落。

二、“热击”及型壁外裂

所谓“热击”即型壁剧烈受热，内表面温度迅速升高，而外表面及四周仍处于低温，内外温差很大。这时，内部不能自由膨胀，就造成很大的压应力，外部受拉应力。当应力超过金属型材料的拉伸强度时，就在型壁外表面产生裂纹。再次受热时裂纹会很快扩大而至裂穿。外裂总是在浇注第一个或最初几个铸件时产生。

热应力只是产生外裂的必要条件，而产生外裂的具体条件是：金属型本身的铸造应力未能消除，有残留内应力；金属型结构不合理；金属型外部有某些易形成应力集中的缺陷，如砂眼、夹渣、冷隔等。通常在浇注黑色金属时较易发生外裂。在特殊情况下，浇注铝镁合金大型金属型有时也会发生外裂。

三、金属液对铸型的烧伤

液态金属与金属铸型产生的局部熔焊常称之为“烧伤”，产生烧伤的原因有：

(1) 浇注金属的温度高，铸件壁过厚或局部厚大，过多的热量易使脱落涂料的型壁局部熔焊，这种情况在铸造黑色金属时较为严重。

(2) 浇注的金属与铸型材料易于形成合金，例如液态铝合金和铁铸型在无涂料的情况下易局部焊合。

(3) 金属液对型壁有机械冲刷作用，若金属液经常以较高速度冲击某一部分，则该处容易发生熔焊现象。黑色金属由于温度高、密度大，则冲击的动能大，所以设计浇注系统时应避免液流直接冲刷型壁。

为了避免铸件和金属型发生熔焊，常在型腔表面喷涂一层耐火涂料。

四、金属型的变形和磨损

金属型的变形和磨损导致其形状和尺寸发生变化，若铸出的铸件尺寸超过公差范围，则金属型就要报废。金属铸型的变形和磨损有以下几种情况：

(1) 金属型的强度和刚度不足时易变形，但刚度和结构强度过大，又易增大热应力，故应设计得当。

(2) 在浇注周期内，金属型内外温差大，或内外温差的变化大，则热应力大，如铸型结构又不合理，则易产生变形。

(3) 金属型尺寸愈大，结构愈复杂，则易挠曲变形；金属的组成部分愈多，运动磨擦面就多，磨损也愈快。复杂的组合型芯和活块，既易变形，又易磨损。

(4) 对金属型作用的温度愈高，时间愈长，则强度和刚度下降，就愈易变形。

(5) 金属型原有的内应力（锻铸件的残余应力）愈大，则愈易变形。所以，金属型毛坯应经热处理以消除其内应力。

(6) 操作不良，抽芯开型过晚，会增大变形。

五、金属型内部组织的变化

金属型长期在金属液的热作用下，内部组织、力学性能和物理性能均会发生变化。这些变化对金属型的寿命有一定的影响。

铸铁制的金属型在工作中受到长时间反复加热，会发生生长现象。即高温下铸铁中的渗碳体分解，石墨析出数量增加，氧沿石墨片渗入对铁氧化，这些都会使铸铁基体体积长大。铸铁生长的结果，使型腔尺寸发生变化，同时又在型壁内产生应力，更助长疲劳裂纹的发展。

对于与金属液直接作用的钢零件，在工作条件特别恶劣的条件下，内部组织会发生变化。例如，形成气冷式气缸头散热片的金属型的组合板状零件，用 30 CrMnSiA 钢制成，工作温度为 500~600℃，经浇注约五六千次后，产生裂纹报废。这是由于其工作温度接近退火温度，故工作时等于反复退火，因而降低机械性能；同时，也因温度反复变化产生热应力。两个原因的综合结果使铸型零件开裂。

六、延长金属型寿命的措施

根据以上关于金属形损坏的类型及产生原因的分析，可提出延长金属型使用寿命的主要措施如下：

- (1) 正确地设计金属型结构，保证有必要的结构强度和刚度，大小合理的配合间隙。
- (2) 减小铸型内的温差，特别要减小“热击”，故要预热铸型，在型腔表面喷涂耐火涂料，并使铸型有适当的冷却条件。
- (3) 采用含碳量较少、石墨片细小的铸铁，加入少量合金元素 Cr、Ni、Mo 等可提高铸铁的耐热性，减少或消除铸铁的生长和氧化。
- (4) 减少铸型中的残余应力，正确地选择金属型本身的铸造工艺，并经退火。同时，铸型上不得有气孔、缩孔、砂眼、夹渣、裂纹及白口层等缺陷。
- (5) 严格遵守确定的工艺规程，包括温度规范、涂料、拔芯和开型时间，保持稳定的浇注周期。
- (6) 选择具有一定强度、硬度、韧性以及高导热性的金属材料。

复习思考题

1. 金属和铸型有哪些相互作用？由于相互作用的结果会出现哪些伴生现象？从而又可能出现哪些铸造缺陷？
2. 干型和湿型的传热方式有何不同？干型和湿型的温度变化曲线及温度分布曲线有何不同？
3. 为什么说水分凝聚区是一个薄弱区域？水分凝聚区的出现对夹砂、气孔、燃烧等铸造缺陷的形成有何影响？
4. 试述夹砂类缺陷的特征、形成机理和防止措施。
5. 金属和铸型会产生哪些机械作用？由于这些机械作用，可能会出现什么铸造缺陷？如何防止这些缺陷的产生？
6. 如何判别铸件中三类气孔缺陷？侵入气孔形成的条件是什么？如何防止侵入气孔的形成？

7. 一般情况下，侵入气孔发生在芯子部位还是外型部位？图 1-12 所示型芯，哪个产生侵入气孔的可能性大？

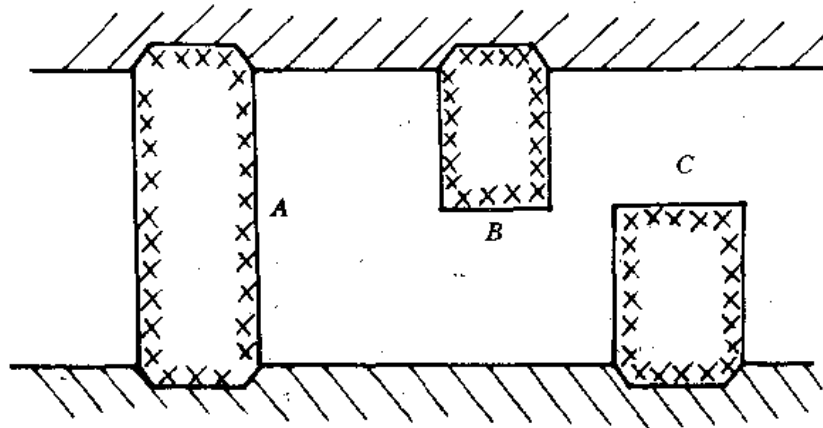


图 1-12

8. 试述镁合金燃烧缺陷产生的机理和防止方法。
9. 简述机械粘砂的形成机理、影响因素和防止方法。
10. 简述化学粘砂的形成机理、影响因素和防止方法。
11. 在热作用下金属型是如何产生龟裂和外裂的？金属型是如何破坏的？如何提高金属型的寿命？

第二章 铸造用砂(原砂)

原砂是一次型的耐火材料，一般是由无机耐高温的氧化物或复合氧化物组成。根据其来源不同，可以分成三种。

(1) 天然矿精选后直接使用。

天然矿是由岩石经过长期的风吹、日晒、水冲、冷冻以及空气、二氧化碳和有关生物的作用，变成细小的颗粒，这个过程叫做风化。风化后的砂常和粘土及其他矿物杂质混合在一起，有的停留在原地，有的经水力、风力或冰川的搬运脱离原风化地点而沉积起来。停留在原地的砂一般称为残留砂或山砂，其含泥量较多，颗粒较细，形状较不规则，如江苏六合红砂、河北唐山红砂。经水力搬运的砂有河砂、湖砂、海砂。这种砂的含泥量较少，颗粒较圆且均匀，如江西湖口砂、浙江普陀砂、广东新会砂等。经风力搬运和分选的砂称为风积砂，这种砂的颗粒较细且均匀，如内蒙的七棵树砂、甘旗卡砂和大林砂等。

沉积的石英砂颗粒被胶体的二氧化硅、氧化铁或碳酸钙等胶结成的石英砂岩也是一种原砂。这种石英砂岩易加工破碎成多角形的砂粒，如湖南湘潭人造石英砂。沉积的石英砂颗粒在地壳的高温高压作用下形成坚固的石英岩，经人工破碎、筛选成为人造石英砂。这种砂质地坚硬，形状呈多角形或尖角形，如江苏无锡、湖南衡阳、辽宁盖县等地生产的人造石英砂。

(2) 天然矿经高温煅烧或电熔后，经过破碎、筛分得到的原砂，如煅烧高岭土熟料、电熔刚玉砂。

(3) 靠人工合成煅烧得到的原砂，如合成莫来石砂。

必须指出，并非所有自然界的砂都可以作为铸造用砂。铸造用砂的矿物组成、化学成分、含泥量、颗粒组成、颗粒形状和耐火度等方面都是有一定技术要求的。有些用于熔模铸造的原砂甚至对相组成都有一定的要求。现分别讲述如下。

§ 2-1 铸造用砂的基本要求

一、铸造用砂的热物理性能要求

铸造用砂的热物理性能一般包括比热、导热性、蓄热特性和热膨胀性等。其中蓄热特性和热膨胀性是影响铸件质量的主要性能。

蓄热特性常以蓄热系数 b 表示：

$$b = \sqrt{c\lambda r} \quad (2-1)$$

式中： c ——材料的比热 ($J/(kg \cdot ^\circ C)$)；

λ ——材料的热导率 ($W/(m \cdot ^\circ C)$)；

r ——材料的密度 (kg/m^3)。

铸造用砂的蓄热特性对铸件凝固有着重要的影响，蓄热系数愈大，吸收的热量愈多，铸件的冷却速度愈快，铸件的结晶组织愈细。表 2-1 示出在不同耐火材料制成的型壳中铸件的

凝固时间及其蓄热系数。

铸造用砂的热膨胀性是影响铸件尺寸精度，引起铸件产生夹砂等缺陷的重要因素。铸造用砂的热膨胀性主要取决于其化学及矿物组成和所处的温度。不同的铸造用砂的线膨胀率是不同的，而且，随着温度的变化每一种铸造用砂的线膨胀率的变化也是不同的。图 2-1 所示为常用耐火材料的线膨胀率随温度变化的规律。

表 2-1 不同耐火材料的蓄热系数和铸件在型壳中的凝固时间

耐火材料名称	型壳的初始温度 (°C)	蓄热系数 (J/(m ² ·°C·s ^{1/2}))	凝固时间 (s)
石英砂	20	1 115.2	54
锆英砂	20	836.4	100.8
石英玻璃	20	627.3	200.4

表 2-2 为常用耐火材料的热物理性能。

表 2-2 常用耐火材料的热物理性能

耐火材料名称	熔点 (°C)	化学性质	密度 (kg/m ³)	线膨胀系数 (1×10 ⁻⁶ (1/°C))	热导率 (W/(m·°C))
石英 (SiO ₂)	1 713	酸性	2 700	16.0	0.38 (400°C)
石英玻璃 (SiO ₂)	1 713	酸性	2 200	0.5	0.38 (400°C)
电熔刚玉 (Al ₂ O ₃)	2 050	两性	3 800	8.6	0.30 (400°C)
莫来石 (3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂)	1 810	两性	3 160	4.5	0.29 (400°C)
硅线石 (Al ₂ O ₃ ·SiO ₂)	1 545	弱酸性	3 250	3.2~6.0	
锆英砂 (ZrO ₂ ·SiO ₂)	2 420	弱酸性	4 600~4 700	5.5	0.5 (1 200°C)
氧化镁 (MgO)	2 800	碱性	3 570	13.5	0.7 (1 200°C)
氧化锆 (ZrO ₂)	2 690		5 730	5.1	

二、铸造用砂的耐火度及最低共熔点

耐火度和熔点这两个概念都与耐火材料由固态转变为液态有关，它们表征了耐火材料抵抗高温的能力，但两者的概念和意义并不相同。熔点是纯物质的结晶相与其液相处于平衡状态下的温度。耐火材料一般具有多相的特征，还存在着少量杂质，故不存在固定不变的熔点，其熔融是在一定温度范围内进行的，在这个温度范围内液相和固相同时存在。耐火材料开始

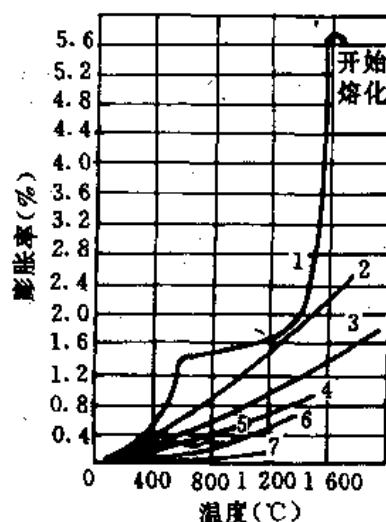


图 2-1 常用耐火材料的线膨胀率
1—石英 (SiO₂) 2—氧化镁 (MgO)
3—刚玉 (Al₂O₃) 4—硅线石 5—耐火粘土
6—硅酸锆 7—熔融石英

出现液相的温度（即最低共熔点）一般比较低，这是由于耐火材料作为一种多相系，在其中形成了低熔点化合物所致。例如，纯石英（ SiO_2 ）的熔点为 1713°C ，而与氧化铁形成的低熔点化合物 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ，其熔点仅为 1205°C 。

铸造用砂的耐火度是用被测材料制成三角锥试样测定，三角锥在加热过程中的变形和弯倒，可看成是由于材料中生成了液相以及固相在液相中的溶解所致。三角锥在不同阶段中的变形和弯倒程度，主要取决于材料中固相和液相的性质与数量之比。对熔模铸造型壳来说，即使出现少量的液相也将使型壳在浇注过程中产生变形，影响铸件的尺寸精度。从理论上讲，不少铸造用砂的耐火度都高于合金的浇注温度，但由于耐火材料的基体及其所含的杂质与金属或粘结剂中的有关物质发生相互作用而生成低熔点的化合物或共熔物，它们通常在远低于耐火材料本身耐火度的温度下开始形成液相，因而导致型壳软化，高温性能急剧下降。因此，对铸造用砂来说，要求材料本身具有高的耐火度固然是重要的，但更有意义的是型壳中液相开始出现的温度，即最低共熔点。

三、铸造用砂的热稳定性与热化学稳定性

热稳定性亦称抗热冲击性，是指耐火材料抵抗温度急剧变化而不开裂的性能。在浇注过程中，与液态金属接触的那一部分耐火材料，受到急剧热冲击，温度迅速上升，体积膨胀，有些材料还会发生相变；而远离液态金属的那一部分耐火材料，温度较低，膨胀量少，从而会导致铸型产生变形或裂纹。要求铸造用砂能抵抗这种温度的急剧变化而不开裂，即有较好的热稳定性。

铸造用砂在高温液态金属的热作用下，应具有良好的热化学稳定性，不与液态金属及其氧化物发生反应，不与粘结剂的氧化物形成低熔点的共熔物，否则，将使铸件产生粘砂、麻点等缺陷。例如，采用石英砂和石英粉、水玻璃涂料制成的型壳，在耐火材料中的氧化铁及碱性氧化物 CaO 、 K_2O 、 Na_2O 等有害杂质的含量不超过允许范围时，浇注中小型碳铸件一般不会产生严重的粘砂。但如果用上述耐火材料来浇注高锰钢铸件时，将会产生严重的化学粘砂。这是由于原砂中的 SiO_2 会与锰的氧化物 MnO 形成低熔点化合物，如 $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 其熔点仅为 1270°C ， $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 其熔点为 1320°C 。此外，采用石英砂铸型浇注镍、铬合金钢铸件如 ZG1Cr13，经常产生麻点，而采用锆砂或刚玉砂就可克服这种缺陷的产生。其原因与上述类同，就不赘述了。

四、铸造用砂的含泥量

原砂中颗粒直径小于 0.020 mm 部分所占的质量分数称为原砂的含泥量。砂和粘土都是由岩石风化成的，在自然界中，两者常常混杂在一起。采用化学分析方法很难将两者区分开，一般是根据两者的基本特征——颗粒大小加以区分。在铸造中，把颗粒直径大于 0.020 mm 的叫做砂，小于 0.020 mm 的称为泥。当两者混杂在一起时，则根据两者的相对含量来区分，如果其中颗粒小于 0.020 mm 的质量分数 $\times 10^2$ 小于 50 者称为砂，高于 50 者称为泥。

原砂的含泥量对型砂的强度、透气性和耐火度等性能都有很大的影响。原砂中所含的泥分往往有相当一部分不是粘土矿物组成，其粘结性能比普通粘土差得多，使型砂性能降低。原砂的含泥量对使用有机粘结剂的芯砂和熔模铸造型壳性能的影响更为显著，含泥量愈多，砂芯和型壳的强度及耐火度就愈低。因此，对油砂、树脂砂以及熔模铸造型壳用的原砂，其含

泥量最好控制在 0.3% 以下。目前,树脂砂一般采用水洗石英砂,熔模铸造中采用人造石英砂、电熔刚玉、煅烧高铝矾土等纯净耐火材料。

铸造用砂的含泥量一般用冲洗法测定。它是根据不同大小的颗粒在液体中的下沉速度是不同的原理进行的。测定时,在洗砂杯里加入一定数量的原砂和水及少量的分散剂,然后煮沸或充分搅拌,使砂与泥完全分离,按规定停放一段时间,使颗粒大于 0.020 mm 的砂沉降到杯底,用吸管将悬浮在杯中的泥和水一起吸出,如此反复多次,直至水清为止。测定烘干的残留砂样重量,即可求出原砂中的含泥量。

五、铸造用砂的颗粒组成

铸造用砂的颗粒组成包括颗粒的尺寸大小和不同颗粒大小之间的分布情况。原砂的颗粒组成对型砂的强度、透气性以及铸型的尺寸精度与表面质量都有很大的影响,是判断铸造用砂质量的重要性能指标之一。

(一) 铸造用砂颗粒组成的测定

铸造用砂的颗粒组成采用筛分法测定。我国 GB9442—88 规定的筛孔尺寸与美国铸造学会 (AFS) 规定的标准基本相同 (见表 2-3)。全套仪器由 11 个筛子和一个底盘组成。测定铸造用砂颗粒组成时,称取一定重量并已洗去泥分的干砂样,倒入最上面的粗筛子里,震动 15 分钟后,分别称量停留在每个筛子上的原砂重量,并换算成百分数即可。

表 2-3 GB9442—88 铸造用砂粒度与美国 AFS 标准对照

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	底盘
筛孔尺寸 (mm)	3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	—
美国筛号	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270	底盘
美国筛孔尺寸 (mm)	3.36	1.68	0.841	0.595	0.420	0.297	0.210	0.149	0.105	0.074	0.053	—

(二) 铸造用砂颗粒组成的表示方法

(1) 列表法:将筛分的结果用表格表示,如表 2-4 所示。这种方法比较麻烦,不便称呼,且不能立即看出颗粒组成的特征。

表 2-4 铸造用砂颗粒组成 (%)

筛孔尺寸 (mm)	3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	底盘	含泥量	总量
内蒙大林砂	—	—	—	0.50	5.46	21.08	44.70	15.56	7.69	2.72	0.46	0.42	1.04	99.90
江西湖口砂	—	—	—	0.50	2.98	18.06	56.96	16.86	2.86	0.36	0.08	—	1.12	99.78

(2) 图解法:用横坐标表示筛孔尺寸,纵坐标表示各筛子上的停留量,如图 2-2 所示。这种方法可直观地看出颗粒分布,但绘图费事,且不便称呼。

(3) 平均细度法：平均细度是假设砂样的总表面积保持不变的条件下，将砂样换算成同样重量均一直径的颗粒所能通过的筛号表示，砂粒愈细则平均细度值愈大。计算方法是将筛分后各筛上停留的百分数乘上相应的细度系数，将乘积总和除以各筛上停留量的百分数之和，即可求出砂粒的平均细度，如表 2-5 所示。

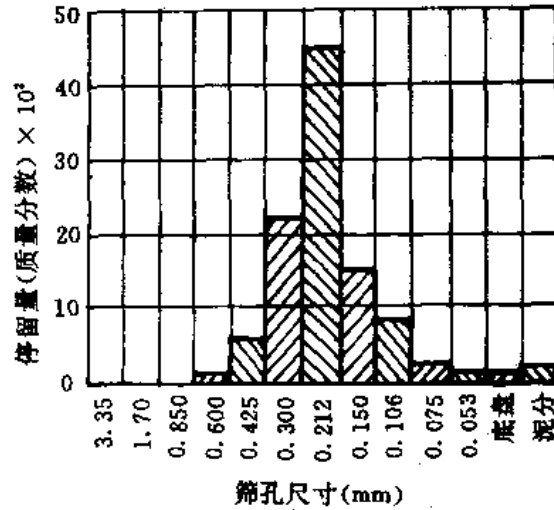


图 2-2 铸造用砂颗粒分布图

表 2-5 铸造用砂平均细度计算方法举例

美国筛号(目)	停留量(%)	细度系数	乘积
6	—	3	0
12	—	5	0
20	0.02	10	0.2
30	0.38	20	7.6
40	7.29	30	218.7
50	30.32	40	1 212.8
70	38.76	50	1 938
100	10.56	70	739.2
140	6.52	100	652
200	3.85	140	539
270	0.70	200	140
底盘	0.70	300	210
总计	99.10	—	5 657.5
含泥量	0.90	—	—
合计	100.00	—	—
平均细度	$N = \frac{5\ 657.5}{99.10} = 57.1$		

平均细度法在美国使用得比较广泛，欧洲有些国家也采用。这种方法的优点是可看出砂粒总表面积的大小，因为砂粒的总表面积与平均细度基本上成正比。但不能反映砂粒组成分布情况，平均细度值相同的铸造用砂，其粒度组成分布可相差很大。

六 铸造用砂的颗粒形状

(1) 粒形：砂粒可分为单粒砂和复合砂粒两种。复合砂粒是由许多小砂粒被氧化铁、二氧化硅或碳酸钙胶合成的，它在高温作用下容易分裂为小砂粒，复用性差，所需的粘结剂用量较大，一般不适合作为铸造用砂。

单粒砂的颗粒形状可分为：

圆形砂 颗粒呈圆形或接近圆形，没有突出的棱角，如图 2-3 (a) 所示。

多角形 颗粒呈多角形，且多为钝角，如图 2-3 (b) 所示。

尖角形 颗粒呈尖角形，且多为锐角，如图 2-3 (c) 所示。

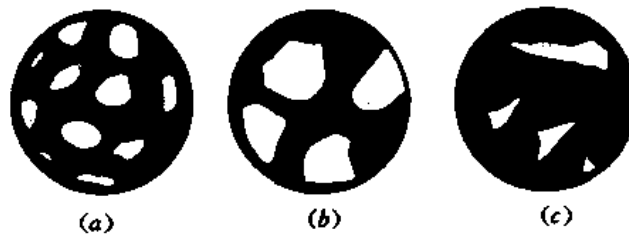


图 2-3 铸造用砂的颗粒形状
(a) 圆形 (b) 多角形 (c) 尖角形

铸造用砂的颗粒形状与其矿物组成和形成过程有关。SiO₂ 含量高的天然石英砂大多呈准圆形；河砂、湖砂及海砂由于在水力搬运的过程中相互摩擦，一般也呈圆形或准圆形；山砂和用石英岩破碎的人造石英砂大多呈尖角形或多角形。

(2) 粒貌：粒貌是指砂粒的表面状况。用显微镜或电子显微镜观察砂粒表面，可见其常覆有一层泥、粘土、含水氧化铁和氧化铝等的薄膜，很少有完全干净和光洁的砂粒表面。也就是说，砂粒表面常被大小为 0.1~0.4 μm 的微粒或微粒的连生体所覆盖，在它们之间有许多微小的裂纹。据测定这些裂纹的宽度一般为 0.05~0.10 μm，个别达 1 μm。这些稠密的裂纹网好像砂粒的内比表面积，它在很大程度上决定了砂粒对液体及气体的吸附情况。原砂经擦洗或在擦洗时经化学药品处理后，可使其含泥量降低到 0.15~0.3% 以下，这时粘结剂的用量可大大减少。在未经过擦洗、化学处理的原砂和经过擦洗、化学处理的原砂中加入相同数量的树脂粘剂时，用后者制成的砂芯强度较前者可成倍地提高。

(3) 砂粒的比表面积及角形系数：每克砂粒的总表面积称为原砂的比表面积。它与原砂的颗粒组成、粒形及粒貌有关。颗粒小的原砂其比表面积大；颗粒组成相同时，圆形的、表面光洁的原砂比表面积小。

角形系数(又称粒形系数)是原砂的实际比表面积与理论比表面积的比值，是反映原砂颗粒形貌的一项指标。角形系数 E 为

$$E = \frac{S_s}{S_L} \quad (2-2)$$

式中： E —— 角形系数；

S_s —— 原砂的实际比表面积(cm^2/g)；

S_L —— 原砂的理论比表面积，即相应理想球体的比表面积(cm^2/g)。

在等体积的各种几何体中，球形的比表面积最小，因此，采用粒形系数 E 来表示砂粒形状偏离圆球形的程度。若原砂为圆球形时，则 $E = 1$ ，但实际上砂粒的形状总是不规则的，其比表面积总是大于理论比表面积的，即 $E > 1$ 。根据测定，一般圆形砂 $E = 1.05 \sim 1.3$ ，多角形砂 $E = 1.3 \sim 1.6$ ，尖角形砂 $E > 1.6$ 。角形系数可采用瑞士 G.F. 公司，美国 D.T. 公司或国产通气法比表面积测定仪测定。

§ 2-2 铸造用砂的分类、表示方法

我国 GB9442—88 根据铸造用砂的矿物组成、含泥量、颗粒组成和颗粒形状（角形系数）等指标，对石英砂进行了分类，并规定了表示方法。见表 2-6~表 2-8。

表 2-6 铸造用砂分级

分级代号	最小 SiO_2 含量 (%)	最大含泥量 (%)
98	98	0.20
96	96	0.05
		1.00
93	93	0.30
		0.50
90	90	1.00
		2.00
85	85	1.00
80	80	2.00
75	75	10.00

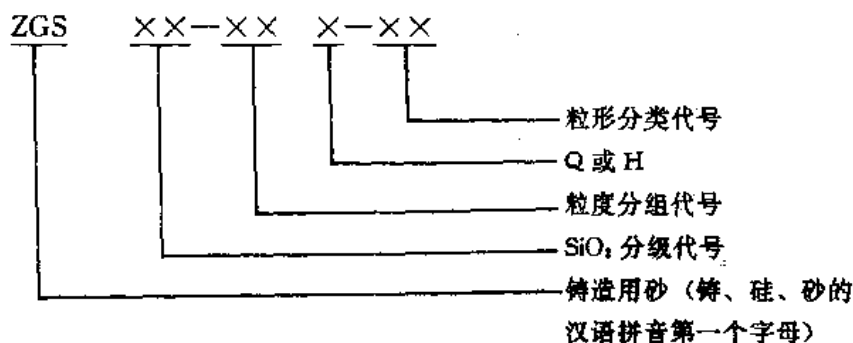
表 2-7 铸造用砂分类

分类代号	角形系数
15	≤ 1.15
30	≤ 1.30
45	≤ 1.45
63	≤ 1.63
90	> 1.63

表 2-8 铸造用砂分组

分组代号	主要粒度组成部分筛孔尺寸 (mm)
85	1.70, 0.850, 0.600
60	0.850, 0.600, 0.425
42	0.600, 0.425, 0.300
30	0.425, 0.300, 0.212
21	0.300, 0.212, 0.150
15	0.212, 0.150, 0.106
10	0.150, 0.106, 0.075
07	0.106, 0.075, 0.053
05	0.075, 0.053, 底盘

铸造用砂的牌号表示如下：



例如：ZGS96-42Q-30

ZGS80-15H-45

注：在主要粒度组成部分中前筛残留量大于后筛残留量用 Q 表示，反之用 H 表示。

§ 2-3 石英砂

一、石英砂的矿物组成及化学成分

石英砂的矿物组成及化学成分对其热物理性能、耐火度和复用性等都有很大影响，并直接影响铸件的质量。

(一) 石英砂的矿物组成

石英砂的主要矿物组成是石英，其次为长石以及少量的云母、铁的氧化物、硫化物和碱金属氧化物等。除石英外，其余的都是原砂的有害杂质。石英砂主要矿物特征如表 2-9 所示。

表 2-9 石英主要矿物特征

特 征 项 目 矿物名称	化 学 成 分	密 度 (kg/m ³)	莫氏硬度	熔 点 (°C)	
石 英	SiO ₂	2 600~2 650	7.0	1 713	
长 石	钾长石	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6 SiO ₂	2 500~2 600	6.0	1 170~1 200
	钠长石	Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6 SiO ₂	2 620~2 650	6.0~6.5	1 100
	钙长石	CaO · Al ₂ O ₃ · 2 SiO ₂	2 740~2 760	6.0~6.5	1 160~1 250
云 母	白云母	K ₂ O · 3 Al ₂ O ₃ · 6 SiO ₂ · 2 H ₂ O	2 750~3 000	2.0~2.5	1 270~1 275
	黑云母	K ₂ O · (Mg · Fe) O · Al ₂ O ₃ · 6 SiO ₂ · 2 H ₂ O	2 700~3 100	2.5~3.0	1 145~1 150

(1) 石英：纯的石英为白色透明体，俗称水晶，含有杂质时将染成各种颜色。石英的基本

结构单位是硅氧四面体，四个氧原子位于四面体的顶端，硅原子位于四面体的中心，每个四面体又和周围的四面体共用顶端的氧原子，即每个硅原子与四个氧原子相连，如此向空间无限地伸展，整个晶体是一个巨大的分子，如图 2-4 所示。

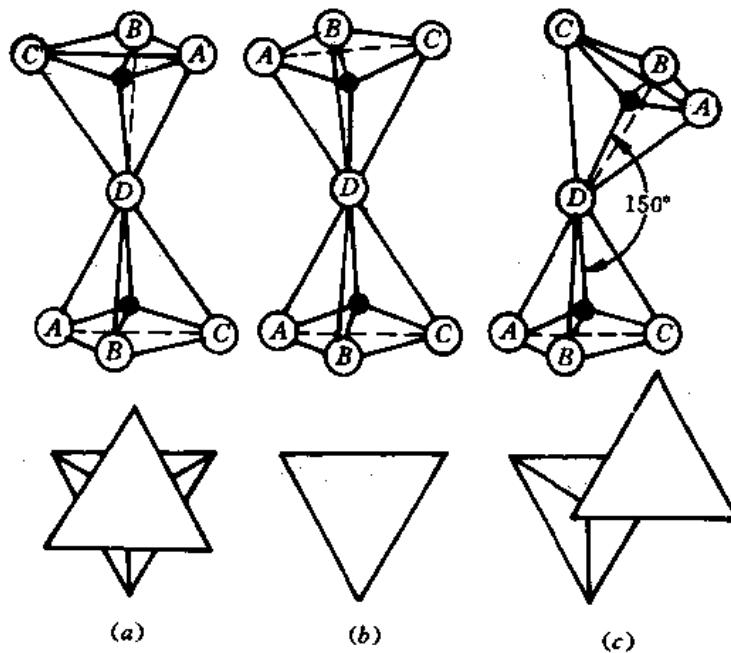


图 2-4 石英硅氧四面体结构示意图
(a) 方石英 (b) 鳞石英 (c) β石英

(2) 长石：长石为铝硅酸盐，常见的有钾长石、钠长石和钙长石三种。它们的晶体也属于骨架状结构，只是硅氧四面体中有一部分 Si 被 Al 所替换。长石中的 Al—O 键及氧原子与 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 等的结合比石英中的 Si—O 键弱，所以长石的熔点比石英低得多，约为 $1100 \sim 1250^\circ C$ ，硬度也比石英低，容易粉碎，复用性差。

(3) 云母：云母是一种含水铝硅酸盐，常见的有白云母和黑云母两种。其晶体属于层状结构，层与层之间分布着 K^+ 、 Al^{+++} 等阳离子，靠静电引力连接，而层内的 Si—O 键是共价键，比层间的结合力强得多，因此，在外力的作用下很容易沿层与层之间分成为薄片状。云母的硬度很低易粉碎，降低了原砂的复用性，熔点亦低，约为 $1145 \sim 1270^\circ C$ 。

(4) 铁的氧化物：原砂中铁的氧化物常以赤铁矿 (Fe_2O_3)、褐铁矿 ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) 和磁铁矿 (Fe_3O_4) 等形式存在。铁的氧化物易与其他氧化物形成低熔点的化合物，例如， $2FeO \cdot Al_2O_3$ 、 $2SiO_2$ 化合物，其熔点为 $1140^\circ C$ ； $2FeO \cdot SiO_2$ 化合物，熔点为 $1205^\circ C$ ，因此，它容易使铸件产生粘砂缺陷。

(5) 硫化物：硫是以黄铁矿 (FeS_2) 的形式存在于原砂中，它是极有害的杂质，使原砂的烧结点大为降低，容易引起铸件产生严重粘砂。 FeS_2 在高温下分解出硫，与铁水接触后生成低熔点化合物 FeS。使铸件产生严重粘砂。

(6) 碱金属及碱土金属氧化物：碱金属氧化物 (K_2O 及 Na_2O) 主要存在于长石及云母中。这类氧化物能与石英形成低熔点化合物，例如，由 73% 的 SiO_2 和 27% 的 Na_2O 形成的化合物，其熔点为 $793^\circ C$ 。在高温的作用下，这类低熔点的化合物将熔化并粘结其他的砂粒，称为烧结，

容易导致铸件粘砂。

碱土金属氧化物 (CaO 及 MgO) 存在于长石及云母中, 这类氧化物与 FeO 及 SiO₂ 都会生成低熔点化合物。但由于这种低熔点化合物与铸件结合不牢固, 冷却时的收缩与铸件的收缩不一致, 因此, 容易从铸件上剥落下来, 其危害较小。根据这种现象, 人们有时故意在型砂中加入一些石灰或氧化铁等, 使之形成一层易与铸件分离的玻璃体渣壳, 以改善铸件的表面质量。

(7) 碳酸盐: 碳酸盐类以石灰石 (CaCO₃)、白云石 (CaCO₃ · MgCO₃) 和菱苦土等形式存在于原砂中。浇注时, 碳酸盐分解出气体, 容易使铸件产生气孔等缺陷。

(二) 石英砂的化学成分

化学分析只能确定各种化合物的总含量, 而不能确定其存在的形式, 因为 SiO₂ 的含量不等于石英的含量, 长石及云母中也含有 SiO₂。分析石英砂的矿物组成需要有特殊设备和较复杂的技术, 故一般不进行。化学分析主要是确定石英砂中 SiO₂、K₂O、Na₂O、CaO 和 Fe₂O₃ 等的含量, 以此为根据, 可大致地估计石英砂的矿物组成。一般说来石英砂中的 SiO₂ 含量愈高, 其他氧化物的含量愈低, 石英砂的耐火度就高。因此, 在实际生产中是以石英砂中 SiO₂ 的含量作为衡量和控制石英砂质量的重要性能指标。

二、石英的同质异构转变

石英在不同温度下有几种同质异构转变并伴随着体积和密度的变化。石英的主要晶型有三种: 石英、鳞石英和方石英。每种晶型又有两种或三种变体, 即 α 石英, β 石英; α 鳞石英, β 鳞石英, γ 鳞石英; α 方石英, β 方石英。其中 α 为高温稳定变体; β 和 γ 为低温稳定变体。此外, 还有非晶体的石英玻璃, 其变化如图 2-5 所示。

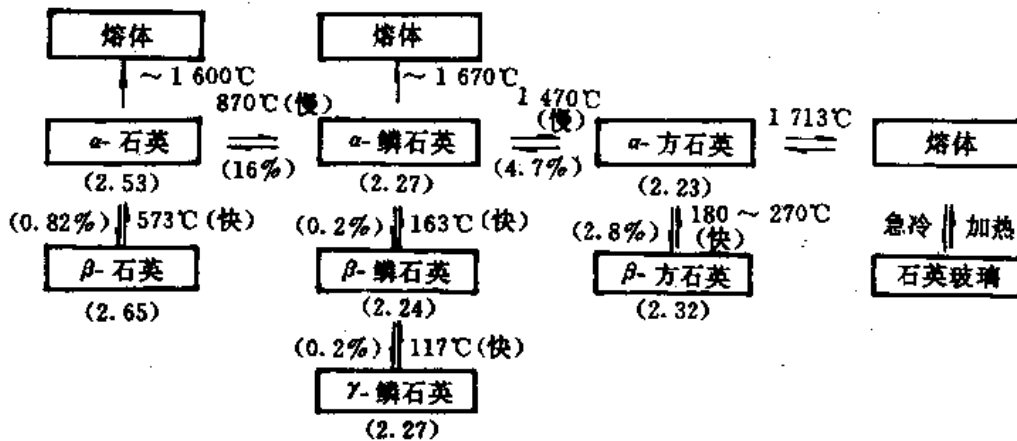


图 2-5 石英的同质异构变化

天然的石英为 β 石英, 随着加热温度的升高, 体积不断膨胀, 当加热温度到 573°C 时, 全部 β 石英立即转变为 α 石英。这个转变很迅速, 而且是可逆的。如果冷却到 573°C 以下时, α 石英又转变为 β 石英。因此, 在自然界中难找到天然的 α 石英。

若将 α 石英继续加热到 870°C, 并在强催化剂 (如钨酸钠 NaWO₄ · 2H₂O) 的作用下, 而且是很缓慢地加热, α 石英将转变为 α 鳞石英。但如果是较快地加热, 将过热至 1600°C 而熔化为熔体。

同样地，当按平衡条件缓慢地加热，并有强催化剂作用时， α 鳞石英在 1470℃ 将转变为 α 方石英。但若快速加热 α 鳞石英将过热到 1670℃ 熔化为熔体。

在浇注条件下，由于铸型被加热速度很快，同时又缺乏强催化剂的作用，因此， SiO_2 实际的多晶转变并非依次逐步进行。在一般的情况下，由 α 石英转变为 α 鳞石英或 α 方石英是难进行的。

对铸造生产来说，具有重要意义的是石英在 573℃ 由 β 石英转变为 α 石英。这个转变的体膨胀虽仅为 0.82%，但由于这个转变是突然发生，将对铸件质量产生十分不利的影晌。

三、石英砂的应用

(一) 石英砂在砂型铸造中的应用

石英砂是砂型铸造中最主要的造型材料之一，用量大用途广。选用时应根据合金牌号、铸件的壁厚、铸型的种类和造型方法的不同，选择合适的原砂。对于轻合金铸件一般采用粒度组成为 15 或 10 的原砂，铸钢件一般采用二氧化硅含量为 96~98% 的石英砂，铸铁件及小型铸钢件一般采用二氧化硅含量为 90~93% 的石英砂。

配制铸钢件用的水玻璃 CO_2 砂，常采用二氧化硅含量高，碱金属和碱土金属氧化物含量低，粒度较粗，圆形或多角形的石英砂。配制植物油砂时，为了减少植物油的加入量，宜选用含泥量 $< 0.5\%$ ，含水量 $< 0.5\%$ 的圆形原砂。配制树脂砂时，宜选用含泥量 $< 0.2\%$ ，含水量 $< 0.2\%$ ，角形系数 $E = 1.1 \sim 1.3$ 的石英砂。

(二) 石英基耐火材料在熔模铸造中的应用

(1) 石英砂在熔模铸造中的应用：石英砂具有一定的耐火度和高温化学稳定性，基本上能满足普通碳钢件熔模铸造用砂的要求。但当铸造含有较高的铝、钛等元素的高温合金钢和高锰钢铸件时，石英容易与这些合金及其氧化物发生化学反应，使铸件表面产生粘砂缺陷。

石英的同质异构变化导致体积变化的不均匀性，影响了型壳尺寸变化的不稳定。如果石英砂里含有碱金属和碱土金属氧化物以及 FeO 等杂质时，将显著地降低型壳的高温性能，因此，要求用于制造型壳的石英砂， SiO_2 的含量应大于 97%， $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) \leq 0.15\%$ ， $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) \leq 0.4\%$ 。

(2) 石英玻璃在熔模铸造中的应用：熔融的天然石英可制得石英玻璃，它是一种非晶型过冷熔体，可分为透明的和不透明的两种。透明的石英玻璃是由纯石英 ($\text{SiO}_2 > 99.95\%$) 在碳极电阻炉或电弧炉中熔融，随后快速冷却而制得。不透明的石英玻璃的纯度比透明的低，但比普通石英高得多。

石英玻璃是一种很好的制壳材料，它具有高纯度和非晶型的特性，使它具有许多优良的性能：

膨胀系数小 在 20℃ 时为 $(0.5 \times 10^{-6}) 1/^\circ\text{C}$ ，约为普通玻璃的 1/10~1/20，在目前所应用的各种耐火材料中是最小的，且随温度升高均匀地变化。这一特性使它具有良好的抗激冷性能，保证型壳在焙烧和浇注过程中不会因温度剧变产生破裂或型芯断裂等现象。

粘度高 这是由于其连续无规则的三维网络结构所决定的。众所周知，非晶型玻璃态物质无固定的熔点，在加热及冷却过程中，物态的变化取决于其粘度。粘度愈高，开始变形的温度愈高。石英玻璃的高粘度特性使它具有良好的抗高温变形的能力。

力学性能高 石英玻璃具有较高的抗弯、抗压和拉伸强度，而且在室温至 1200℃ 的范围

内,随温度升高其拉伸等性能均匀地增加,约比室温提高50~60%。但当有杂质和气泡时,其强度将显著地降低。

石英玻璃是一种优良的制壳和制芯的耐火材料,但由于透明的石英玻璃价格昂贵,因此,主要用来制作陶瓷型芯。石英玻璃的力学性能如表2-10所示。

表2-10 石英玻璃的力学性能

种类 \ 性能	抗压强度 (MPa)	拉伸强度 (MPa)	抗弯强度 (MPa)	抗冲击 (J/m ²) × 10 ³
透明的	705	73.3	113	1.08
不透明的	345	22.6	45.5	0.85

§2-4 非石英质铸造用砂

在铸造生产中,石英砂是应用最广、用量最大的铸造用砂。它的粒度等级广泛,能与各种铸造粘结剂结合,资源丰富,价格低廉,在一般的情况下基本上满足铸造用砂的要求。石英砂存在的主要问题是:热膨胀系数较大,尤其在573℃相变时所引起的突然膨胀,将使铸件产生夹砂、尺寸不符等缺陷;石英砂的蓄热系数较小,铸型的冷却能力较弱;石英砂容易与铁的氧化物发生化学反应,使铸件产生粘砂缺陷;石英砂在加工使用过程中,SiO₂粉尘飞扬,工人容易患硅肺病。因此,在采用砂型铸造生产大型钢铸件和合金钢铸件以及采用熔模铸造生产尺寸精度要求较高的黑色合金铸件时,经常采用非石英质铸造用砂。

一、电熔刚玉

电熔刚玉是一种纯氧化铝耐火材料,一般是由人工制成的,纯的天然刚玉自然界很少存在。结晶氧化铝有两种同质异构变体:一种为 α -Al₂O₃,另一种为 γ -Al₂O₃。 α -Al₂O₃为六方晶系,其结构中氧离子近似于六方紧密堆积,铝离子位于六个氧离子形成的八面体中。 α -Al₂O₃是存在于自然界中的一种变体,是Al₂O₃中最稳定的一种形式,通常所称的刚玉即指 α -Al₂O₃。 γ -Al₂O₃属于立方晶系,天然的 γ -Al₂O₃很少,一般是将三水铝土矿Al₂O₃·3H₂O(又称含水氧化铝或水铝石)加热到450~900℃经脱水后即成 γ -Al₂O₃,俗称工业氧化铝。继续加热到950~1200℃时, γ -Al₂O₃转变为 α -Al₂O₃,此即为人造刚玉。

人造刚玉是用工业氧化铝或二水铝土矿作原料,经破碎并洗涤后,在电弧炉中经2000~2400℃冶炼,去除其中的SiO₂和Fe₂O₃等杂质,所得的 α -Al₂O₃即为电熔刚玉。它具有许多优点:纯 α -Al₂O₃的熔点达2050℃,耐火度高;在加热过程中热膨胀系数小且均匀,由室温加热至2000℃,其总膨胀量约为2%;化学性能稳定,在高温下常呈弱碱性,有时也呈中性,对酸及碱的抵抗能力强,在氧化剂、还原剂和各种金属液的作用下不会与它们发生反应。因此,可用来制造高合金钢和镁合金铸件的型壳及型芯。但由于其价格较贵,来源较少,故未广泛应用。

熔模铸造用的电熔刚玉应符合下列要求:Al₂O₃≥95%,Fe₂O₃≤0.15%,SiO₂≤0.25%,Na₂O≤0.6%,灼减量≤2%。其中Na₂O是一种很有害的杂质,当含有Na₂O的电熔刚玉与酸

性粘结剂配合使用时，在高温下将生成 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 三元低熔点共熔物，使型壳的抗高温变形性能显著地降低。

二、铝硅酸盐耐火材料

铝硅酸盐耐火材料是以 Al_2O_3 和 SiO_2 为主要化学组成，同时含有少量的 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 和 K_2O 等杂质。根据 Al_2O_3 含量的不同，可分为半硅质（ Al_2O_3 为 15~30%），粘土质（ Al_2O_3 为 30~46%）和高铝质（ Al_2O_3 含量 >46%）三种。

（一） $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 二元状态图

铝硅酸盐耐火材料的相组成对其耐火性能起了决定性的影响。由图 2-6 可见，铝硅酸盐耐火材料理论相组成是随其化学组成和温度而变化。可把图 2-6 看成以莫来石为界的两个二元状态图。

在组成为 5.5% Al_2O_3 和 94.5% SiO_2 时，系统有最低的共熔点为 1545℃，但实际上由于系统中存有各种杂质，因此，开始出现液相的温度比理论上的温度更低。因此，在这个化学组成附近的铝硅酸盐不能作为型壳用的耐火材料。

在 Al_2O_3 含量为 15~30% 的半硅质耐火材料中，其相组成为方石英和少量的莫来石。在 Al_2O_3 含量为 30~46% 的粘土质耐火材料中，其主要组成高岭石，相组成为方石英和莫来石。在 Al_2O_3 含量高于 46% 的高铝质耐火材料中，包括硅线石类（硅线石、蓝晶石、红柱石），其 Al_2O_3 含量为 62.9~65%。莫来石 Al_2O_3 的含量为 71.8%，铝矾土 Al_2O_3 的含量为 50~80%。

由状态图可知， Al_2O_3 含量在 15~71.8% 的范围内，温度为 1545℃ 以上时的平衡相是莫来石和熔液，在 1545℃ 以下的平衡相为方石英和莫来石。随着 Al_2O_3 含量增加，莫来石的数量也不断增加，液相的量不断地减少，因而材料的耐火度就愈高。当 Al_2O_3 的含量超过 71.8% 时，固相线的温度为 1850℃，出现液相的温度大为提高。

（二）莫来石

莫来石亦称为高铝红柱石，分子式为 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ，理论组成为 Al_2O_3 71.8%， SiO_2 28.2%，密度为 3.16 g/cm³，介于石英

与刚玉之间。它属于 $[\text{SiO}_4]$ 四面体孤岛状结构的硅酸盐，是 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系中唯一稳定的化合物。莫来石的熔点高（1870℃），在熔点以下稳定地存在；膨胀系数较电熔刚玉小，抗激冷激热性能好，抗高温变形能力强。因此，它是熔模铸造制壳的优良耐火材料。但天然的莫来石很少，通常是采用人工方法制得。由图 2-6 可见，铝硅酸盐经煅烧后，可转变为以莫来石为主的耐火材料。实践表明，高岭石、硅线石和铝矾土等均可作为煅烧莫来石的原料。莫来石含量的高低取决于原料中 Al_2O_3 的含量、存在形式以及煅烧温度。

（三）煅烧高岭土熟料

将高岭石类的粘土经高温煅烧后，破碎成一定大小的粒度即可获得煅烧高岭土熟料。其相组成主要为莫来石和玻璃相，有时还存在少量的游离 SiO_2 。原料中 Al_2O_3 含量愈多，煅烧

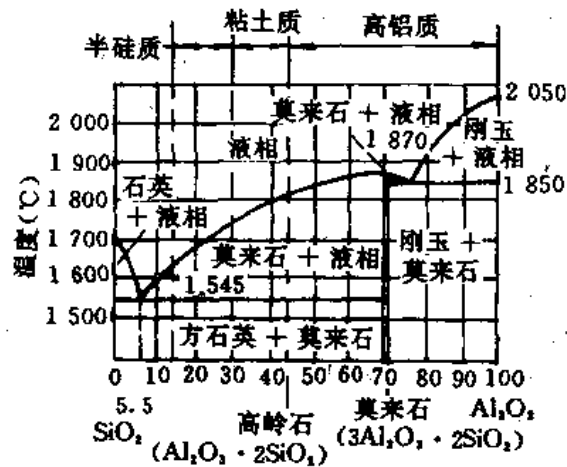


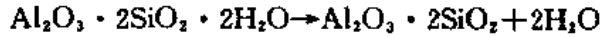
图 2-6 $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 状态图

的温度愈高，煅烧时间愈长，则莫来石的含量就愈高。

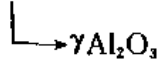
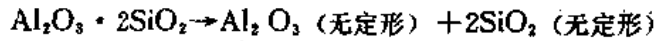
我国陕西铜川上店的坩土熟料，江苏宜兴丁蜀矿的匣钵砂，英国莫洛凯特 (Molcohit) 的硬质粘土，都是良好的煅烧高岭土熟料。

制造煅烧高岭土熟料原材料的主要组成是高岭石，其 Al_2O_3 含量为 41~43%， SiO_2 含量为 52~55%，同时含有少量的 Fe_2O_3 、 MgO 和 Na_2O 等杂质。这种高岭石在煅烧加热过程中，将分解为莫来石，多余的 SiO_2 在 1545℃ 以上为液相，1545℃ 以下结晶为方石英。高岭石在加热过程中发生如下的物理化学变化：

加热到 100~200℃ 失去吸附水，加热至 450~520℃ 分解出结构水，至 550~580℃ 结构水分解终止，生成非晶形的偏高岭石，并伴随着发生吸热反应：



加热到 930℃ 偏高岭石开始分解为游离的无定形的 Al_2O_3 和 SiO_2 ，前者转变为结晶的 $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ 。到 980~1010℃ 终止，并伴随着放热反应：



加热至 1100~1200℃ 生成莫来石，称为一次莫来石反应，并于 1500~1600℃ 完成。加热温度高于 1200℃ 时，无定形的 SiO_2 结晶转变为方石英。高岭石煅烧后，体积收缩趋于稳定，相组成为莫来石和方石英，其余为 SiO_2 玻璃相。

上面指出，随着煅烧温度的升高，莫来石的生成量增加。煅烧为 1250℃ 时，莫来石的生成量为 47%，方石英为 1~2%；煅烧温度为 1450℃ 时，生成量为 58%，方石英为 28% 达到最大量；煅烧温度为 1600℃ 时，莫来石的生成量达到最大值为 60%，方石英逐渐溶解在液相中成为玻璃相。

煅烧后的高岭土熟料具有较好的高温强度和抗高温变形能力。但其线膨胀率随加热温度变动很大。在 180~270℃ 范围内，因方石英发生相变，其线膨胀系数在 $[(10 \sim 100) \times 10^{-6}] / \text{℃}$ 的范围内变动。随着煅烧温度的升高，莫来石的生成量虽增大，但方石英的生成量也增大，有害的影响加重。当煅烧温度高于 1600℃ 时，由于方石英全部溶解在液相中，方石英的不利影响才能消除。因此，高岭土的煅烧温度最好控制在 1550~1600℃。

(四) 煅烧铝矾土

铝矾土是以天然含水氧化铝为主要矿物组成的高铝质耐火材料。其主要矿物组成为 Al_2O_3 ，同时含有一定数量的高岭石和少量的 Fe_2O_3 和 TiO_2 等杂质。铝矾土熟料砂、粉按其化学成分分为三级，分级代号为 85、80、70，对应的 Al_2O_3 含量分别为 $\geq 85\%$ 、 $\geq 80\%$ 、 $\geq 70\%$ 。详见国家标准《熔模铸造用铝矾土砂、粉》(GB12215-90)。

煅烧时，当加热至 450~580℃，铝矾土中的含水氧化铝脱水为 $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ，高岭石分解为偏高岭石。加热至 930~1200℃， $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ 转变为 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ (刚玉)，并在 1100~1200℃ 发生一次莫来石化反应，高岭石转变为莫来石和无定形的 SiO_2 。后者在 1200℃ 以上转变为方石英。同时开始发生二次莫来石化反应，即游离的 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ 与游离的方石英发生反应，生成二次莫来石相。从理论上讲，铝矾土在煅烧过程中，其含水氧化铝转化成的 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ 与高岭石分解出来的 SiO_2 进行完全反应时所生成的莫来石量最大。此时莫来石的总量达到最大值。这相当于铝矾土中 Al_2O_3 含量为 65~70% 时的情况。二次莫来石化反应开始于 1200℃，于 1400~1500℃

完成。但实际上由于 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 SiO_2 的活性小，因此，二次莫来石相的生成量并不大。煅烧铝矾土熟料的相组成为刚玉和莫来石，而未莫来石化的 SiO_2 和部分 Al_2O_3 与杂质一起形成低熔点的硅酸盐玻璃相。

煅烧铝矾土熟料的热膨胀系数小，抗高温变形能力较强，高温化学稳定性好。因此，可部分代替价格较贵的电熔刚玉，用来制作熔模铸造不锈钢及高温合金铸件用的型壳。也可用来制作熔模铸造高强度水玻璃型壳。我国的河北、山西、河南、山东、湖南及辽宁等省均蕴藏有大量的铝矾土矿。

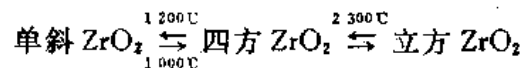
三、锆 砂

锆砂包括二氧化锆 (ZrO_2) 和硅酸锆 (ZrSiO_4) 两种。由于二氧化锆的来源少，价格昂贵，很少应用，主要是采用硅酸锆。

(一) 二氧化锆

二氧化锆是由斜锆矿加工处理制得。斜锆矿含有 80~90% 天然形态的 ZrO_2 ，含量高的可达 96~99%。二氧化锆的熔点高达 2 690℃，是最耐高温的氧化物之一，具有良好的高温稳定性能，一般用作特殊的耐火材料。

二氧化锆具有三种晶型，即常温下稳定的单斜 ZrO_2 ，高温下的四方 ZrO_2 和高温下稳定的立方 ZrO_2 。它们之间的转变如下：



当温度升高到 1 200℃ 左右时，单斜 ZrO_2 转变为四方 ZrO_2 ，这个过程不仅是可逆的，而且转变很迅速。在加热过程中伴有明显的体积收缩，而在冷却时产生不等于收缩量的膨胀，因此，不宜采用这种耐火材料制造熔模铸造的型壳。为了抑制其晶型变化，防止型壳在加热及冷却过程中产生开裂，可加入一定量的稳定剂，如钙、镁及铈的氧化物。常以碳酸钙的形式加入 5~8% 的 CaO ，加热到 1 500~1 700℃ 进行焙烧，这样就可减少 ZrO_2 在加热及冷却过程中的线量变化。

(二) 硅酸锆

硅酸锆的主要矿物组成为锆英石。纯锆砂的化学成分为 67.02% ZrO_2 ，32.98% SiO_2 ，密度为 4.7g/cm³，莫氏硬度为 7.5，耐火度高，其熔点高达 2 430℃，烧结点为 1 750℃。但当含有少量的 Fe_2O_3 、 CaO 和 Al_2O_3 等杂质时，其熔点将降为 2 000℃ 左右。

硅酸锆的熔点虽然很高，但却在低于液相线温度下分解为 ZrO_2 和 SiO_2 。纯硅酸锆的分解温度为 1 540℃，温度升至 1 760℃ 时分解加快，其分解是可逆的，即分解产物可重新形成硅酸锆。由于分解所析出的 SiO_2 具有较高的化学活性，易与铝及钛等合金及氧化物发生反应，故主要用于工作温度在 1 500℃ 以下的铸型。

国外锆砂的主要产地为澳大利亚，其产量约占世界总产量的 70% 左右。此外美国、印度、马来西亚、泰国、苏联和埃及也有出产。我国的广东、山东等省蕴藏量也不少。精矿中的 ZrO_2 含量达 55.6~61%，经精选后 ZrO_2 含量可达 98% 以上。由于锆砂常与独居石混在一起，而独居石中常含有放射性物质钍或二氧化钍 (ThO_2)，对人体有害，因此，锆砂矿都必须经过磁选去除独居石，使其所含的放射性物质低于国家规定的允许范围。

锆砂的耐火度高，密度较大，蓄热系数大，激冷效果好，抗金属渗透能力强；锆砂的粒

度细且均匀，颗粒形状接近于圆形或多角形，表面较光洁且易与各种粘结剂结合，很适合作为呋喃树脂砂和壳型铸造用砂。锆砂主要用于配制大型铸钢件、合金钢件的面砂，或作为熔模铸造型壳面层涂料，用于浇注温度低于1500℃的合金，可获得良好的效果。

四、铬铁矿砂

铬铁矿砂的主要矿物组成为铬铁矿 (FeCrO_4)、镁铬铁矿 [$(\text{Mg} \cdot \text{Fe}) \text{Cr}_2\text{O}_4$] 和铝镁铬铁矿 [$(\text{Fe} \cdot \text{Mg}) (\text{Cr} \cdot \text{Al})_2\text{O}_4$]。其化学成分主要为 Cr_2O_3 ，其次为 MgO 、 FeO 、 Al_2O_3 和少量的 SiO_2 以及其他杂质。其中最有害的杂质是碳酸盐 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)，它与高温液体金属接触时会分解出 CO_2 等气体，使铸件产生气孔缺陷。因此，刚开采出来的铬铁矿砂都应破碎、清洗、去泥、重力选矿、筛分等，必要时用高强度的磁力分离器加以富集，去除其中的有害杂质。铸造用的铬铁矿砂 Cr_2O_3 的含量应不少于 36%，最好大于 50%。

铬铁矿砂的热化学性能比较稳定，不与氧化铁发生化学反应，加热在 1700℃ 以前无相变化，体积较稳定，其导热率比石英砂大几倍，具有较强的激冷作用和抗液体金属渗透能力，与钢液基本不润湿。因此，采用铬铁矿砂作为生产锰钢铸件的面砂，可获得满意的结果。

五、镁砂与橄榄石砂

(一) 镁砂

镁砂的主要化学成分为 MgO ，它是由菱镁矿 (MgCO_3) 在高温下煅烧后经破碎、筛分而获得的。将 MgCO_3 在 800~950℃ 进行煅烧所得的 MgO ，质疏松化学活性大，因而不适合作为铸造用砂。将 MgCO_3 在 1550~1600℃ 以上温度煅烧，使 MgO 重新结晶并烧结，它具有良好的性能，可作为铸造用砂。

纯氧化镁的熔点为 2800℃，但由于含有 SiO_2 、 CaO 和 Fe_2O_3 等杂质，故其熔点一般为 1840℃ 左右；镁砂的硬度为莫氏 4~4.5，密度为 3.5 g/cm³，膨胀系数比石英砂小；镁砂呈碱性，不与氧化锰及氧化铁发生化学反应。因此，常作为生产高锰钢铸件的面砂或芯砂以及配制涂料之用。

我国辽宁大石桥是世界上最大的菱镁矿产地之一，所出产的菱镁矿含 MgO 大于 85%，其 $\text{CaO} \leq 6\%$ ， $\text{SiO}_2 \leq 5\%$ ，灼减率 $\leq 0.6\%$ ，耐火度大于 1900℃。由于煅烧菱镁矿的技术较复杂，因此，镁砂的价格比石英砂贵几倍，主要作为生产高锰钢和高合金钢铸件的铸造用砂。

(二) 橄榄石砂

橄榄石是正硅酸镁 (镁橄榄石 Mg_2SiO_4) 和正硅酸铁 (铁橄榄石 Fe_2SiO_4) 两种硅酸盐的固溶体。同时含有少量的其他矿物，如蛇纹石、辉石、绿泥石、滑石和碳酸盐等。橄榄石砂的质量主要取决于正硅酸镁和正硅酸铁的比率，正硅酸镁的数量愈高，橄榄石砂的质量愈好。正硅酸镁的熔融温度为 1890℃，而正硅酸铁的熔融温度为 1250℃。因此，铸造用的橄榄石砂实际上是指正硅酸镁为主的原砂。

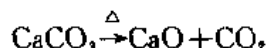
橄榄石的密度为 3.2~3.4 g/cm³，莫氏硬度为 6.5~7.0。橄榄石必须经过破碎、磨细、筛分并水洗，除去蛇纹石等其他矿物，并经 1100℃ 煅烧脱水后才能使用。镁橄榄石从室温加热到熔化温度均无晶形变化，热膨胀系数比石英砂小且均匀地膨胀，因此，采用橄榄石砂生产黑色合金铸件不易产生夹砂及结疤等缺陷。

镁橄榄石砂是一种碱性耐火材料，在浇注过程中不与某些金属氧化物发生强烈反应。因

此在欧洲及北美的不少国家广泛用来生产高锰钢铸件，效果良好。

六、石灰石砂

石灰石砂是指将天然石灰石破碎、筛选制造成的铸造用砂。其主要矿物成分为 CaCO_3 。常用的石灰石砂的化学成分为： $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 50\%$ ， $\text{MgO} \leq 4\%$ ， $\text{SiO}_2 \leq 5\%$ 。浇注时，在液体金属的热作用下， CaCO_3 于 $900 \sim 920^\circ\text{C}$ 范围内发生分解反应：



分解的 CO_2 气体逸出铸型， CaO 作为造型材料的骨材。采用石灰石砂生产铸钢件具有许多优点：

- (1) 石灰石砂中所含游离的 SiO_2 小于 5%，比石英砂少得多，减少硅肺病的危害。
- (2) 铸钢件表面光洁，不粘砂，清理容易，减轻工人的劳动强度，提高了劳动生产率。
- (3) 石灰石砂的冷却速度比石英砂快，铸件的组织较致密，力学性能较好。
- (4) 石灰石砂的资源丰富，可就地取材，铸件的成本不高。

石灰石砂存在的主要问题是铸件容易产生气孔及缩沉等缺陷，型砂的保存性及复用性差，旧砂的回用较困难。

复习思考题

1. 试述铸铁件手工造型用的型砂与机器造芯用的树脂砂对原砂颗粒形状及含泥量的要求有何区别，为什么？
2. 试述铝合金铸件手工造型用的型砂与熔模铸造高合金钢用的原砂有何区别，为什么？
3. 有两种原砂的 SiO_2 含量、角形系数、含泥量和粒度分析结果如下表所示，试述这两种原砂的粒度、平均细度，并用牌号表示。

筛孔尺寸 (mm) 停留量 (g) 序号	3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	底盘	含泥量
1 [#]	—	—	—	0.05	1.43	6.69	8.71	22.55	7.63	1.49	0.48	0.07	0.68
2 [#]	0.12	0.52	1.75	4.91	7.09	12.85	15.07	3.95	1.85	0.79	0.09	0.39	0.56

注：1[#]砂的 SiO_2 含量为 85%，角形系数为 1.55；

2[#]砂的 SiO_2 含量为 96%，角形系数为 1.25。

4. 试述电熔刚玉、铝矾土和上店坩土熟料的区别及主要用途。

第三章 粘结剂

§ 3-1 粘结剂的分类

铸造粘结剂的主要作用是将颗粒状或粉状造型材料形成有一定强度的连续粘结薄膜而形成铸型。铸造用粘结剂种类很多，其分类方法也是多种多样的。如果按粘结剂成膜过程的性质分类，亦即从粘结剂的粘结机理来看，粘结剂可分为物理成膜粘结剂与化学成膜粘结剂两大类。粘土粘结剂依靠粘土颗粒表面的吸附水及吸附阳离子连结形成膜的过程是物理成膜过程。这种膜在铸型浇注后即因水分蒸发粘土颗粒离散而导致膜的解体，但重新加水后又可恢复粘结能力。硅溶胶、水玻璃及有机粘结剂则依靠化学反应而生成具有较高强度的聚合物薄膜将型砂颗粒与制壳粉料牢固地粘结在一起。这种粘结剂的成膜过程均为不可逆化学聚合或缩聚反应，铸型浇注后粘结剂薄膜即使不被烧去也不能恢复到反应前的状态，因而这类粘结剂均是一次性使用的。

粘结剂如果按组成分类，可分为有机粘结剂与无机粘结剂两大类。无机粘结剂有铸造用粘土、膨润土、水泥、硅溶胶、水玻璃、硅酸乙酯等，有机粘结剂有植物油、合脂及各种树脂等。

铸造用有机粘结剂种类繁多，根据其来源，大致可以分为植物油类、石油与轻工化工副产品类、合成树脂类（见表 3-1）。

表 3-1 铸造用有机粘结剂按材料来源分类

编号	类别	粘结剂名称
一	天然植物类	植物油：桐油、亚麻油、梓油、糖浆 淀粉：面粉、糊精、石蒜粉 天然树脂：松香
二	石油、轻工、化工副产品类	制皂、造纸、制糖废液：合脂、纸浆废液、糖浆 石油加工副产品：渣油、沥青 粮棉加工副产品：米糠油、羧甲基纤维素
三	合成树脂类	尿醛树脂 酚醛树脂类：酚醛树脂、苯基苯酚树脂 糠醇树脂类：呋喃—I型、呋喃—II型 聚乙烯醇树脂

植物油类粘结剂性能良好，但其来源有限、成本较高。石油与轻工化工副产品类粘结剂成本低廉，是植物油的良好代用品。合成树脂是适应新工艺发展起来的新型粘结剂，在国内外发展很快，不断出现新的品种。这类树脂的重要原料多来源于石油，通过石油裂解和重整得到各种烯烃和芳香烃，进一步合成各种树脂。

由于有机粘结剂的组成很复杂，往往不是单一组成而是几种化合物的混合物。为便于理解其构造和特性，可以根据其主要组成将有机粘结剂划分为三种类型，如表 3-2 所示。

表 3-2 铸造用有机粘结剂按主要组成分类

种类	主要组成	结构类型	粘 结 剂	
			憎 水	亲 水
1	烃 类	链 状	石油类：渣油、沥青	
2	烃的衍生物	链 状	酯类 植物油（桐油、亚麻油、米糠油） 合脂	
3	高分子化合物	线型或体型	天然高分子：松香 合成高分子：酚醛树脂	纸浆、淀粉、糖浆、纤维素 糠醇树脂、脲醛树脂

属于烃类的粘结剂，主要以石油类粘结剂为代表。属于烃的衍生物的，主要是植物油类。在铸造上应用的植物油粘结剂主要是不饱和酸的甘油酯，如桐油、亚麻油等。合脂组成很复杂，主要是高碳脂肪酸和各种酯类。高分子化合物按其来源分为天然的和合成的两大类，松香是天然高分子化合物，但来源很少。随着化学工业的发展，铸造用合成树脂类高分子化合物作粘结剂将越来越多。

§ 3-2 无机粘结剂

一、粘土

(一) 粘土的组成与分类

1. 粘土的化学组成

粘土是含水铝硅酸盐的混合物，主要化学组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 和结晶水。随着地质生成条件的不同，同时会含少量的碱金属与碱土金属氧化物以及着色氧化物 (Fe_2O_3 、 TiO_2) 等。我国主要砂型铸造用粘土、铸造用膨润土与熔模铸造用耐火粘土的化学组成可参考有关手册或专著。

2. 粘土的矿物组成

在自然界中粘土很少以单矿物出现，经常是数种粘土矿物共生形成的多矿物组合。根据结构与组成的不同，造型材料所用粘土中的主要矿物可分为高岭石类、蒙脱石类及伊利石类三种。

(1) 高岭石类：高岭石结构如图 3-1 所示。它是由一层 $[\text{SiO}_4]$ 四面体层和一层 $[\text{AlO}_2(\text{OH})_2]$ 八面体组成，硅氧四面体的顶端均指向 $[\text{AlO}_2(\text{OH})_2]$ 八面体，并和八面体共同占有 O 原子，构成结构单位层。这种结构单位层沿 c 轴方向互相重叠时，总是 $[\text{SiO}_4]$ 四面体层与 $[\text{AlO}_2(\text{OH})_2]$ 八面体层相结合（图 3-1 (a) 及 (b)），而在 a, b 轴方向无限的伸展构成高岭石晶体。单位晶胞层厚为 $7.14 \times 10^{-10}\text{m}$ 。

由图 3-1 (b) 可见，层状结构的一侧为氧原子，而另一侧为 OH 原子团。各层电荷分配

按鲍林原理正负电荷各为 28，因此结构单位中电荷是平衡的。这种结构可以把它看作二层型即一层四面体层与一层八面体层结合。这样的二层型结构单位相互之间存在的 O 和 OH 离子，由氢键联结着。单位晶层间的晶面是解理面。虽然氢键结合力较弱，但与蒙脱石间靠 O 晶面邻接相比，结合力要强些，因此高岭石不及蒙脱石易解理与粉碎，所以高岭石的粘结能力较差。

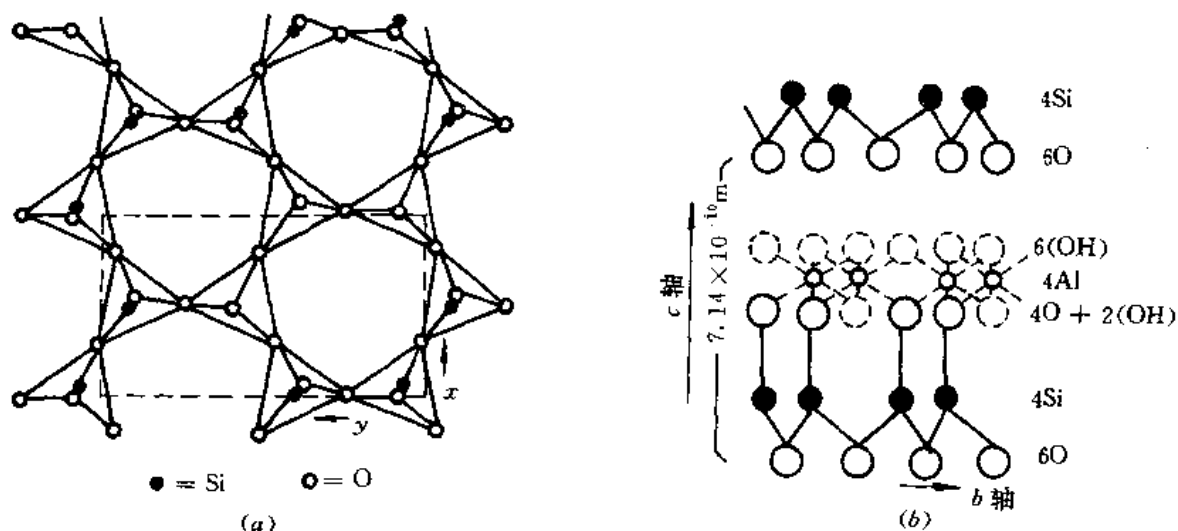


图 3-1 高岭石结构
(a) SiO_2 层中原子分布 (b) bc 面投影图

在高岭石类粘土矿物的晶格中，只有很小一部分离子可能被替代，并且基本限于八面体中的 Al^{3+} 被 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和其他离子所替代。作为层间的阳离子除了 K^+ 以外，还可以有 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。至于四面体中的 Si^{4+} 则很少被 Al^{3+} 或 P^{5+} 替代，这是高岭土不同于蒙脱石类粘土矿物之处。粘土矿物晶格中的离子替代将直接影响粘土的离子交换能力。

由于高岭石粘土矿物具有较小的膨胀、收缩性能和较高的耐火度，用于干型、浇注大件的砂型铸造用粘土和熔模精铸用耐火粘土的主要矿物组成都是高岭石，

(2) 蒙脱石类：蒙脱石有时称微晶高岭石，它的结构类似高岭石，但它为三层型结构（图 3-2）。由图可见，蒙脱石是由两层 $[\text{SiO}_4]$ 四面体（即 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ ）和在它们中间的一层 $[\text{AlO}_2(\text{OH})_2]$ 八面体组成。每一个四面体的顶端的氧都指向结构层的中央并与八面体共有。由于晶层之间氧层与氧层的联系力很小，水或其他极性分子容易进入晶层中间，因而 c 轴方向上结构层之间的距离具有可变性，即单位晶胞 c 轴长度取决于层

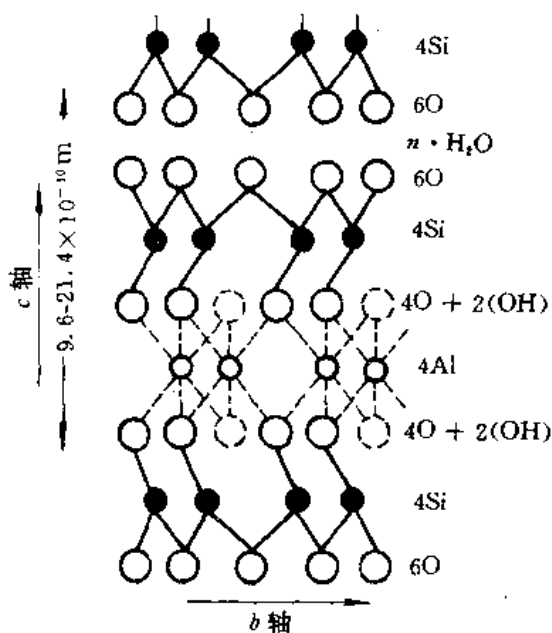


图 3-2 蒙脱石结构

间含水量，能在一定范围内波动。所以蒙脱石易于膨润与压缩。

如果蒙脱石晶格中不存在替代(置换)离子，则理论上电荷分配以正负电荷各44达到平衡。

理论化学式为： $(OH)_4Si_4Al_4O_{20} \cdot nH_2O$

理论组成为： SiO_2 66.7%； Al_2O_3 28.3%； H_2O 5%。

实际上蒙脱石晶体结构中四面体层中的 Si^{4+} 小部分被 Al^{3+} 、 P^{5+} 置换，八面体中的 Al^{3+} 常被 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Li^+ 等置换。这种结构内的类质同晶替代引起单位晶胞中有剩余的负电荷，成为结构中出现层间水的根本原因，即超电荷使用各层互相排斥而让水分子渗入。这些负电荷依靠吸附阳离子而使电价达到平衡。这些阳离子又可以被其他阳离子所交换。同时阳离子都会水化，蒙脱石单位层间就吸附了水化阳离子，因此 c 轴也随含水量增加膨胀，例如无水时蒙脱石 (d_{001}) 为 $9.6 \times 10^{-10}m$ ，随着水分增加可达 $21.4 \times 10^{-10}m$ 。吸附钠离子的蒙脱石称为钠蒙脱石，吸附钙离子的蒙脱石称为钙蒙脱石。我国出产的膨润土多以钙蒙脱石为主要矿物。

蒙脱石由于层间吸附了许多水化了的阳离子团，所以层间结合力极弱，易解理，分散度高，相应地粘结性强。钠蒙脱石分散性较钙蒙脱石更强，在水中能形成稳定的悬浮液。后者在水中不易形成稳定的悬浮液，矿物颗粒多凝聚成集合体。

蒙脱石加热至 $100 \sim 200^\circ C$ 即失去晶层间吸附的水分； $500 \sim 700^\circ C$ 失去结构水，基本结束脱水作用；加热到 $800^\circ C$ 以上晶格破坏，矿物转变为无定形物质；再加热到 $1100 \sim 1200^\circ C$ 即开始出现高温新相。

(3) 伊利石类：伊利石是常见的一种水云母类矿物，通常具有较细的颗粒。

由图 3-3 可见，伊利石结构与蒙脱石相似，也是由两层 $[SiO_4]$ 四面体，中间夹一层 $[AlO_2(OH)_2]$ 八面体所组成。所不同的是硅氧四面体内有 $1/4Si$ 常被 Al 替代。为了保持电荷平衡，钾离子进入晶层中间恰巧填充到 O 层表面的六角形网眼中，与 12 个氧相隔同样距离。像这样处于束缚状态的钾离子是不易发生置换作用的。由于钾离子进入伊利石结构，层间结合力较强，所以伊利石不易解理。

(二) 粘土的粘结机理

1. 粘土矿物的胶体特性

胶体的含义就是高分散体系。它至少是两相系统，分散相尺寸介于 $1nm \sim 0.1\mu m$ ，为胶体体系； $>0.1\mu m$ 为悬浮体系。因此中粘土粒子胶体具有极大的表面积，它的许多性质本质上是界面性质。

粘土粒子常是片状的，其层厚的尺寸往往符合于胶体粒子范围，即使另外两个方向的尺寸更大，但整体上仍可视作胶体。所谓粘土胶体不是指干燥粘土，而是加水后的粘土-水两相系统。

(1) 粘土和水的结合：热谱分析表明，粘土中的水可分为吸附水和结构水两种。前者是指吸附在粘土矿物层间、约在 $100 \sim 200^\circ C$ 的较低温度下可以脱去的水；后者是以 OH 基形式存

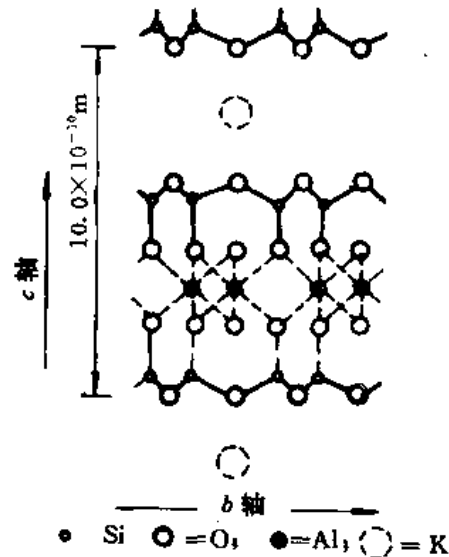


图 3-3 伊利石结构

在于粘土晶格中，其脱羟温度随粘土种类不同而异，波动在 400~600℃ 左右。对于粘土-水系统性质而言，吸附水往往是更为重要的。

从粘土结构可见，粘土晶格的表面，是由 OH^- 和 O^{2-} 离子排列成层状的六元环状。吸附水是彼此联接成图 3-4 所示那样的六角形网层。即六角形的每边相当于羟键、一个水分子的氢键直指邻近分子的负电荷。但水分子中有一半氢原子没有参加网内结合，它们靠与粘土晶格的表面氧层间的吸引作用而联结在粘土矿物的表面上。第二个水网层同样由未参加网内结合的氢原子通过氢键与

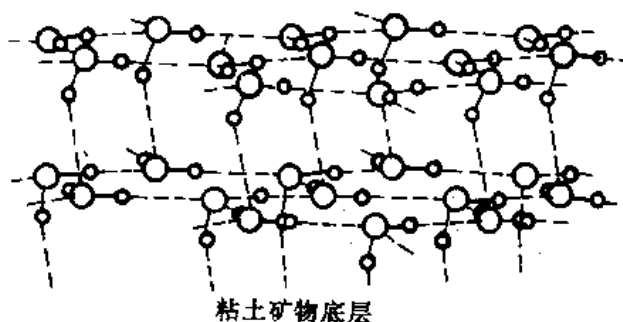


图 3-4 直接联结到粘土矿物底面上的吸附水的位形

第一网层相联结。依此重叠直到水分子的热运动足以克服上述键力时，逐渐过渡到不规则排列。从这样的结构模型出发，粘土吸附水可分为三种：即牢固结合水、松结合水和自由水。牢固结合水是接近于粘土表面的有规则排列的水层，有人测得其厚度约 3~10 个水分子厚度，而且性质也不同于普通水，其密度为 1.28~1.48，不流动，沸点高于 100℃，冰点低于 0℃，比热于小 1，不导电，没有溶解盐的能力，也称非液态吸附水；松结合水系指从规则排列到不规则排列水层，它与普通水也不同，其冰点也低于 0℃，比重大于 1，它虽然可在粘土表面上移动，但不受重力的影响。自由水即最外面的普通水层，也称流动水层。被粘土颗粒所吸附的水，具有较高的粘滞性。

(2) 粘土胶团结构：在胶体化学中已经指出，溶胶是一个热力学不稳定而动力学稳定系统。这主要是由于胶体微粒表面带有相同电荷之故。斯特恩 (Stern) 等人的扩散双电层理论认为，在固液界面处固体表面由于电离或吸附离子而带电，在它的周期分布着与固相表面电性相反、电荷相等的离子，由于离子的热运动使它们扩散地分布在界面周围。其中部分紧靠界面的被较牢吸附的异号离子层叫吸附层，其余形成一个异号离子浓度减小的扩散层。

粘土颗粒表面所带的电荷，在通常情况下是负电荷，粘土颗粒表面带负电荷的原因，主要有下列几个方面：

① 由于粘土晶体结构内产生离子置换 (亦称晶内置换)。晶内置换主要发生在蒙脱石矿物中，而在高岭石矿物中则很少发生。

② 由于粘土晶体结构破坏，在晶体边缘处的 $\text{Al}-\text{O}$ 、 $\text{Si}-\text{O}$ 离子键断裂而造成的不饱和键，产生氧的游离价，因而使粘土颗粒带有负电荷。一般说来，破键是高岭石矿物带有负电荷的主要原因。

③ 处于粘土颗粒表面的硅氧四面体中的氧原子有未饱和的负电荷。

粘土胶团结构如图 3-5 所示，在粘土胶团内粘土质点本身是带负电的胶核。紧靠胶核周围吸附着一些定向的偶极水分子和一些水化的阳离子，构成了围绕胶核的吸附层，随胶核一起在水中移动。胶核与吸附层构成胶粒，胶粒可以在水中独立运动。由于吸附层内阳离子不足以补偿胶核的净电荷，因此随着离胶核距离愈远，阳离子数目愈少，形成了一个阳离子浓度和粘土负电荷逐渐递减的扩散层。胶粒加上扩散层总称为胶团。

在接近胶核表面处，由于胶核与阳离子之间的静电引力较强，空隙较小，因此在胶粒内

的阳离子水化程度受到限制。随着离胶核愈远静电引力下降，离子数目减少，阳离子所带水分增加。但比溶液内自由离子水化度仍要差些。被吸附着的水化离子与溶液内的自由离子之间是动态平衡着的。

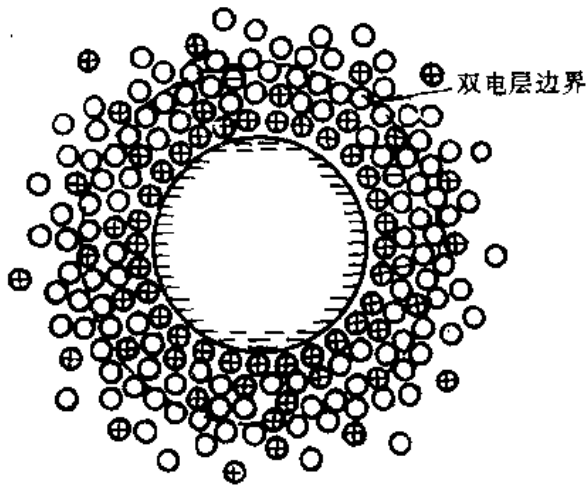


图 3-5 粘土胶团结构示意图

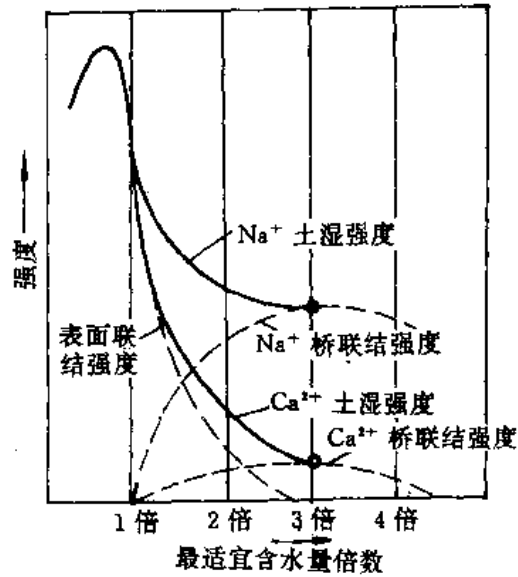


图 3-6 表面联结和桥联结的强度

2. 粘土的粘结机理

粘土的粘结性能与粘土颗粒表面吸附水的结构、粘土的胶体特性密切相关。如前所述，粘土晶格表面的极性水分子彼此联接成六角形网格，增加水分，逐渐发展成接二连三的水分子层。粘土颗粒就是靠这种网格水分子彼此连接，从而产生了湿态粘结力。这种极性水分子有规则排列网格的联结可称为“表面联结”。在没有吸附阳离子的情况下，这种联结也是可以存在的，联结力的大小主要受含水量多少的影响。“桥联结”发生于相邻粘土颗粒所吸附离子的水化膜之间，阳离子及其水化膜的作用就像一座“水桥”附加在粘土的表面联结上。只有当存在吸附阳离子时才可能产生这种“桥联结”，“桥联结”的强弱受离子种类的影响，也受粘土与水的重量比的影响。实际上，粘土吸附阳离子的表面往往只占它整个表面的很少一部分，所以由桥联结而产生的粘结力是较小的，而表面联结是形成湿态粘结力的主要原因。试验结果表明：型砂的最适宜干湿状态相当于粘土；水约为 10:4（重量比，下同）。依靠表面联结的最大强度相当于 10:3，依靠桥联结的最大强度约为 10:12。从图 3-6 可以看出湿强度为表面联结强度和桥联结强度之和。大约在粘土晶层之间进去三层水分子（厚度为 $3 \times 0.25 \text{ nm}$ ）时表面联结形成的粘结力最大，此时吸附的阳离子可能已形成水化膜，然而还不能形成明显的桥联结强度，因而在图 3-7 (a) 中未表现出来。

水分增加，则极性水分子离粘土表面远处的方向性渐差，表面联结所产生的粘结力显著下降。阳离子的水化膜随水分的增加而形成（见图 3-7 (b)、(c)）。直到三倍最适宜水分时，阳离子水化膜达到最佳水化状态。这时由于出现了自由水，表面联结不起作用。但桥联结所产生的“水桥”却起着最强的粘结作用。亦即这时粘土的湿强度主要是靠交换性阳离子所形成的桥联结起来起粘结作用。水分再增多，粘土颗粒被水进一步涨开，自由水越来越多（图 3-7 (d)），桥联结也逐渐被削弱，这时粘土的粘结力急剧下降。

3. 普通粘土和膨润土的特性比较

铸造工业生产中根据粘土所含矿物种类不同将粘土分为普通粘土 (fireclay) 和膨润土 (bentonite) 两大类。膨润土主要由蒙脱石类矿物组成, 主要用于湿型铸造的型砂粘结剂。普通粘土主要含有高岭石或伊利石类矿物。主要用作干型砂粘结剂、熔模铸造涂料和熔炼与浇注设备中的耐火材料衬配料。

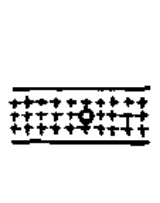
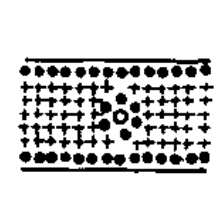
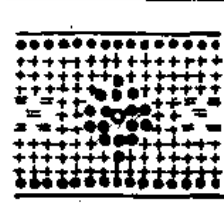
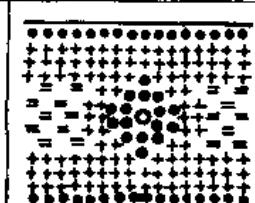
最适宜水分倍数	1	2	3	4
室温				
	(a)	(b)	(c)	(d)
表面联结	强	弱	无	无
桥联结	无	弱	强	弱

图 3-7 不同含水量时粘土颗粒表面吸附阳离子和水分子的结构
 ○—离子 ---强联结水分子 +++—弱联结水分子 ===—自由运动水分子

影响粘土性能的主要因素有粘土矿物结构、颗粒大小和所吸附的阳离子的种类及数量。普通粘土与膨润土在这几方面均有不同, 所以二者的粘结特性也有较大差异。

铸造生产中所使用的粘土, 一般都是由很多单位晶层组成的集合体—粘土颗粒。不同大小的粘土颗粒的粘结性能是不同的。粘土的颗粒越细, 比表面积越大, 吸附能力越强, 粘结性能就越好。要使大颗粒的粘土细化, 就必须做功。在一般的情况下, 难以将粘土的颗粒变得很小。蒙脱石矿物单位晶层间的结合力较弱, 比较容易分离, 所以膨润土的颗粒比普通粘土小, 比表面积一般可达 $250\sim 470\text{ m}^2/\text{g}$; 普通粘土的比表面积一般为 $50\sim 100\text{ m}^2/\text{g}$; 而石英砂的比表面积只有 $0.005\sim 0.025\text{ m}^2/\text{g}$ 。

粘土在开采前多数是埋在地下, 少数露在地面。粘土一般都被地下水侵蚀, 由于地下水中往往溶解有各种金属阳离子, 粘土矿物就吸附其中一种或几种阳离子。粘土颗粒表面所吸附的阳离子的种类及数量, 对粘土的粘结性能有很大的影响。

不同的阳离子, 其吸附水分子的能力是不同的。一般说来, 阳离子的价数越小, 其吸附水分子的能力就越强。常见的几种阳离子的水化强度的次序如下:



根据前述粘土的粘结机理, 显然, 粘土吸附的阳离子水化强度越高, 粘土的粘结能力越强。

高岭石粘土矿物的颗粒表面之所以能吸附阳离子, 主要是由于破键产生的。由于破键的数量有限, 因此所吸附的阳离子数量较少。蒙托石粘土矿物之所以能吸附阳离子, 不仅由于破键, 更主要是由晶内置换产生的, 因此, 它所吸附的阳离子的数量比普通粘土多得多, 粘结性能比普通粘土好得多。

4. 钙膨润土的活化处理

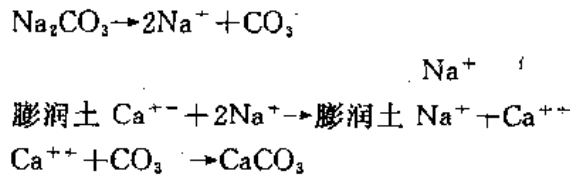
粘土表面吸附阳离子的吸附能取决于被吸附离子的作用力场。因此，可以用另一种价数高或浓度大的阳离子取代原先吸附于粘土上的阳离子，此即粘土的阳离子交换性质。这种粘土的离子交换反应具有同号离子相互交换；离子以等量交换；交换和吸附是可逆过程和离子交换并不影响粘土本身的结构等特点。粘土的阳离子交换容量用 100g 干粘土所吸附的离子的毫克当量数来表示。它与粘土种类、带电机理、结晶度、分散度以及交换位置的堵塞等因素有关。几种粘土矿物的交换容量列于表 3-3。

表 3-3 粘土的阳离子交换容量

矿 物	高岭石	伊利石	蒙托石
阳离子交换容量 (毫克当量/百克土)	3~15	10~40	75~150

国家专业标准《铸造用膨润土和粘土》(ZBJ31009—90)规定，铸造用膨润土按其交换性阳离子分类。如某一交换性阳离子量占阳离子交换容量的 50% 或 50% 以上时，称其为主要交换性阳离子。因此，钠膨润土是以钠离子为主要交换性阳离子的膨润土，而钙膨润土则是以钙离子为主要交换性阳离子的膨润土。

生产实践证明，钠膨润土的粘结性能好，吸水后膨胀大，抗夹砂的能力强。可是我国的天然钠膨润土却很少，来源有限，而钙膨润土的资源却十分丰富。为了提高钙膨润土的粘结性能，可采用阳离子交换法对钙膨润土进行处理，使它变为钠膨润土。处理的办法是在钙膨润土中加入含有钠离子的盐如苏打 (Na_2CO_3)、食盐 (NaCl) 等，使钙离子被钠离子所置换。这种离子交换过程通常称为“粘土的活化处理”或称为“粘土的阳离子交换处理”。其反应过程示意如下：



加入的钠盐称为活化剂。它的种类很多，但以碳酸钠的效果最好，因为反应生成的 CaCO_3 能很快地沉淀，使反应进行得比较彻底。同时碳酸钠的来源丰富，价格便宜，因此被广泛采用。活化剂的加入量必须严格控制。如果加入量太少，活化程度不足，效果不好。如果加入量过多，会使“桥连接”被干扰破坏，反导致粘结性能降低，活化剂的加入量一般为粘土重量的 4~5% 左右。

二、硅溶胶粘结剂

(一) 硅溶胶的结构

硅溶胶是典型的胶体溶液。它具有光散射效应、丁达尔效应和电泳现象。实际上，硅溶胶是具有大量相互离散的无定形二氧化硅粒子的稳定的胶体溶液。这种二氧化硅粒子在微观结构上还有自己独特之处，形成了硅溶胶不同于其他胶体溶液的某些特点。要想深入了解硅溶胶的性能，应首先对硅溶胶中二氧化硅粒子的微观结构、粒子表面的离子电荷与粒子表面的双电层结构三个方面进行研究。

1. 二氧化硅粒子的微观结构模型

大量的电子显微镜观察证明，硅溶胶中二氧化硅粒子呈球形，其微观结构模型如图 3-8 所示。图 3-8 (a) 为二维结构示意图，图 3-8 (b) 是将粒子内部的无定二氧化硅表示成 $[\text{SiO}_2]$ 四面体的投影图。由图 3-8 可以看出，球形二氧化硅粒子内部由 $[\text{SiO}_2]$ 四面体组成不规则三维网络结构，亦即无定形结构，而粒子表面为硅醇 ($\text{Si}-\text{OH}$) 所覆盖。粒子内部之所以是无定形结构主要是因为 $\text{Si}-\text{O}$ 键基本属共价键，不像离子键化合物那样容易重新排列成晶形结构。优质硅溶胶的二氧化硅粒子内部是致密的，不含有未缩合羟基 OH 。由此种溶胶所得凝胶的真比重接近于石英玻璃，为 2.2 g/cm^3 左右。现已查明，只有在高温下 ($80\sim 100^\circ\text{C}$ 以上) 形成的硅溶胶粒子内部才是致密的，在 60°C 以下形成的粒子内部往往不那么致密，常含有未完全缩合的羟基。这种硅溶胶粘度较大，稳定性也较差。

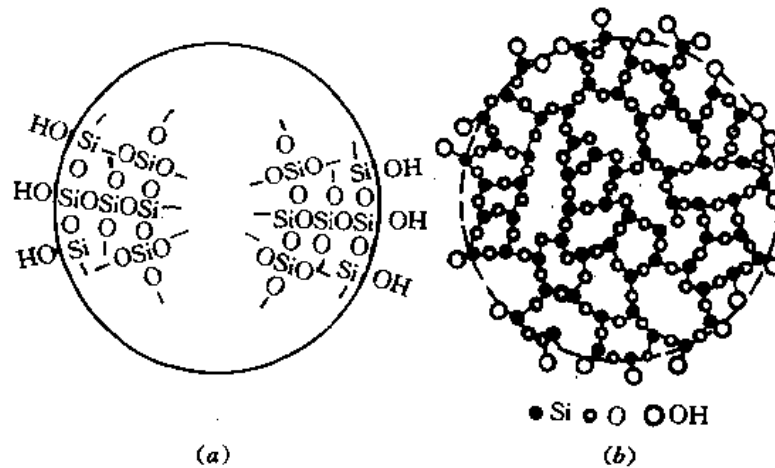


图 3-8 硅溶胶中二氧化硅粒子模型

由于硅溶胶粒子表面被硅醇所覆盖，可利用硅醇的化学性质对粒子表面进行改性处理，生产多种改性硅溶胶。

2. 粒子表面的离子电荷

硅溶胶中的二氧化硅粒子表面为硅醇，当介质为水时，水分子则借助氢键作用而连接于粒子表面的硅醇上，形成水化层。这层水为化学吸附水，需加热至 200°C 才能大部分除去，全部去除需加热至 700°C 。当介质为碱性时，粒子表面的硅醇选择吸附介质中的 OH^- 而使表面带负电。在电场中，这种硅溶胶粒子向正极方向移动。

粒子表面带负电荷的密度和 pH 值有关，与粒子大小无关。

3. 粒子表面的双电层结构

和其他胶体溶液一样，硅溶胶粒子表面的双电层结构可以用 Stern 模型来描述。

硅溶胶粒子表面带负电，它势必吸附存在于周围介质中的反离子，如 Na^+ 等阳离子，从而使表面上吸附的离子与溶液中的反离子构成双电层。被粒子表面负电荷吸引的反离子只有一部分紧密地排列在粒子表面上（距离约为一个离子厚度），另一部分离子与粒子表面的距离则可以从超过一个离子的厚度而一直分散到本体液溶之中，如图 3-9 所示。因此双电层实际上包括了紧密层和扩散层两个部分，紧密层内的反离子分布比较复杂，扩散层内反离子分布情况则可用玻尔兹曼 (Boltzmann) 分布式来描述。当粒子在水中运动时，紧密层中的粒子与粒子表面不可分割地相互联系在一起，而扩散层中的离子则或多或少地会为液体所带走。由

于离子的溶剂化作用，粒子表面实际上是溶剂化的，所以当粒子与液体相对移动时，粒子表面上始终有一层薄的溶剂随着一起移动。在粒子与溶液之间实际上存在着三种电位：在粒子表面处的电位 φ （整个双电层的电位）也即热力学电位，在紧密层（其厚度 δ 由被吸附反离子的大小决定）与扩散层分界处的电位 φ_0 ，以及固液之间可以发生相对移动处（即粒子连带着束缚的溶剂化层和溶液之间）的电位 ζ 。 ζ 电位只有当胶粒在介质中受外界电场作用而运动时才表现出来，所以也称为电动电位。常用硅溶胶的 ζ 电位大约在 100 mV 左右。对于足够稀释的硅溶胶溶液，由于在扩散层中随着距离的增加，电势的改变很缓慢，而二氧化硅固相粒子所束缚的溶剂化层的厚度通常只有分子大小的数量级，因此可以把 φ_0 与 ζ 等同地看待。但是在浓度较高时则由于表面层附近聚集了大量反离子电位随距离有显著的改变， φ_0 与 ζ 就不再能视为相同了。

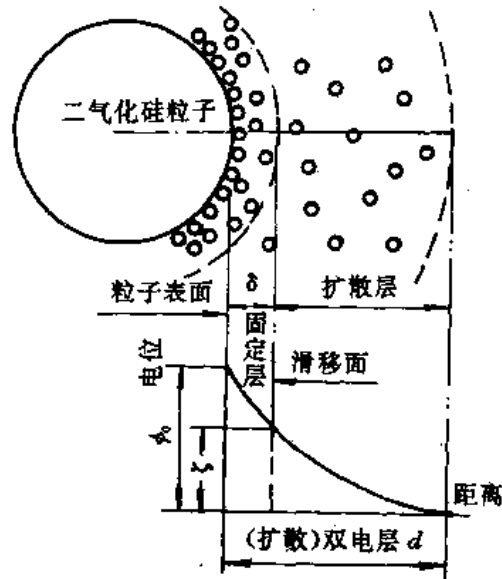


图 3-9 二氧化硅粒子表面的扩散双电层及电位

在碱性硅溶胶中， φ 的大小取决于 OH^- 的浓度，而 ζ 电位则随着溶剂化层中反离子的浓度而改变，少量外加电解质对 ζ 电位的数值会有显著的影响。当电解质浓度增加时，有更多反离子进入溶剂化层，双电层的厚度变薄， ζ 电位下降。当双电层被压缩到与溶剂化层叠合时， ζ 电位降到零，成为零电位状态。

NaOH 、 KOH 、 LiOH 和 NH_4OH 等均可作为碱性硅溶胶的稳定剂，即以 Na^+ 、 K^+ 、 Li^+ 、 NH_4^+ 为反离子。用 LiOH 和某些低分子烷基季胺盐作稳定剂时，所得硅溶胶可跟与水相溶的有机溶剂如乙醇、丙酮等组合，此种溶胶具有抗冻的特性。

(二) 硅溶胶的稳定性及其变化

1. 硅溶胶的稳定性

硅溶胶是典型的胶体溶液，作为多相分散体系，硅溶胶有巨大的界面能，在热力学上是不稳定的，有自动聚结的趋势，即所谓“聚结不稳定性”。但硅溶胶又是高度分散的体系，分散相颗粒极小，有强烈的布朗运动，能阻止其由于重力作用引起的下沉，因此，在动力学上是稳定的，这种性质被称为动力稳定性。硅溶胶的热力学不稳定性与动力稳定性是一对矛盾，在一定条件下可以共存，另一条件下又可相互转化。

根据溶胶稳定性的 DLVO 理论，硅溶胶在一定条件下是稳定存在还是聚沉，取决于粒子间的相互吸引力和静电斥力。若斥力大于吸力则硅溶胶稳定，反之则不稳定。胶粒间的相互吸引本质上是范得华 (Vander Waals) 力，是胶粒中所有分子引力的总和，与胶粒间的距离的 3 次方成反比。根据扩散双电层模型，胶粒是带电的，其四周为离子氛所包围，如图 3-10 (a) 所示。当胶粒相互接近到离子氛发生重叠时 (见图 3-10 (b))，重叠区的离子浓度增大，处于重叠区的离子要向未重叠区扩散，致使带相同电荷的胶粒受到斥力而相互距离。计算表明，这种斥力是胶粒间距离的指数函数。

当两个胶粒相互接近时，体系相互作用的能量 V_i ($V_i =$ 吸引能 $V_a +$ 排斥能 V_r) 变化的情

况如图 3-11 所示。V₁ 在距离子表面 b 处出现能峰 E₀。此峰值常称排斥“势垒”，粒子要聚结就必须越过势垒 E₀。在一般情况下溶胶中的布朗运动能不足以翻越势垒。因此硅溶胶是稳定的，可以长时间保持不聚沉。

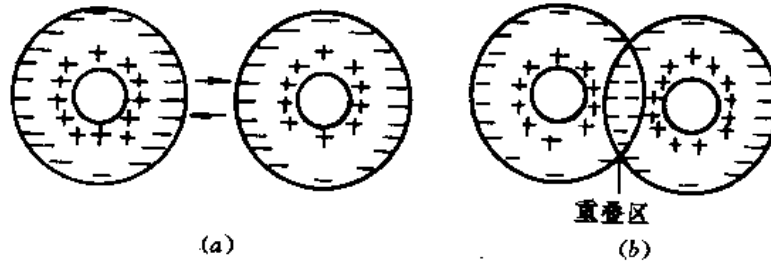


图 3-10 离子氛与离子氛重叠示意图

电解质对硅溶胶的稳定性有很大影响。当电解质浓度小时，在很大距离内有斥力，能峰 E₀ 极大。但电解质浓度大时，扩散双电层减薄，电位降低，斥力下降，能峰 E₀ 小，粒子容易翻越势垒而导致聚结。因此，如改变硅溶胶的 pH 值或加入某些电解质均会使它很快凝聚。

硅溶胶稳定的另一个因素是溶剂化层即水化膜的影响。水化膜中水的分子是比较定向排列的，因而水化膜具有弹性且粘度较高，客观上是胶粒相互接近时的一道机械阻碍，常称为“水化膜斥力”。当电解质浓度增大时，水化膜变薄，水化膜斥力减弱。

2. 硅溶胶的胶凝

溶胶形成凝胶的基本条件是溶胶中析出的质点既不沉降，也不能自由行动，而是构成骨架通过整个溶液形成连续的网状结构。当硅溶胶中的二氧化硅粒子在一定条件下，电位降低和去溶剂化后，粒子热运动的动力就可能越过斥力而相碰撞，粒子与粒子便可粘连起来，在接触处粒子表面的硅醇缩合而形成硅氧键 (Si—O—Si)，连成三维网络使粒子间结合，硅溶胶就将胶凝。

硅溶胶胶凝时最初形成含水凝胶即冻胶。冻胶包着大量水分，其结构强度很差，类似膏状，能部分回溶，有触变现象。即使在含水量 5~10% 时也是如此，其后逐渐变为类似肉冻状稍有弹性状态，强度也较差。这时粒子间并没有大量形成 Si—O—Si 键，而主要是由范得华键或氢键保持联系。这两种键的键能很小，仅为 0.1~0.220 kJ/mol，所以结合力很弱，容易被破坏。只有当其中游离水分全部蒸发掉，才能形成以 Si—O—Si 键连结着的干凝胶。干凝胶具有较高的结构强度和硬度，能承受高温，不会回溶，因此，用硅溶胶涂挂的熔模铸造型壳有良好的高温强度。

影响胶凝速度的因素主要有 pH 值、电解质、硅溶胶中 SiO₂ 含量和温度等。

pH 值对硅溶胶胶凝速度的影响最大。当硅溶胶 pH 值在 7 附近时胶凝最快，而在显著的酸性或碱性范围内，胶凝速度大大减慢，形成如图 3-12 所示的“N”曲线。

当 pH 值在 8.5~10.5 时，粒子表面所带电荷密度大，ζ 电位也高，粒子间斥力作用占优势，不会相互碰撞而胶凝，从而可以长期保持稳定状态。商品硅溶胶的 pH 值大多在此范围内。

当 pH 值为 5~7 时，粒子表面所带电荷小，ζ 电位下降，粒子就很容易发生碰撞而产生胶凝。

pH 值降为 3 左右，硅溶胶粒子从原来带负电转而带正电，称之为再带电现象，此时硅溶

胶呈酸性，有较好的稳定性。国内外均有此类产品，但其 SiO_2 含量较碱性硅溶胶为低。

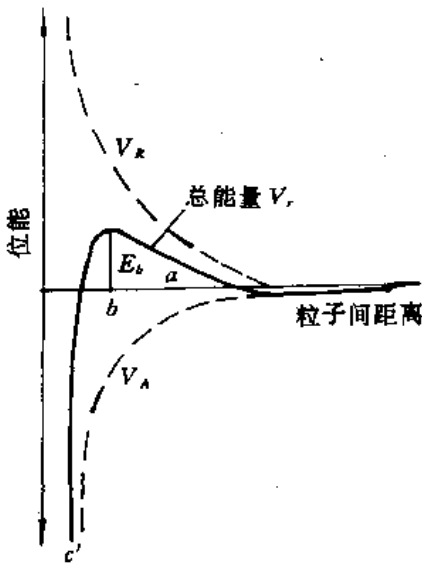


图 3-11 二粒子间相作用能与距离的关系

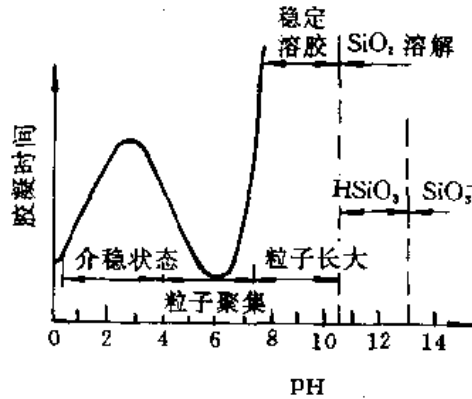


图 3-12 $\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 体系胶凝时间与 pH 值关系

与胶粒电荷相反的电解质离子有降低胶粒表面电位的作用，这种离子在溶胶中达到一定浓度时，能使溶胶发生胶凝。离子价数愈高，则促使胶凝的邻界离子浓度愈低。电解质离子（指溶剂化的离子）半径愈小，则胶凝能力愈大。对于带负电荷的硅溶胶来说，电解质离子胶凝能力的大小，可排成如下的次序：



硅溶胶中二氧化硅浓度对胶凝有直接影响。二氧化硅浓度愈高，布朗运动使胶体颗粒互相碰撞的几率增多，从而加快胶凝。通常温度升高会加快胶凝速度。这是由于加热能加剧胶粒的布朗运动、减弱胶粒吸附带电离子能力的缘故。如果使硅溶胶中的水分大量蒸发而浓缩，则更易导致迅速胶凝。

(三) 硅溶胶的主要特性指标

1. 粒子尺寸

硅溶胶中二氧化硅粒子的大小对硅溶胶的稳定性与胶凝后所得凝胶强度有很重要的影响。在等量稳定剂条件下，粒子间的斥力位能跟粒子直径成正比。所以，粒子越大，稳定性越好；粒子越小，胶凝越快。硅溶胶的凝胶是溶胶中二氧化硅粒子聚集的结果。粒子越大，粒子间接触点较少，其间的联系也就较弱，内部结构较疏松。反之，粒子越小，则凝胶结构致密（图 3-13）。生产实践表明，用小粒径硅溶胶制得的型壳比大粒硅溶胶所制型壳强度高，尤其是湿态强度要高。

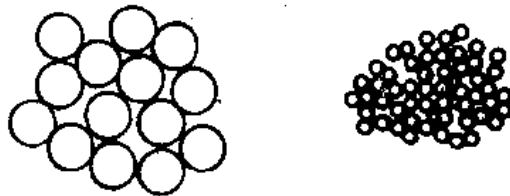


图 3-13 粒子尺寸对凝胶结构的影响示意图

由以上看来，熔模铸造制壳用硅溶胶粒子尺寸必须适中，才能避免由于粒子过大或过小带来的型壳强度不高或涂料稳定性降低的不利影响。据生产实践经验，熔模铸造用硅溶胶粒

子直径以 10~20 nm 为宜。

2. 粘度

胶体溶液的粘度与多种因素有关，情形相当复杂。根据稀胶体的 Einstein 公式，分散介质一定时，溶胶的粘度主要取决于分散相在体系中所占的体积浓度。硅溶胶中分散相所占的体积浓度首先取决于其中 SiO₂ 的重量百分浓度。但相同 SiO₂ 含量的硅溶胶粘度也往往相差很大，这是因为除 SiO₂ 含量外，胶核吸附层的厚度、粒子的致密程度、粒形及其聚集状态等均影响粘度。

二氧化硅粒子周围的吸附层（固定层）包括了水化层。水化层中的水是属于分散相中的一部分，此层越厚，分散相所占体积百分数也越大，粘度就越大。有的硅溶胶因生产工艺不当，所得二氧化硅粒子并不是致密的。内部含有大量的未缩合的 OH，或其本身就是由更小粒子集合的群体。这种疏松的粒子比致密的粒子所占体积百分数要大，粘度也较大。此外，粒子表面所带电荷也会因“电粘滞效应”对硅溶胶粘度产生影响。

根据使用经验，含 SiO₂ 为 26%~30% 的硅溶胶运动粘度小于 $8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 即可用于熔模铸造，而小于 $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 的硅溶胶则非常有利于配制优质涂料。

3. 熔模铸造用硅溶胶的技术要求与商品硅溶胶性能指标

我国航空工业部部标 HB5346—86 规定《熔模铸造用硅溶胶》技术要求见表 3-4。

表 3-4 熔模铸造用硅溶胶的技术要求

牌号	化 学 成 分		物 理 成 分				其 他	
	SiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)	密度 (g/cm ³)	pH	运动粘度 (m ² /s)	SiO ₂ 粒子 直径 (nm)	外 观	稳定期
GRJ-26	24~28	<0.3	1.15~1.19	9~9.5	< 6×10^{-6}	715	乳白或淡青， 无外来夹杂物	>1年
GRJ-30	29~31	<0.5	1.20~1.22	9~10	< 8×10^{-6}	920	乳白或淡青， 无外来夹杂物	>1年

三、水玻璃粘结剂

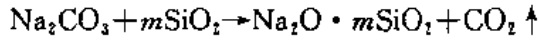
(一) 水玻璃的制备及化学组成

1. 水玻璃的制备方法与化学式

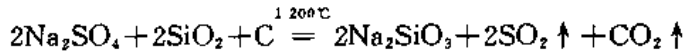
水玻璃别名泡花碱，是硅酸钠、硅酸钾或硅酸锂的水溶液。除特别注明外，铸造生产所用的水玻璃均指钠水玻璃，其化学式为： $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

制造水玻璃的方法有干法和湿法两种。

干法制造水玻璃是将硅砂与苏打 (Na_2CO_3) 或硅砂与无水芒硝 (Na_2SO_4) 及碳（焦炭、木炭或无烟煤）各按一定比例混合后，在反射炉内加热到 1400℃ 左右，即可得到熔融的硅酸钠。反应原理可用以下反应式表示：

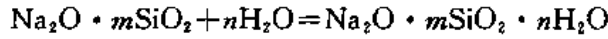


或



将熔融硅酸钠经水淬或冷却后粉碎成碎块，然后将硅酸钠碎块在沸水中溶解并经浓缩，或在 0.4~0.7 MPa 蒸汽压的压力釜内加热溶解，所得产物即为水玻璃。

其溶解过程可用化学反应式表示如下：



湿法制造水玻璃是将硅砂与浓度为 30% 的烧碱 (NaOH) 溶液按比例混合后，在 0.4~0.7 MPa 蒸汽压的压力釜内加热，生成的稀水玻璃溶液经真空吸滤、蒸发浓缩即得到工业用水玻璃。

2. 水玻璃的组成

由熔融硅酸钠冷却形成的固体水玻璃的基本组成是钠的硅酸盐，但不是单一化合物，而是 SiO_2 和 Na_2O 以不同比例组成的多种化合物。由 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 二元系状态图 (图 3-14) 可知，此系中有三个单一化合物，即 $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 与 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ 。 $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 是不一致熔化合物，在 1118 °C 发生转熔； $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 与 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ 是一致熔化合物，熔点分别为 1089 °C 和 874 °C。因此，固体水玻璃可用通式 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 表示其组成。 m 是 SiO_2 同 Na_2O 克分子数之比，通常称之为模数。对于每一种单一化合物而言， m 是整数，但是对水玻璃整体而言，由于它是多种化合物的混合体系，所以 m 不一定是整数。铸造用水玻璃 m 在 2.0~3.5 之间，在状态图上相当于 SiO_2 在 66~77% 范围内，其最低共熔点为 793 °C，组成为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ 。

液体水玻璃是 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 的水溶液，可用通式 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 表示。水玻璃的性能同水有密切关系。含水量不同时，水玻璃中 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 的浓度、溶液的密度及其粘结性能也不相同。在 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 三元系状态图 (图 3-15) 中，铸造用水玻璃组成位于一很小的阴影区内。也就是说它的 Na_2O 、 SiO_2 和 H_2O 之间的比例关系只能在一个较小的范围内变动，即模数为 2~3，密度在 1.2~1.7 g/cm³ 范围之内。

3. 水玻璃的分散状态

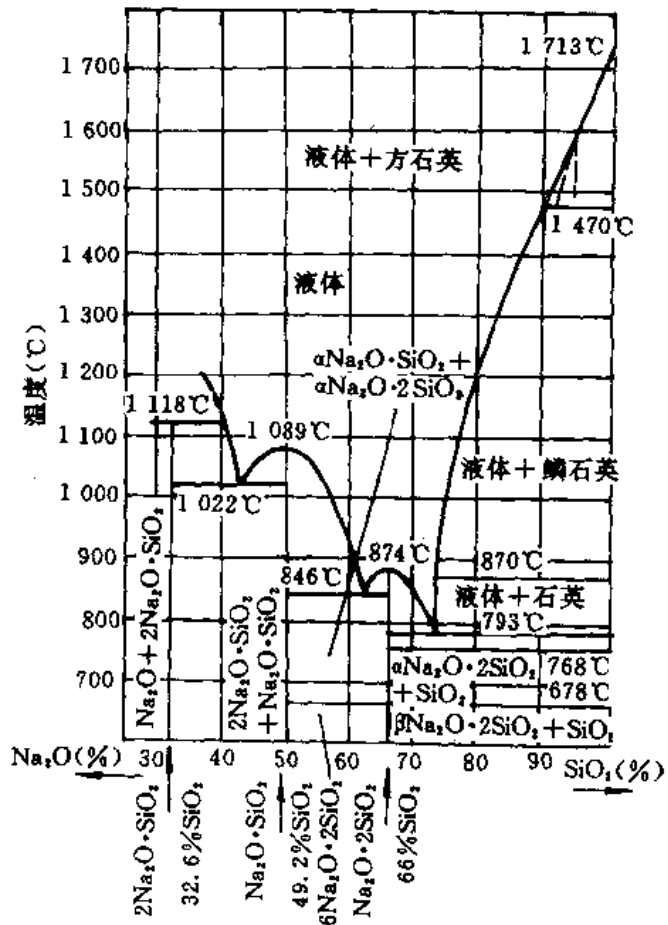


图 3-14 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系统状态图

在 $\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 系中, SiO_2 有两种存在形态: 一种是以聚合的固相粒子 (或称亚胶体粒子) 形态存在的胶体 SiO_2 或称非活性 SiO_2 ; 另一种是以可溶性 SiO_2 形态存在的硅酸根离子或称活性 SiO_2 。近年来的研究表明, 硅溶胶粘结剂中的 SiO_2 以第一种形态为主, 所以是典型的胶体溶液; 而水玻璃中的 SiO_2 则是以第二种形态为主兼有第一种形态的双重性质的分散体系。

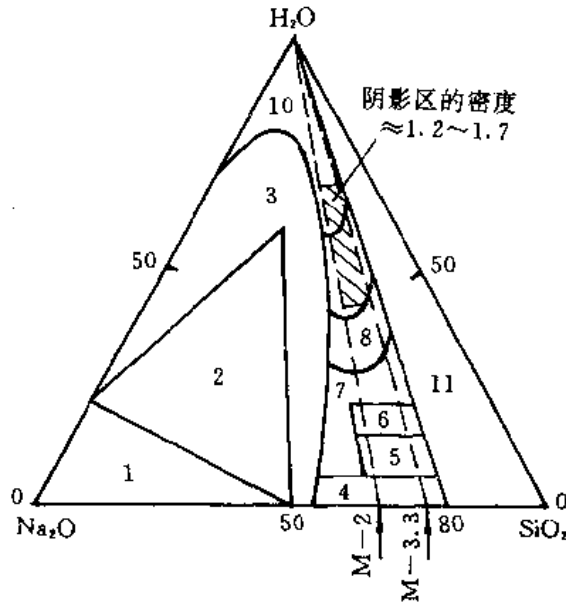


图 3-15 $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 系统状态图

美国化学家伊勒 (K. I. Ler) 指出, 钼酸与单体 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 作用生成硅钼黄的反应活性, 是鉴别可溶性 SiO_2 和胶体 SiO_2 的有效方法。用这种实验方法证明, 水玻璃中的 SiO_2 在上述反应中具有很强的反应活性, 其反应速率与单体 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 相当, 故可认为水玻璃溶液中存在着单体硅酸根离子 HSiO_3^- 和 SiO_3^{2-} 。硅溶胶中的 SiO_2 则无上述反应活性, 基本上都形成无活性的 SiO_2 。另外, 经低温冻结过的水玻璃, 重溶后其性质基本不变; 而经冻结过的硅溶胶, 其稳定性会大大降低。种种事实说明, 水玻璃具有某些离子溶液的性质, 并不是典型的胶体溶液。

另一方面, 模数在 2 以上的水玻璃, 也确实存在着溶胶所具有的聚结不稳定性。经电镜、电泳、激光散射和 X 射线小角度衍射等实验也都证实, 高模数水玻璃具有胶体性质的特征。伊勒曾用超滤法测定了不同模数水玻璃中, 直径大于 $18 \times 10^{-10} \text{m}$ 的胶体粒子所占的比例, 如表 3-5 所示。由表可知, 在模数大于 2 的水玻璃中, 会出现胶体粒子, 所占 SiO_2 的比例随着模数的提高而增加。模数为 3.0~3.5 的水玻璃中, 以胶体形态存在的 SiO_2 数量不超过 25%, 其余 SiO_2 则均以硅酸根离子形态存在。

从以上分析可以得出下述结论: 水玻璃溶液是一种复杂的动平衡体系。模数在 2 以上的水玻璃是一种以硅酸盐离子为主, 以亚胶体离子为辅的溶液。随着模数的提高, 胶体性能有所增强。

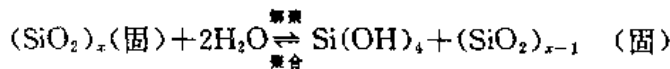
表 3-5 不同模数水玻璃中的胶体粒子

SiO ₂ /Na ₂ O	通不过 18×10 ⁻¹⁰ m 孔径的 SiO ₂ (%)
2.40	7
3.25	14
3.75	25

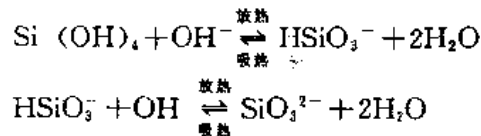
(二) 水玻璃粘结剂的硬化原理

1. 水玻璃溶液中的平衡移动

由水玻璃的分散状态可推知，水玻璃中存在着单硅酸与胶体粒子的溶解平衡与硅酸根离子和单硅酸的电离平衡，溶解平衡为



电离平衡为



上述反应在条件变化时，就会向一方移动而产生新的平衡。

如果水玻璃的电离平衡向生成 Si(OH)₄ 的方向移动，则 Si(OH)₄ 的浓度增大，于是水玻璃的溶解平衡便向生成胶体粒子 (SiO₂)_x 的方向移动，从而使体系中胶体二氧化硅所占比例增大，稳定性随即下降。反之，若水玻璃的电离平衡向生成硅酸根离子的方向移动，则 Si(OH)₄ 的浓度下降，于是溶解平衡向解聚方向移动，胶体二氧化硅就会解聚成更多的单体 Si(OH)₄，从而体系中胶体 SiO₂ 所占比例减少，稳定性随即上升。

水玻璃的模数愈高，OH⁻ 浓度和 pH 就愈小，胶体 SiO₂ 粒子就愈多，稳定性就低。模数为 3.0~3.5 的水玻璃，其 pH 为 11.5~13.0。若模数更高或者加 H⁺ 以提高模数，当 pH 值降到 11.0 以下时，则体系中的 SiO₂ 数量就会增大到使稳定性破坏的程度。

2. 水玻璃稳定性与 pH 的关系

水玻璃的稳定性同 pH 的关系呈一条 N 形曲线，如图 3-16 所示。

由图 3-16 可以看出，在 pH>11.5 时，水玻璃的稳定性较好，处于曲线最右端。随着 pH 的下降，稳定性也下降。pH<10 时，体系中胶体 SiO₂ 的数量就会多到稳定性急剧下降而迅速胶凝。

应当指出，图 3-16 所示的水玻璃 N 形曲线是在酸化水玻璃中得到的，溶液中含有一定数量的钠盐，它同硅溶胶的 N 曲线（图 3-12）在形式与实质上都有所不同。比较这两条曲线可以看出，在碱性范围内，硅溶胶在 pH8~10.5 是稳定的，曲线最低点出现在 pH6 左右。酸化水玻璃则由于钠盐存在使胶体粒子表面双电层受到压缩，削弱了粒子电荷的保持作用，所以曲线最低点出现在 pH7~8。pH>8 后，由于体系中 Si(OH)₄ 开始大量离子化，SiO₂ 胶体粒子解聚，故体系的稳定性得以提高。

还应指出，由于图 3-16 是在酸化稀水玻璃中得到的，故当 SiO₂ 浓度变化时，曲线形状也将随之改变。图 3-17 给出不同浓度水玻璃的胶凝时间同 pH 的关系。由图可知，SiO₂ 含量愈高，溶液稳定性愈低。在较浓的溶液中是得不到完整的 N 曲线的。

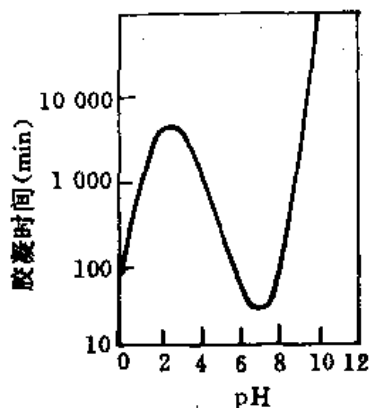


图 3-16 水玻璃稀溶液的稳定性(胶凝时间与 pH 的关系)

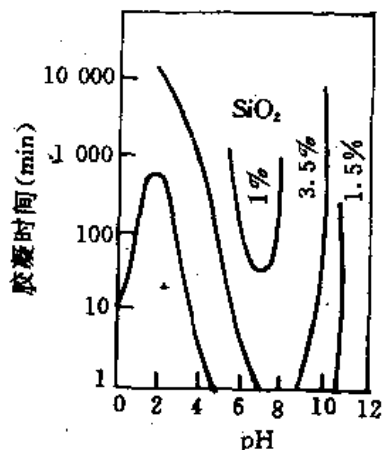


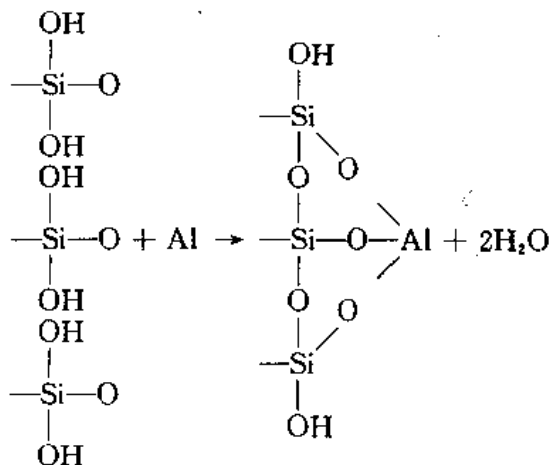
图 3-17 不同浓度水玻璃的胶凝时间同 pH 的关系

3. 水玻璃的胶凝

从水玻璃的分散状态与化学平衡可知，水玻璃溶液中胶体 SiO_2 所占比例不大，溶液中存在着硅酸根阴离子和单硅酸的电离平衡以及单硅酸与胶体粒子的溶解平衡。因此，在实际生产中水玻璃的硬化是在硬化剂的作用下完成的。硬化剂的水溶液呈酸性，当硬化剂同水玻璃溶液相作用时，由硬化剂产生的 H^+ 离子与水玻璃电离平衡中的 OH^- 相结合而形成离解度极小的水，促使水玻璃电离平衡向生成 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 的方向移动。于是水玻璃的 pH 下降而体系内的 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 浓度不断增加。单硅酸 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 具有强烈的聚合倾向，单硅酸聚合后形成聚硅酸乃至形成胶粒。当 pH 降至 11 以下时，会出现大量 SiO_2 胶体粒子，粒子的聚结就发生胶凝。

水玻璃发生胶凝的结果是体系失去流动性而形成网络状硅凝胶，其中包罗着大量溶剂。由于胶体粒子的相互靠拢，不稳定的硅醇键 ($-\text{Si}-\text{OH}$) 会脱出部分溶剂而形成稳定性高的硅氧键 ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$)，故凝胶的同时会伴随着体积收缩。体积收缩时将包罗于凝胶网络中的液相挤出，使凝胶的致密度和强度均有所增加，这个过程称为脱液收缩；此外，溶剂蒸发时还会产生干燥收缩，二者统称之谓为胶凝收缩。

某些酸性盐中的高价阳离子（例如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} ）具有架桥缩聚作用，即通过氧将硅酸根阴离子连接起来，从而对水玻璃有明显的促进胶凝的作用。架桥缩聚的形式示意如下：



(三) 水玻璃的性能指标

1. 模数 (M)

水玻璃的模数是指其中 SiO_2 和 Na_2O 的克分子比值。它表明水玻璃中 SiO_2 和 Na_2O 的相对含量关系，可用下式计算：

$$M = \frac{\frac{\text{SiO}_2\%}{60.1}}{\frac{\text{Na}_2\text{O}\%}{62}} = 1.032 \frac{\text{SiO}_2\%}{\text{Na}_2\text{O}\%}$$

式中，60.1、62 分别为 SiO_2 和 Na_2O 的克分子量。水玻璃中的 $\text{SiO}_2\%$ 和 $\text{Na}_2\text{O}\%$ 一般用化学分析方法测定。

水玻璃在放置过程中，其成分和性能要发生一些变化。模数大于 2 的水玻璃，随着存放时间的增加，胶体性能有明显增长，模数高、密度大者尤甚。敞开放置的水玻璃，由于表面水分的蒸发和空气中 CO_2 的作用，很容易结成硬皮。而底部则会产生一些沉淀，沉淀部分的模数增大，杂质含量也有所增加。

型砂用水玻璃模数一般为 2.0~2.6，用作熔模铸造型壳粘结剂的水玻璃，其模数通常为 3.0~3.5。

2. 密度 (d)

水玻璃的浓度是指其水溶液中 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 的含量。由于浓度愈高时，溶液密度愈大，故可以近似地用密度表示浓度的大小。但是水玻璃的密度不光取决于固体含量，而且还同其化学成分有关。这是由于 Na_2O 提高密度的作用略大于 SiO_2 ，所以不就能像普通电解质溶液那样，按密度来确定溶质含量。固体总含量相同时，模数愈低的水玻璃，其溶液的密度愈高。

水玻璃的密度可用液体比重计（波美比重计或精密比重计）测定，可用波美度 $^{\circ}\text{Be}'$ 或 g/cm^3 两种单位表示密度。在波美比重计上同时标有这两种刻度。对于密度 d 大于 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的液体， d 与 $^{\circ}\text{Be}'$ 的换算关系为：

$$d = \frac{144.3}{144.3 - ^{\circ}\text{Be}'}$$

3. 粘度 (η)

水玻璃的粘度与其模数、密度、杂质含量以及温度等因素密切相关。由于水玻璃属于牛顿流体，故当温度一定时，其粘度不随剪切速率而变化。

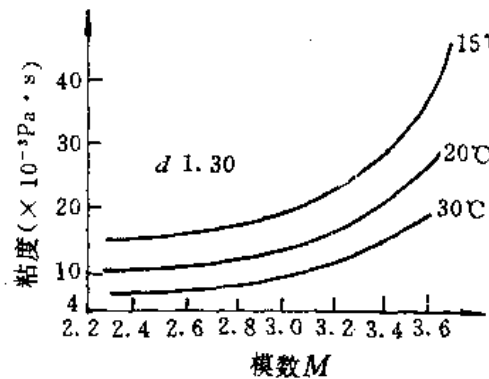


图 3-18 水玻璃模数对粘度的影响

图 3-18 和图 3-19 给出水玻璃 M 和 d 对其粘度的影响。很明显， M 和 d 愈高则其粘度愈大。 d 对粘度的影响还同 M 大小有关， M 愈高则 d 对粘度的影响也愈大。

随着温度的升高，水玻璃的粘度下降（图 3-20，图 3-21）。粘度随温度变化的敏感性随 M 和 d 的增大而增大，这就是说， M 和 d 愈高，则温度下降时粘度增长愈快。

在制造水玻璃时，不可避免地要混入一些水溶性杂质，呈悬浮质点存在于溶液中，对水玻璃粘度影响很大。在水玻璃存放过程中，这些质点会逐渐沉淀，水玻璃颜色会变得更透明些，此时，溶液粘度明显下降并趋于稳定。

水玻璃溶液的粘度可用旋转粘度计进行测定，也可用流出式恩格勒 (Engel) 粘度计测定。

用后一种方法测定的秒数不是绝对粘度，但可用乌别洛德 (Ubbelohde) 经验公式换算，即

$$\eta = \left(7.31^{\circ E} - \frac{6.31}{^{\circ E}} \right) \rho$$

式中： η —— 动力粘度 ($\times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$)；

ρ —— 液体密度 (g/cm^3)；

$^{\circ E}$ —— 恩氏度 $^{\circ E} = \frac{t_1}{t_2}$ ；

t_1 —— 200 ml 试液通过 2.8 流出孔的时间 (s)；

t_2 —— 200 ml 蒸馏水通过 2.8 流出孔的时间 (s)。

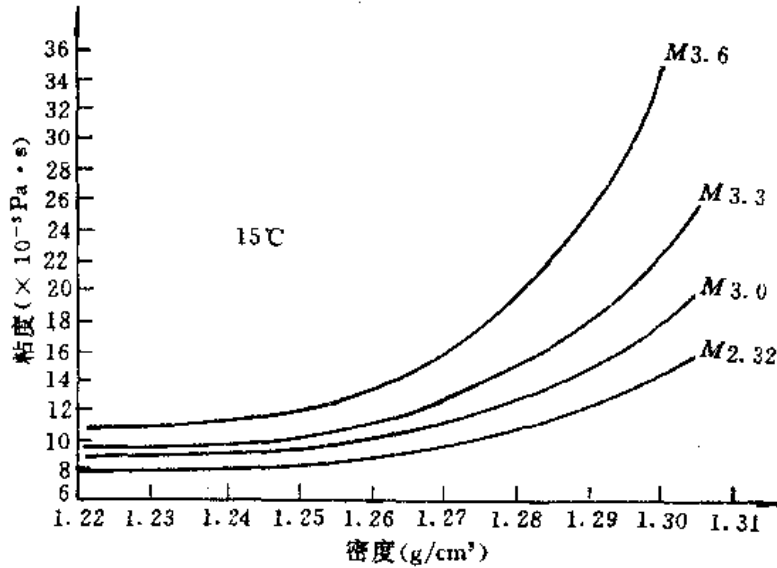


图 3-19 水玻璃密度对粘度的影响

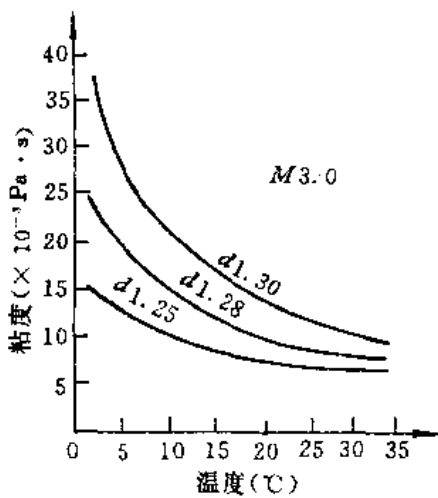


图 3-20 M3.0 水玻璃粘度与温度的关系

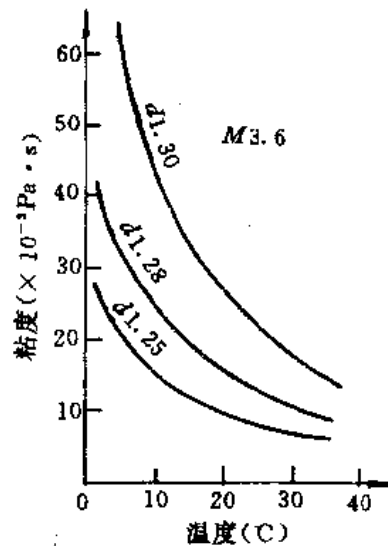


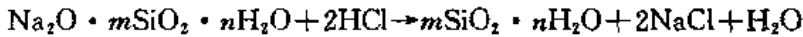
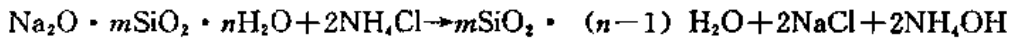
图 3-21 M3.6 水玻璃粘度与温度的关系

(四) 水玻璃的处理

1. 水玻璃处理的原理

如果从化工厂购得的水玻璃模数和密度不符合铸造工艺要求,可在使用前进行改变模数和密度的处理。通常采用加水稀释或加热浓缩的方法来改变水玻璃的密度。而模数的改变则通过改变其中的 Na_2O 的含量来实现。

为降低模数,可在水玻璃中加入 NaOH 水溶液以增加其 Na_2O 含量;如要提高模数,一般是在水玻璃中加入定量的、浓度适当的氯化铵水溶液或盐酸,与其中 Na_2O 发生中和反应,降低 Na_2O 含量,从而相对提高 SiO_2 含量。反应原理如下:



在水玻璃中加入氯化铵或盐酸后,会立即析出包含有初生 SiO_2 冻胶和氯化钠 ($m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$) 的白色冻凝物。初生 SiO_2 冻胶疏松多孔,在水玻璃溶液中多余碱分的作用下,经数小时即可全部回溶,使水玻璃重新成为均匀透明的溶液。

如果氯化铵或盐酸的加入量过多,析出的白色冻凝物就不能完全回溶。所以,用处理方法提高水玻璃模数有一定的限制,一般只能提高 0.3~0.6。

水玻璃经处理后,稳定性降低,胶凝速度增大。

2. 水玻璃处理的计算

(1) 调整密度的计算:设调整密度所需的水量为 $C(\text{g})$

$$C = \frac{A(d - d')}{d(d' - 1)}$$

式中: A —— 处理前水玻璃的重量(g);

d 和 d' —— 处理前和后水玻璃的密度(g/cm^3)。

(2) 调整水玻璃模数的计算:

$$X = 13.3 \frac{B}{M} = 12.9C \quad Y = 1.73 \left(C - \frac{B}{M} \right)$$

式中: M —— 要求达到的模数;

X —— 每 kg 水玻璃应加 NaOH 的 g 数;

Y —— 每 kg 水玻璃应加 NH_3Cl 的 g 数;

B —— 原水玻璃中 $\text{SiO}_2\%$;

C —— 原水玻璃中 $\text{Na}_2\text{O}\%$ 。

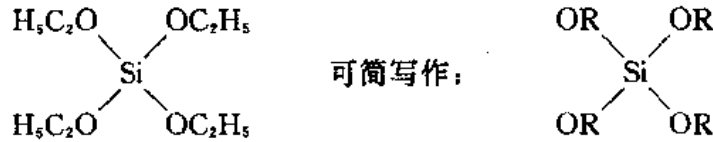
(3) 水玻璃处理的方法:

无论用 NH_4Cl 还是用 NaOH 处理水玻璃,都必须严格按照计算好的加入量进行,不能使用固态 NH_4Cl 或 NaOH 直接加入,必须将它们配制成合适浓度的水溶液 (NH_4Cl 水溶液浓度小于 10%, NaOH 水溶液浓度为 10~20%)。在提高模数处理过程中,以细流状态徐徐加入氯化铵水溶液,并不断搅拌,加完后继续搅拌 15 分钟左右。这些操作要求对于保证白色冻凝物的溶解以及防止初生 SiO_2 胶体的沉淀是完全必要的。

四、硅酸乙酯粘结剂

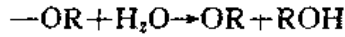
(一) 硅酸乙酯及其特性

化学纯的硅酸乙酯分子式为 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_2\text{Si}$, 其结构式为

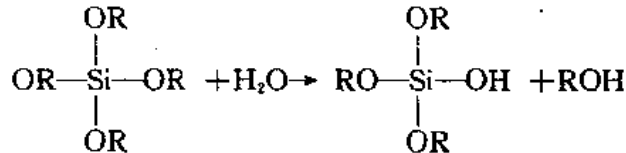


由于其分子结构对称，又称正硅酸乙酯。

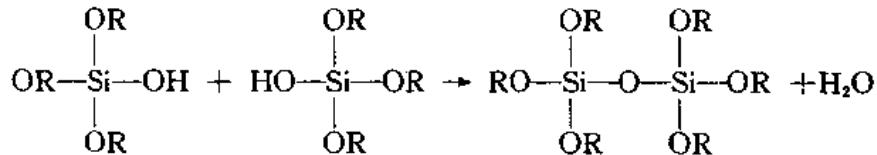
硅酸乙酯的活性官能团是烷氧基—OR，烷氧基的一个重要性质是水解



因此，正硅酸乙酯遇水即产生水解反应，得到乙氧基硅醇：



硅醇间有强烈的缩聚倾向，故在水解反应的同时，进行着乙氧基硅醇的缩聚反应得到贰乙酯 $(\text{RO})_2\text{Si}_2\text{O}$ ：



缩聚反应析出的水又可对缩聚产物水解，进而得到聚合度更高的聚乙氧基硅氧烷。如此接替循环，在不同加水量的情况下，可以得到不同聚合度和结构的聚乙氧基硅氧烷。如果加水量控制适当，硅酸乙酯只进行不完全水解和有限度缩聚反应，其产物基本上是线型的聚乙氧基硅氧烷，这样的水解液可以用作熔模铸造型壳粘结剂。若加水量不予限制，则水解和缩聚反应会不断进行下去，反应产物可由线型的聚硅氧烷发展到形成交联结构的体型高聚物，体系粘度剧增，最后失去流动性而固化，这就是胶凝。所以，硅酸乙酯水解液的胶凝本质并不是 SiO_2 粒子的聚集，而是属于高分子范畴内的线型分子相互交联而产生体型缩聚的结果。

硅酸乙酯的工业制法主要是利用 SiCl_4 与乙醇反应：



工业酒精都难免含水，因此一般工业生产条件下上述反应总会由于有水分参与使得最终产物中不但有聚合度为 1 的正硅酸乙酯（单乙酯），还会含有数量不等的多乙酯（表 3-6）。乙醇中含水量越多，则多乙酯所占的比例越大，平均聚合度也越大，产物的稳定性就越差，保存时间越短。

由于以上原因，硅酸乙酯中 SiO_2 含量被作为衡量其工艺性能的主要指标。实际上硅酸乙酯在水解前并不存在任何形态的 SiO_2 ，所谓 SiO_2 的含量是根据分子式中硅氧含量计算所得，亦即“名义二氧化硅含量”。 SiO_2 含量愈高，分子量愈大，分子结构也愈复杂。缩聚程度主要取决于制造硅酸乙酯时工业乙醇的浓度，乙醇中含水量愈高，则缩聚程度愈高。用工业蒸馏酒精（乙醇含量 96%）生产的硅酸乙酯，名义 SiO_2 含量为 30~35%，称为硅酸乙酯 32；如所用原料为一般工业酒精（乙醇含量 90%），制得产物中名义 SiO_2 含量为 40~43%，即为硅酸乙酯 40。硅酸乙酯 50 是将硅酸乙酯 32 加热至 110℃ 进行部分水解，再将低沸点馏分蒸馏出去，并于 220~240℃ 下热处理而得。

表 3-6 工业硅酸乙酯中可能含有的多乙酯

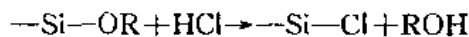
名称	聚合度 <i>n</i>	分子式	分子量	-OC ₂ H ₅ (%)	SiO ₂ (%)	Si (%)
单乙酯	1	(C ₂ H ₅ O) ₁ Si	208	86.5	28.8	13.16
二乙酯	2	(C ₂ H ₅ O) ₂ Si ₂ O	342	79.0	35.1	16.37
三乙酯	3	(C ₂ H ₅ O) ₃ Si ₃ O	476	75.6	37.8	17.65
四乙酯	4	(C ₂ H ₅ O) ₄ Si ₄ O	610	73.9	39.3	18.36
五乙酯	5	(C ₂ H ₅ O) ₅ Si ₅ O	744	72.5	40.32	18.82
六乙酯	6	(C ₂ H ₅ O) ₆ Si ₆ O	878	71.8	41.0	19.13
七乙酯	7	(C ₂ H ₅ O) ₇ Si ₇ O	1 012	71.1	41.5	19.37
八乙酯	8	(C ₂ H ₅ O) ₈ Si ₈ O	1 146	70.68	41.8	19.55
.....						

(二) 硅酸乙酯水解过程原理

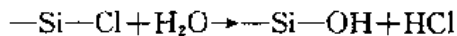
1. 硅酸乙酯水解的目的与水解反应中各组元的作用

硅酸乙酯本身并不能作粘结剂使用，它必须经过水解成为水解液，才具有粘结能力。所谓硅酸乙酯粘结剂是指硅酸乙酯的水解液，它是聚乙氧基硅氧烷的大分子溶液。硅酸乙酯和水混合时不能互溶，而呈分层状态，水解反应只能在液体界面上进行，水解缓慢且产物易于沉淀。不能作为粘结剂使用。但硅酸乙酯和水都能很好地溶解于乙醇或丙酮中，故水解时使用乙醇等作溶剂，硅酸乙酯和水就能在整个容积体积内进行充分的反应，并保证水解产物均匀地溶解在水解液中。在起溶剂作用的同时，乙醇还起着稀释剂的作用，使水解液中有适宜的 SiO₂ 含量。

为提高水解反应的速度，通常用盐酸溶液作催化剂。这是因为硅酸乙酯极易被酸解：



所得产物乙氧基氯硅烷 (RO)₃SiCl 水解速度要比正硅酸乙酯快得多，其水解反应为：

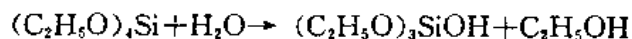


显然，在此过程中 HCl 并未被消耗而只是起了催化作用。也正因为此，HCl 的加入量对水解液的 pH 值有直接影响，必须控制在一定的范围内。

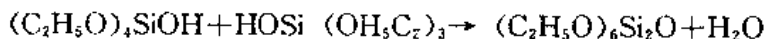
2. 加水量对水解缩聚过程的影响

硅酸乙酯可与任意量的水发生水解反应，因而不同的加水量决定了其水解和缩聚程度，导致水解液中含有不同的水解和缩聚产物，并具有不同的游离水含量。由于水解反应实质上就是乙氧基 -OC₂H₅ 与水的反应，因此，应该用 H₂O/-OC₂H₅ (克分子比) 来度量水解加水量，常用 W 代表。下面以正硅酸乙酯为例说明加水量对水解缩聚过程的影响：

(1) W=0.25 的水解缩聚：水解反应式如下：



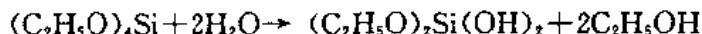
由此式得出，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量为 (18/208) × 1 000 = 86 g。水解产物三乙氧基硅醇的官能度 (-OH 数) 为 1，其缩聚反应式为：



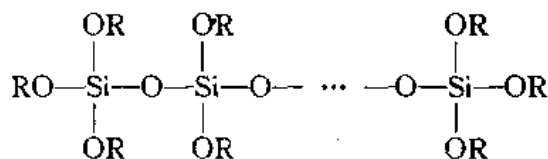
缩聚产物 $(C_2H_5O)_2Si_2O$ 中氧硅的克原子数比 $O/Si=0.5$ ，故水解液中主要为二聚体分子，基本上不存在游离水。

(2) $0.25 < W < 0.5$ 的水解缩聚：在此情况下，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量为多于 $(18/208) \times 1000 = 86 \text{ g}$ 而少于 $(2 \times 18/208) \times 1000 = 173 \text{ g}$ 。水解产物乙氧基硅醇的官能度为 1~2；缩聚产物中氧硅克原子数比为： $0.5 < O/Si < 1$ ，为线型低聚物（低聚乙氧基硅氧烷）；出现游离水，乙氧基含量降低。

(3) $W=0.5$ 的水解缩聚：水解反应式如下：



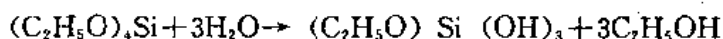
由此式得出，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量为 $(2 \times 18/208) \times 1000 = 173 \text{ g}$ 。水解产物乙氧基硅醇的官能度增至 2；缩聚产物中 $O/Si=1$ ，为线型高聚物（聚乙氧基硅氧烷）：



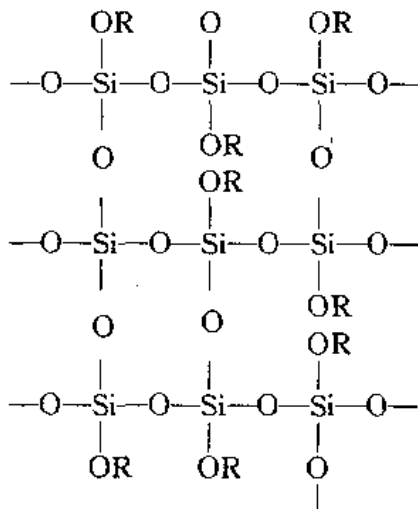
水解液中游离水量增加，乙氧基含量更降低。

(4) $0.5 < W < 0.75$ 的水解缩聚：在此情况下，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量多于 173 g，而少于 $(3 \times 18/208) \times 1000 = 259 \text{ g}$ 。水解产物乙氧基硅醇的官能度为 2~3；缩聚产物中氧硅克原子数比为： $1 < O/Si < 1.5$ ，为局部交联及枝化的聚乙氧基硅氧烷；游离水量更增加；乙氧基含量进一步降低。

(5) $W=0.75$ 的水解缩聚：水解反应式如下：

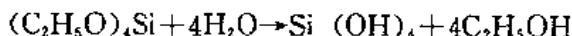


由此式得出，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量为 $(3 \times 18/208) \times 1000 = 259 \text{ g}$ 。水解产物乙氧基硅醇的官能度增至 3；缩聚产物中 $O/Si=1.5$ ，为三维交联网络的聚乙氧基硅烷：



水解液中游离水量进一步增加，乙氧基含量进一步降低。

(6) $W=1$ 的水解缩聚：在此情况下，硅酸乙酯中的乙氧基全部被水中的氢氧根所置换，其水解反应式如下：



按此反应式，水解 1 kg 正硅酸乙酯需加水量为 $(4 \times 18/208) \times 1000 = 346 \text{ g}$ 。水解产物

全部是正硅酸 $\text{Si}(\text{OH})_4$ ，官能度为 4。缩聚产物中 $\text{O}/\text{Si}=2$ ，为硅氧四面体组成的无定型 SiO_2 凝胶：

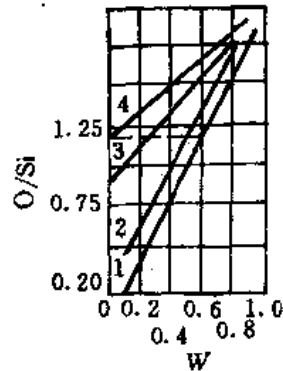
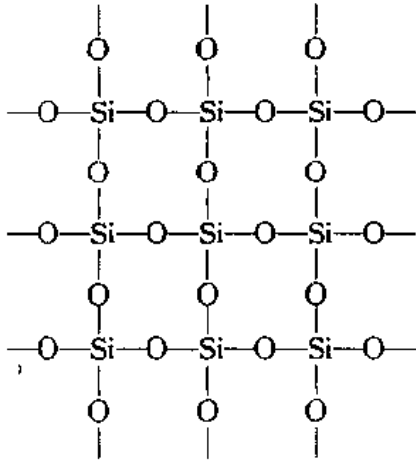


图 3-22 加水量 W 与 O/Si 的关系
1—正硅酸乙酯 (28.8) 2—硅酸乙酯 32
3—硅酸乙酯 40 4—硅酸乙酯 50

上述六种加水量的水解过程都是对正硅酸乙酯而言的。由于不同 SiO_2 含量的原硅酸乙酯的缩聚程度不同，因而硅酸乙酯 32、40 与正硅酸乙酯相比，在相同的加水量的情况下，水解和缩聚的产物是不同的 (O/Si 比值不同)。这也就是说，为了得到结构相同 (O/Si 比值相同) 的水解和缩聚产物，它们所需的加水量 W 并不相同。这些可从图 3-22 所示的曲线清楚地看出。由图可见，随着原硅酸乙酯中 SiO_2 含量的提高，其缩聚程度增高，故水解时需要的加水量减少 (降低 W 可得到同样的 O/Si 比)。显然，原硅酸乙酯中实际上已存在的聚乙氧基硅氧烷 (贰乙酯、叁乙酯等) 是已水解的部分。硅酸乙酯 50 在用作粘结剂前不必经过水解，其原因就是它本身正相当于 $W=0.25\sim 0.35$ 的硅酸乙酯 40 的水解液，或相当于 $W=0.6$ 正硅酸乙酯水解液。

3. 加水量对水解液性能的影响

如前所述，加水量 W 对水解和缩聚产物的分子构型和分子量以及对水解液的成分都有重要的影响。因此加水量的大小必然影响水解液的性能。

W 值愈大，水解后缩聚产物的分子量愈大，分子构形愈复杂。水解液的粘度亦愈大。加水量 W 和粘度之间有图 3-23 所示的线性关系。

粘结剂的稳定性，即水解液在存放期间粘度的变化与 W 的大小有关。密封保存的水解液在存放期间的粘度变化与 W 的关系如图 3-24 所示。由图可见，当 $W < 0.4$ 时，水解液在长时间内变化很小； $W > 0.4$ 以后， W 越大则粘度增长越快，稳定性越差。这主要因为当 $W < 0.4$ 时，水解液中不含残留水分，如果体系完全封闭，没有外来水分，水解液就应是完全稳定的。 $W > 0.4$ 以后，水解液中含有残留的游离水分，即使体系封闭，无外来水分介入，水解-缩聚反应仍然可以连续不断地进行下去，故粘

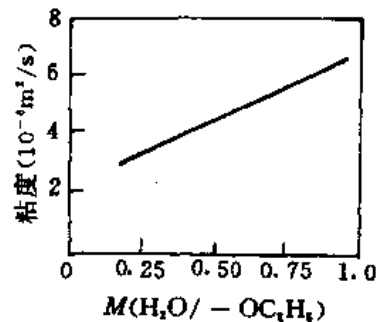


图 3-23 水解液粘度与加水量 M 的关系

结剂粘度无法长期保持稳定。W 越大，残留水分越多，稳定性越差。

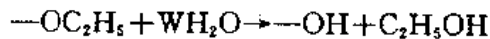
粘结剂的胶凝特性直接关系到型壳性能，因此，加水量对粘结剂胶凝速度的影响对制壳工艺至关重要。型壳干燥硬化的过程，实为水解液继续水解-缩聚，使分子间交联进而转变成体型聚合物凝胶的过程。对于 $W < 0.4$ 的水解液，此时所需的水只能由空气中的水蒸气或其他外来途径提供，这就要求环境湿度要高，一般相对湿度以 $> 70\%$ 为宜。另外，由于这种水解液中聚乙氧基硅氧烷分子中 $-OR$ 含量高而 $-OH$ 含量低，缩聚反应速度慢，因此粘结剂胶凝速度亦即型壳涂料层硬化速度也要慢些。反之，当 $W > 0.4$ 时，水解液中含有游离水分，型壳干燥硬化过程中继续水解缩聚所需水分可以部分乃至全部由自身提供，因此环境湿度可以低些，涂料层硬化速度也要快些。

涂料层硬化快，固然有利于缩短制壳生产周期，但粘结剂胶凝前其中的溶剂却来不及挥发，大量的溶剂被包罗的凝胶网络之中，这样的凝胶结构疏松，制成的型壳强度较低而透气性较好。相反，涂料层硬化慢，虽然延缓了制壳周期，但粘结剂中的溶剂可以在胶凝之前充分地挥发掉，因而所得型壳较为致密，强度高而透气性则较差。

(三) 硅酸乙酯水解液的配料计算与水解工艺

1. 配料计算

(1) 加水量的确定：根据硅酸乙酯水解-缩聚反应原理，水解加水量可按如下反应式计算：



于是，水解 1 kg 硅酸酯所需的加水量 B 为：

$$B = \frac{1\,000\ a \times 18/W}{45} = 400\ Wa\ (g)$$

式中：a —— 硅酸乙酯中乙氧基 ($-OC_2H_5$) 的含量%；

W —— 水解时置换 1 克分子乙氧基所需的水的克分子数；

18、45 分别是 H_2O 和 $-OC_2H_5$ 的分子量。

原硅酸乙酯中 (C_2H_5O) 的含量 a 可通过化学分析测定，也可根据其中 SiO_2 含量按表 3-7 确定。

表 3-7 原硅酸乙酯中 SiO_2 含量与 C_2H_5O 含量的关系

$SiO_2\%$	28.8	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
$C_2H_5O\%$	86.5	85.1	84.0	82.6	81.5	80.2	79.0	77.9	77.6	75.4	74.2	72.9	71.8	70.6	69.3

由硅酸乙酯水解过程原理可知，W 的值应视制壳工艺对水解液性能的要求和硅酸乙酯原料中 SiO_2 的含量（名义含量）来确定。正硅酸乙酯水解时，W 的较好取值范围为 0.25~0.6；对硅酸乙酯 32，相应的 W 值范围宜为 0.15~0.55；对于硅酸乙酯 40，则为 $W = 0.1 \sim 0.35$ ；

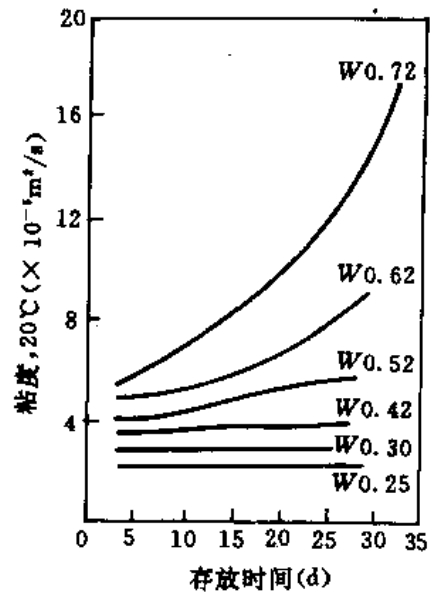


图 3-24 不同加水量 W 的水解液在存放期内粘度的变化

对于硅酸乙酯 50 可不必水解。

水解用水必须用蒸馏水，天然水或自来水中或多或少地含有一些电解质，它们可能破坏水解液的稳定性，析出絮状物，恶化水解液质量。

(2) 乙醇的加入量：乙醇的加入量以使硅酸乙酯水解液达到最适宜的 SiO_2 为准，根据生产实践，当 SiO_2 在 20% 左右时型壳强度最高。因此，实用中一般将 SiO_2 % 定为 15~25%，多取 18~22%，某些场合为改善型壳退让性和脱壳性也可将 SiO_2 % 降 15%。

乙醇加入量的计算公式为：

$$C = \frac{\frac{Aa}{a'} - (A + G)}{(1 - \beta\%)d_c}$$

式中： C —— 乙醇的加入量(ml)；

A —— 需水解的硅酸乙酯的重量(g)；

a 和 a' —— 水解前硅酸乙酯中和水解液中 SiO_2 含量(%)；

G —— 计算的加水量， $G = AB/1\ 000$ (g)； B 为水解 1 kg 硅酸乙酯所需的加水量(g)；

β —— 乙醇中的含水量(体积 %)；

d_c —— 乙醇的密度。

必须指出，所使用的工业乙醇中所含的水量应作为水解时加水量的一部分，故应对计算所得的加水量给予修正，即实际加水量应扣除乙醇中所含的水量。

(3) 盐酸的加入量：水解液中盐酸的含量一般可取 0.3%，铸件外廓尺寸较大时可取 0.3~0.4%，外廓尺寸较小时可取 0.2~0.3%。盐酸加入量计算公式如下：

$$D = \frac{(A + G' + C \cdot d_c)b' - A \cdot b}{d_H \cdot \gamma_H}$$

式中： D —— 盐酸加入量(ml)；

G' —— 扣除乙醇中水量后的加水量；

b 和 b' —— 水解前硅酸乙酯中和水解液中盐酸的含量(%)；

d_H 和 γ_H —— 盐酸的密度和体积 % 浓度。

2. 水解工艺

水解操作过程中应掌握好加料顺序、反应温度以及搅拌等环节。

加料时先将溶剂与硅酸乙酯混合后，再逐步加入酸化水（酸和水的混合液）。也可将溶剂、水、酸混合后，再加入硅酸乙酯。当水解液中 SiO_2 % 要求较低时，这两种加料顺序均可。若 SiO_2 % 要求较高时（例如 $\text{SiO}_2 > 25\%$ ），采用后一种加料顺序，水解反应更加缓和均匀，效果更理想。实际生产中经常用的加料顺序是，先将酸、水、乙醇三者混匀，然后在不断搅拌条件下将硅酸乙酯徐徐加入上述混合液中，按此顺序时，在不使水解温度超过规定要求的前提下加料速度应尽可能快些。加料越慢，水解时间越长，溶质分子量的不均匀程度越大，水解液的粘度越大，稳定性越差。

水解操作过程中的关键环节是要控制好水解反应的温度。由于水解是放热反应，故当反应一旦开始，无需加热温度就会自行上升，达到某一峰值后又缓慢下降。水解时最高反应温度和在此温度下的保持时间对水解液的质量，特别是粘度和稳定性的影响颇大。为了将水解

液粘度控制在 $6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下 (工艺要求 $3 \sim 6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)，水解反应温度的峰值以不超过 52°C 为宜。然而若温度太低，所得产物水解程度不足，分子量过小，型壳强度偏低，故水解反应温度的峰值又不宜低于 40°C 。对于硅酸乙酯 40，因已有相当的聚和度，则一般以 $32 \sim 42^\circ\text{C}$ 为宜。

在水解操作过程中，需要强烈搅拌。搅拌有利于水解和缩聚产物均匀分布在水解液中，并且产物的分子量和分子构型的分布也更为均匀。用 2800 r/min 转速的搅拌机搅拌的水解液所制成的型壳，强度比人工搅拌水解液的型壳高一倍左右。搅拌时间应持续到水解液温度接近室温。

水解完毕后通常应将水解液在室温下密封保存停放一昼夜，以便使其中的聚乙氧基硅氧烷的分子量尽量均匀化。

(四) 水解液的成分指标和性能要求

1. 成分指标

水解液成分指标的主要内容是 SiO_2 的浓度 ($\text{SiO}_2\%$) 和盐酸的含量 ($\text{HCl}\%$)。此两项指标的分析方法均见 HB5345—86。

2. 性能指标

水解液性能的主要指标是粘度，条件胶凝时间、pH 值和胶凝能力一般可作为参考指标。由于条件胶凝时间不易测得准确结果，生产中应用较少，本文中不予介绍。读者如有兴趣，可参考有关资料。

生产实际中常将水解液的粘度定为 $3 \sim 6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ，最大不超过 $8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。这是因为水解液存放期间，粘度会逐渐增长 (图 3-26)。当粘度超过 $10 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ，粘度增长速度变得相当大，因而粘度在短时间内就会急剧增大而失去稳定。值得指出的是，多数水解液粘度变化较快，因此不仅水解完毕时应及时测定其粘度，而且在临配制涂料之前也应检测粘度，前者可监视水解控制是否正确，后者则可鉴别粘结剂是否“老化”。测定水解液粘度可参照 GB265—83《石油产品运动粘度测定法》。

硅酸乙酯水解液的 pH 值一般控制在 $\text{pH}=2 \sim 2.6$ 之间，此时粘结剂是稳定的。pH 值的测定法可参照 HB5351.4—86《熔模铸造涂料酸度测定方法 (pH 试纸法)》。需要说明的是，用试纸法测水解液的 pH 值时，所用的试纸应是同一种类的，这样测试的结果才具有相对可比性，不同种类的试纸测得结果缺乏可比性。

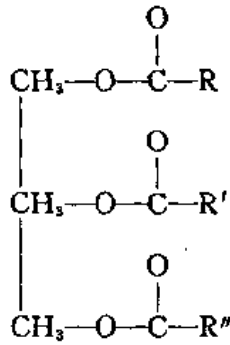
测定胶凝能力的方法简便易行，可以大致估计水解液是否符合要求。其步骤是取 $1 \sim 2$ 滴水解液滴在干净的玻璃片上，令其铺展成膜，自然挥发 $30 \sim 60 \text{ min}$ 。仔细观察液膜，若仍为粘稠状态，说明聚合度过小。若形成的胶膜龟裂、剥落，说明水解液中聚乙氧基硅氧烷交联度太大或水解液“老化”。若形成粘着牢固且连续完整的凝胶膜，说明水解液质量良好。

§ 3-3 有机粘结剂

一、植物油类粘结剂

(一) 植物油类的组成

植物油是油脂的一种，其组成是脂肪酸三甘油酯。分子结构式可表示为：



其中 RCOO—为脂肪酸基, R, R', R'' 代表三个脂肪酸中的烃基, 它们可以相同 (即某一种脂肪酸甘油酯), 也可以不同 (即混合脂肪酸甘油酯)。各种油的特性主要取决于其脂肪酸的特性。在空气中可以自行干燥硬化的油称为干性油, 干性油的硬化特性与其组成中的脂肪酸的种类和结构有很大关系。

脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸两大类。植物油中常见的饱和脂肪酸有:

软脂酸 $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$

硬脂酸 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$

常见的不饱和脂肪酸有:

油酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

亚油酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

亚麻酸 $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

桐油酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

蓖麻油酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

不饱和脂肪酸的烃基中含有不饱和双键, 在一定的条件下, 双键容易被打开, 所以化学活泼性较强, 容易发生氧化聚合反应。亚麻酸与桐油酸, 化学式同为 $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$, 分子中也同样有三个双键, 但双键分布的位置不同, 桐油酸分子中每两个双键之间都隔了一个单键呈共轭排列, 称为共轭双键。而亚油酸与亚麻酸中两个双键之间是被两个或两个以上的单键相隔离, 称为“隔离双键”。脂肪酸中不饱和双键的数量与分布对脂肪酸的硬化特性有重要影响, 双键愈多不饱和度愈大, 越易干燥硬化。由于共轭双键的结构比“隔离双键”更容易进行氧化与聚合反应, 因而桐油酸又比亚油酸与亚麻酸易于干燥硬化。所以从工业应用的角度又将植物油按其所含的油酸的种类, 分为萹合酸油类、亚麻酸油类、油酸-亚油酸油类, 芥酸油类等。

铸造工业中所用的植物油粘结剂主要有桐油、亚麻油和改性米糠油等, 均属于干性油, 其主要组成如表 3-8 所示。

表 3-8 几种植物油的油酸含量和性能

项 目	萹合酸油类	亚麻酸油类		油酸-亚油酸类		芥酸油类
	桐 油	亚麻籽油	大豆油	棉籽油	米糠油	菜籽油
桐油酸 (%)	77	—	—	—	—	芥酸 45
亚麻酸 (%)	—	49	8.0	—	—	8

续表

项 目	饱和酸油类	亚麻酸油类		油酸-亚油酸类		芥酸油类
	桐 油	亚麻籽油	大豆油	棉籽油	米糠油	菜籽油
油 酸 (%)	8.8	2.3	25	23	39.2	16
亚油酸 (%)	10.5	18	52	48	35.1	12
不饱和酸 (%)	95	90	86	—	90	90
不皂化物 (%)	<0.75	<1.5	<1.5	<1.5	4.6	—
酸值 (mg KOH/g)	<7	<4	—	—	73	—
碘值 (韦氏法)	>163	>177	120~140	106~113	99	100

(二) 植物油类粘结剂的硬化机理和质量指标

1. 硬化机理

植物油粘结剂加热硬化过程中的化学反应是比较复杂的。至今还不完全清楚。一般认为是氧和干性油中不饱和脂肪酸中的双键的反应,在抗氧化剂被破坏之后,氧在临近双键的 $-\text{CH}_2-$ 处被吸收,形成氢过氧化物: $-\text{CH}(\text{OOH})\text{CH}=\text{CH}-$ 。这些氢过氧化物进行一系列反应,产生一些化合物包括像低级脂肪酸和醛类,同时构成游离基团。这些游离基团引导双键交联,聚合形成皮膜。具有共轭双键结构的桐油酸,其共轭双键两边的亚甲基同时受两个或三个双键的影响,活化程度强,氧化成膜速度较快。亚油酸、亚麻酸等虽有两个或三个双键,但不成共轭体系,氧化速度较慢,形成的氧化膜也较软。

2. 质量指标

铸造用植物油粘结剂的质量指标主要有碘值、酸值和皂化值等项目。

(1) 碘值:碘值系在一定标准下 100 g 油所能吸收碘的克数,是表示油料不饱和程度,也是表明油料干燥速度的重要指标。干性油的碘值一般在 140 以上;半干性油的碘值在 100~140 的范围内;不干性油的碘值一般在 100 以下。

(2) 酸值:油料中常含有少量游离脂肪酸,是三甘油酯水解的产物。酸值是中和一克油所需 KOH 毫克数。纯净的植物油无臭味,含游离的脂肪酸少,但经长期贮存,或受阳光、空气中的氧和微生物的作用后氧化分解,产生难闻的酸类混合物,从而酸败变质,酸败后,油中的游离脂肪酸含量增加,酸值变大。因此根据酸值的大小可判断植物油的质量。酸值越小,油的质量越好。

(3) 皂化值:皂化值系一克油完全皂化时所需要的 KOH 的毫克数。是区别油与其中不能皂化物质的分析基础。皂化值与酸值之差,即表示与甘油结合成酯的化合酸量。皂化值反映了植物油的纯度,油中的杂质越多,皂化值越小。

几种铸造常用植物油粘结剂的技术条件见表 3-8。

(三) 影响油砂性能的主要因素

1. 油的加入量及粘度的影响

油的最适宜加入量,应使全部砂粒表面都覆盖一层完整的均匀的并具有一定厚度的油膜。如果油的加入量过少,就不能在全部砂粒表面形成一层均匀的油膜,砂芯的干强度就低。如

果油的加入量过多，虽然砂芯的干强度可以提高，但延长了烘干时间，增加了砂芯的发气量，而且经济上也是不合算的。不经处理而直接用作砂芯粘结剂的植物油，其加入量为砂重量的1~3%。

油的粘度对油砂的性能也有一定的影响。如果油的粘度过大，覆盖在砂粒表面的油膜就厚，油的消耗量就多。当粘度很大时，就很难均匀覆盖在每颗砂粒的表面上。因此，为了节省油的用量，常加入一定量的溶剂来降低油的粘度。表3-9为亚麻油砂的干强度、比强度与油的粘度、加入量的关系。

表3-9 亚麻油的粘度、加入量与强度的关系

油与溶剂的比例 (%)		粘 度 (°E)	亚 麻 油 加 入 量 (%)													
			0.5		0.6		0.75		1.0		1.5		2.0		3.0	
亚麻油	煤油		比 强 度 σ 比 (MPa·1%) 和 干 强 度 (MPa)													
		σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	σ 比	σ 干	
100	0	7.53	0.6	—	0.73	0.44	0.84	0.03	0.97	0.97	1.09	1.63	1.07	2.15	0.84	2.54
90	10	5.73	1.08	—	1.18	0.71	1.33	1.00	1.49	1.49	1.40	2.11	1.29	2.58	0.96	2.89
75	25	3.50	1.30	—	1.75	1.05	1.93	1.45	1.76	1.76	1.50	2.38	1.33	2.67	0.99	2.99
60	40	2.36	1.68	—	2.24	1.34	2.15	1.01	1.92	1.92	1.62	2.43	1.38	2.76	1.01	3.05
50	50	2.05	1.28	—	—	—	1.87	1.40	1.73	1.73	1.54	2.31	1.32	2.65	0.99	2.95
40	60	1.70	0.72	—	0.95	0.57	1.17	0.88	1.40	1.40	1.35	2.02	1.20	2.40	0.91	2.75

从表中可以看出，在一定的范围内，油砂的强度随着粘度的减小而提高。但如果油的粘度太小（表3-9中为<2.36），覆盖在砂粒表面上的油膜厚度太小，粘结能力降低。同时，由于溶剂的含量太多，在烘干的过程中，溶剂大量挥发破坏了油膜的完整性，砂芯的干强度和比强度都将大幅度降低。

2. 原砂性能的影响

原砂的颗粒越细，砂粒的总表面积就越大，势必消耗较多的油。油多则砂芯的发气量大，而细砂砂芯的透气性又较差，这样的情况对铸件的质量是很不利的。因此，在不影响铸件表面粗糙度的情况下，原砂选择以尽量粗些为宜。经常采用粒度分组代号21或15的石英砂。

原砂的含泥量应尽量少，否则将使油砂的干强度降低。一般应控制在2%以下。有的工厂为了降低原砂含泥量采用水洗的原砂。

原砂的颗粒形状对油砂的性能也有影响。表面光洁的圆形砂，其表面面积较小，当加入相同的油量时，其强度就较高。例如，东北大林砂（粒度分组代号21）的颗粒形状为圆形，表面较光滑。江西湖口砂（粒度分组代号21）的颗粒为多角形，表面较粗糙。两者的颗粒大小相似，但加入相同数量（1.7%）的桐油时，两者的干强度相差甚大。前者干拉强度达1.40 MPa，而后者仅为0.75 MPa。

3. 水和其他加入物的影响

由于植物油表面张力低（约 40×10^{-7} N/cm），油砂砂芯的湿压强度值只有2.45~4.9 kPa，对于扁平或薄壁的小砂芯制芯后可用成型烘干机；但对于较高或厚大的砂芯，会因本身

重量而在搬运中变形甚至倒塌。因此对这类砂芯，特别在手工造型条件下必须改善油砂的湿强度。常采取的措施主要是加入附加材料，如水、粘土、天然粘土砂、亚硫酸盐纸浆废液、糊精等。但这样做往往使砂芯的其他性能降低，因此对附加物的加入量必须严格控制。

(1) 水：水的表面张力（约 $72.5 \times 10^{-7} \text{ N/cm}$ ）比油大，所以加入一定量的水可适当地提高油砂的湿强度。另外，在加入其他附加物的同时，也需要加入一定量的水。

水与石英砂的润湿情况比油好。混砂时如先加入一定量的水，砂粒很快就被水润湿并形成一层水膜。然后再加入油，油就能较迅速地均匀分布在每颗砂粒表面上，这样对于提高油砂芯的湿强度是有利的。但由于水分在蒸发时破坏了油膜的完整性，使砂芯的干强度降低。同时过多地加入水分，还容易沾附芯盒，使砂芯的制造不方便。因此水的加入量应严格控制，一般为 1.5~2.0% 左右。

(2) 粘土：油砂中加入粘土和少量水能显著提高油砂的湿强度。但每加入 1%（质量分数）的粘土约相当于损失掉 0.15~0.25%（质量分数）的油，因为粘土颗粒细小，表面积大，要吸附较多的油。另外，粘土中的钠、钾、钙的盐类，在水中离解与油起皂化作用也要消耗一些油。由于加入一定量的粘土后，将使油砂芯的透气性降低，出芯性变坏，芯砂的流动性下降。因此，对一级砂芯一般不允许加粘土，而且对原砂的含泥量还要加以限制。

粘土的加入量一般控制在 1% 左右。

(3) 糊精：糊精的分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ，是一种复杂的碳水化合物。糊精在水中能形成溶胶，是良好的水溶性有机粘结剂，在油砂中只要加入少量的糊精（同时加入适量的水）就能显著提高油砂的湿强度。烘干时，砂芯表面的水分不断地蒸发，内部的水分不断地往表面迁移，同时有少量糊精也随水分迁移至砂芯表面层，使表面层糊精含量增加形成一层具有较高湿强度的硬壳，有利于防止湿砂芯发生变形。在浇注时，糊精受热分解出还原性气体，可提高铸件的表面光洁度。但糊精的吸湿性较强，它由溶胶变成凝胶的过程大体上是可逆的，因此混好的芯砂应加盖密封存放。

糊精的加入量一般控制在 1.5~2% 左右。

(4) 亚硫酸盐纸浆废液：铸造用纸浆废液实际上是经浓缩的亚硫酸盐纸浆废液提取酒精后的酒糟废液，系水溶性粘结剂。在油砂中加入一定量的纸浆废液可提高油砂的湿强度，而对干强度的影响并不显著。油砂中加入纸浆废液后容易沾附芯盒，操作不方便。同时砂芯的吸湿性增大，容易返潮，不宜长期存放。因此，纸浆的加入量一般控制在 1~2% 左右。

铸造用纸浆废液粘结剂的技术条件见表 3-10。

表 3-10 铸造用纸浆废液粘结剂的技术条件 (JB1287—66)

外 观	密度 (g/cm^3) (20℃)	粘度 (s) (30℃)	pH 值	干拉强度 (MPa)
浓稠状褐色液体	1.27~1.28	15~35	4.6~7.0	≥ 0.2

注：试验用内蒙大林砂 [ZGS 90-21-45]；

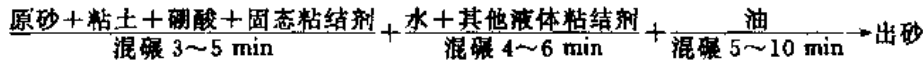
型砂配比：原砂 2000 g，粘结剂 100 g，水 10 ml；

试样烘干时，将烘箱预热到 180℃，放入试样，待炉温回升到 170±5℃，保温 30 min。

4. 配制与烘干工艺的影响

(1) 配制的影响：石英砂与水能很好地润湿，混砂时应先加水后加油，才能不但使油均匀

地分布在每颗砂粒的表面上，而且还可以避免粉状材料吸收较多的油。混砂时正确的加料次序是：



总的混砂时间控制在 12~20 min 左右。混制好的砂芯应贮存在专用的箱里，并用湿麻袋盖上，回性 1.5~2 h 后再使用，如果油砂中含有纸浆或糊精等水溶性粘结剂时，要防止贮存期间由于水分蒸发而使砂芯性能变坏的现象。

(2) 烘干工艺的影响：砂芯烘干的目的是为了去除水分，促使粘结剂进行氧化、聚合反应形成坚韧的油膜而使砂芯获得高的干强度和透气性，降低发气量。正确的烘干工艺规范，是控制油砂质量的关键。如果砂芯的烘干温度太低，油的氧化、聚合反应很慢，则不但烘干时间长，砂芯的干强度也较低。如果烘干温度过高（大于 250℃），油分子产生分解，会使砂芯发酥或烧枯，强度大大降低甚至报废。如果升温的速度太快，容易产生烘不干或表面出现裂纹等现象。

油砂芯的烘干时间和温度，主要取决于粘结剂的种类、砂芯的壁厚和复杂程度。如果砂芯的壁薄且均匀，可采用较高的烘干温度、较短的烘干时间。这样不但砂芯质量好，而且生产率高。如果砂芯的壁较厚而且又不均匀，则应采用较低的烘干温度、较长的烘干时间，以便使砂芯的各个部分都能均匀地加热。一般以植物油为粘结剂的砂芯最适宜的烘干温度为 200~220℃，烘干时间为 1~2 h。表 3-11 列出了两种粘结剂不同厚度的油砂芯的烘干温度和烘干时间。图 3-25 则为油砂芯的烘干时间及温度与干强度的关系。

表 3-11 油砂芯的烘干工艺规范

序号	砂芯厚度 (mm)	亚麻油砂芯		T ₉₉₋₁ 砂芯	
		烘干温度 (℃)	保温时间 (h)	烘干温度 (℃)	保温时间 (h)
1	<40	200~220	0.5~1.0	220~240	0.5~1.0
2	40~80		1.0~2.5		1.0~2.5
3	>80		2.0~4.0		2.0~4.0

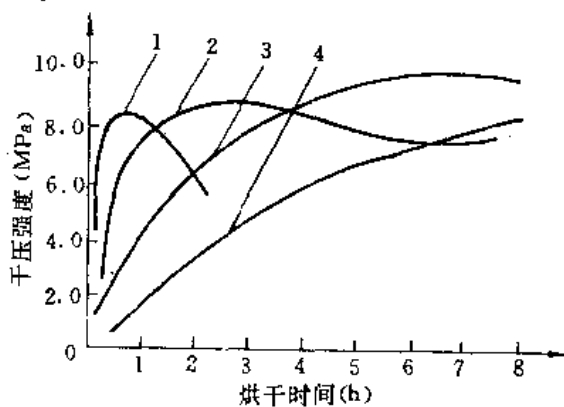


图 3-25 烘干时间和温度与干强度的关系
1—250℃ 2—230℃ 3—200℃ 4—175℃

表 3-13 合脂粘结剂按粘度值分析

等级代号	40	80	120
粘度值 (s) (N-6, 30℃)	> 15~40	> 40~80	> 80~120

表 3-14 合脂粘结剂按干拉强度值分级

等级代号	14	17
工艺试样干拉强度值 (MPa)	>1.4	>1.7

(四) 合脂砂的性能与应用

合脂砂的主要工艺性能与油砂相似。

(1) 合脂砂的湿强度：在优质原砂中加入 2.5~3.0% 的合脂，干强度已能满足一级芯的要求，但湿强度只有 2.5~4 kPa。提高合脂的粘度时芯砂湿压强度略有提高，但在烘干过程中随温度升高，合脂的粘度降低，容易引起砂芯变形，故必须将合脂的粘度控制在规定范围内。为提高合脂砂的湿强度，可以加入糊精、纸浆废液、粘土和水等材料。

(2) 合脂砂的干强度：合脂砂的干强度与桐油砂相近。但为提高湿强度而加入粘土时将使干强度显著降低，大约每加入 1% 粘土干强度下降 10~15%。如果把粘土与糊精或纸浆废液复合加入，则不仅可以改善湿强度，干强度的降低也较少。

合脂砂的烘干温度范围比桐油砂稍宽，为 180~240℃，最佳烘干温度范围也在 200~220℃ 之间。砂芯烘干后，随着芯子冷却干拉强度逐渐升高，故合脂砂在冷却前不应搬动。

(3) 合脂砂的吸湿性：合脂是憎水材料，硬化反应也是不可逆的，在不加其他水溶性附加材料时，合脂砂吸湿性和桐油砂相近，可存放一周以上。

(4) 合脂砂的发气性、退让性与出砂性：合脂砂的发气量和烘干温度有关，烘干温度低发气量大，烘干温度高发气量小。当烘干温度超过 200℃，合脂砂的发气量甚至比桐油砂还低。合脂粘结剂与油类粘结剂一样也是有机物，高温下会发生分解和燃烧而很快失去强度。因此，合脂砂的退让性和出砂性均十分良好，大体与桐油砂类似。

(5) 其他性能：流动性比桐油砂差，不能满足大量生产一级芯的要求。为改善合脂砂的流动性，可用油漆溶剂做稀释剂，用较大的稀释比（如质量比为 10:8），漏斗粘度控制在 15~35 s；尽量降低合脂加入量，必要时加入少量桐油或亚麻油（0.5% 以下）。

不沾模性比油砂略差。为减少合脂砂沾模，可采用以下措施：尽量减少合脂、水、纸浆废液的加入量；加适量粘土（或粘土砂），加粘土的合脂砂应经调匀后再用；在制芯时经常擦拭芯盒表面或在芯盒表面撒上分型粉。

三、合成树脂有机粘结剂

(一) 壳芯法用树脂及其硬化机理

1. 壳芯法工艺过程

壳芯法制芯过程如图 3-26 所示。先把原砂、酚醛树脂和固化剂等混制成覆膜砂，然后把覆膜砂吹入事先加热至 200~280℃ 的金属芯盒中，保持 20~60 s（称为结壳时间），使贴近芯

盒壁的覆膜砂中的树脂受热熔化，将砂粒粘结在一起，形成一层薄壳，再把中间未熔化的、松散的覆膜砂倒出来，将已形成的薄壳继续加热 30~90 s，使它进一步硬化。然后打开芯盒，顶出壳芯，即可获得厚度 3~12 mm 左右的空心壳芯。这种制芯方法具有原材料消耗少、硬化速度快、生产率高的特点。用这种方法制成的壳芯，表面光洁、尺寸精确，透气性及出砂性、退让性好，强度大（可达 3.0~4.0 MPa），吸湿性小，可长期存放。

由于酚醛树脂的来源少、价格较贵，需要专门的制芯设备。因此，壳芯法主要用于生产批量大的砂芯。

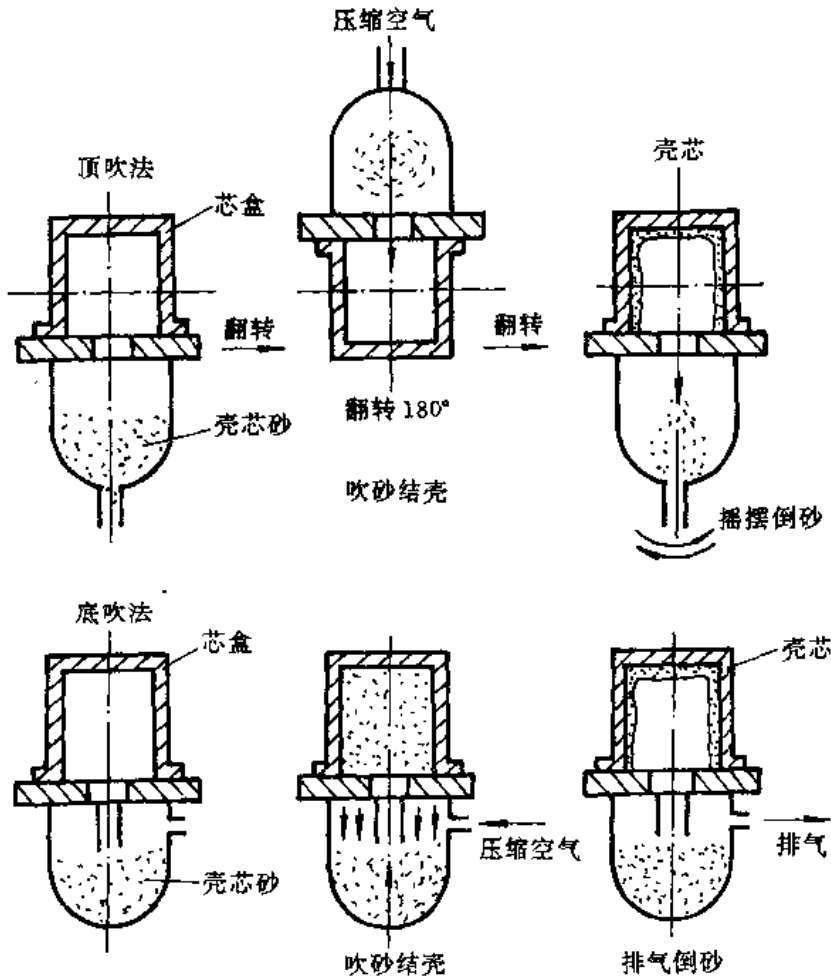
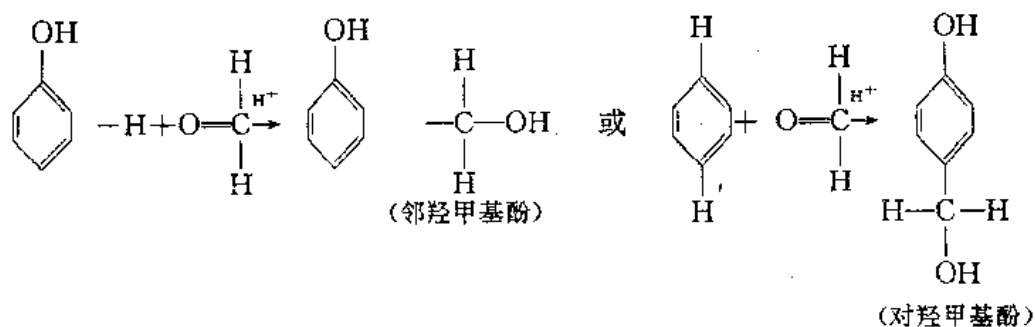


图 3-26 顶吹法和底吹法壳芯制造示意图

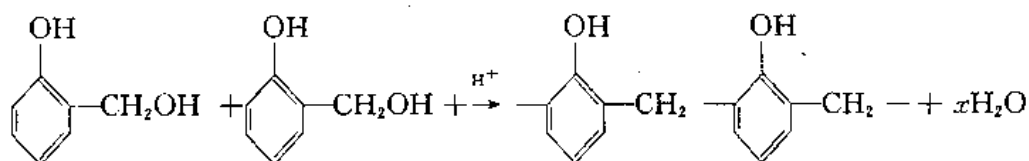
2. 壳芯法用树脂制备

壳芯法所用粘结剂为线型热塑性 (thermoplastic) 酚醛树脂。它是在苯酚过剩 (即甲醛用量不足) 和用酸性催化剂的情况下合成的。

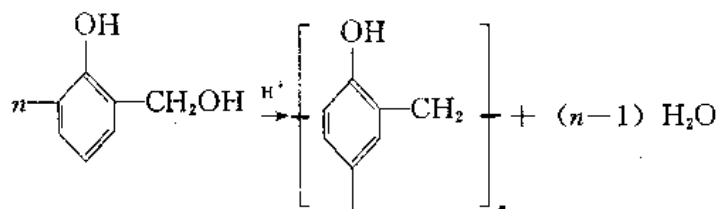
反应的第一步是苯酚中邻位或对位的氢原子加到甲醛的氢原子上形成羟甲基酚。即



羟甲基酚在酸性介质中不稳定，其羟基很容易与其他分子的邻位或对位上的活泼氢原子进一步反应，脱去一个分子水而生成亚甲基 (CH₂) 桥，把苯酚分子联结起来，生成线型结构的酚醛树脂：



即

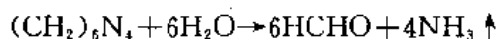


式中的 n 数值，由 0~12 不等，根据苯酚过量多少而定。这种线型酚醛树脂是一种淡黄色固体，能溶解于酒精等有机溶剂，当加热至 150℃ 以上时就软化，重复加热仍可软化，属于热塑性树脂。由于结构中不含甲基基团，本身不进行缩聚，也不能形成体型结构。壳芯树脂砂粘结剂 2123 酚醛树脂就是这种热塑性树脂。

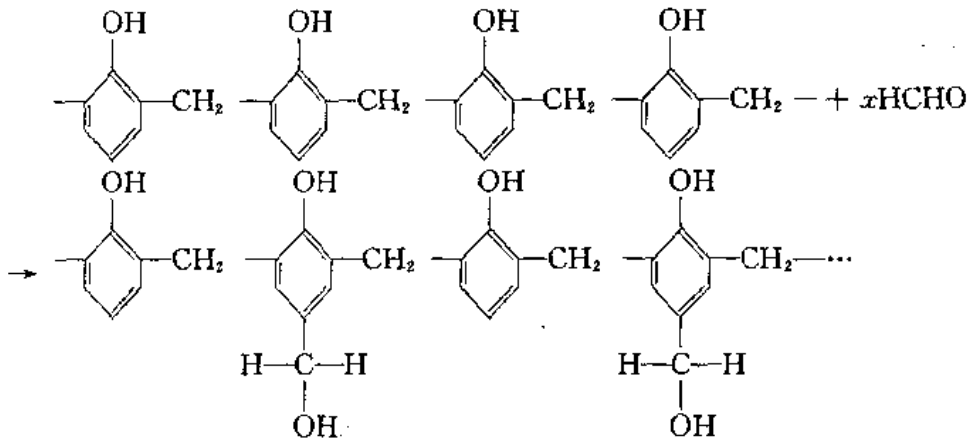
3. 硬化机理

前述热塑性树脂由于苯酚过剩，便于长期存放。要使这种树脂固体，单靠加热是不行的，必须另加固体剂（含有 -CH₂- 基团的物质）。只有在固化剂参与反应的情况下，线型酚醛树脂才能转变为不溶、不熔的体型结构，壳芯才有足够的强度。常用的固化剂是六次甲基四胺（即乌洛托品），其分子式为 (CH₂)₆N₄，加热时分解为氨气和次甲基 (-CH₂-)，所以能使线型分子固化，由热塑性树脂转化为热固性树脂。

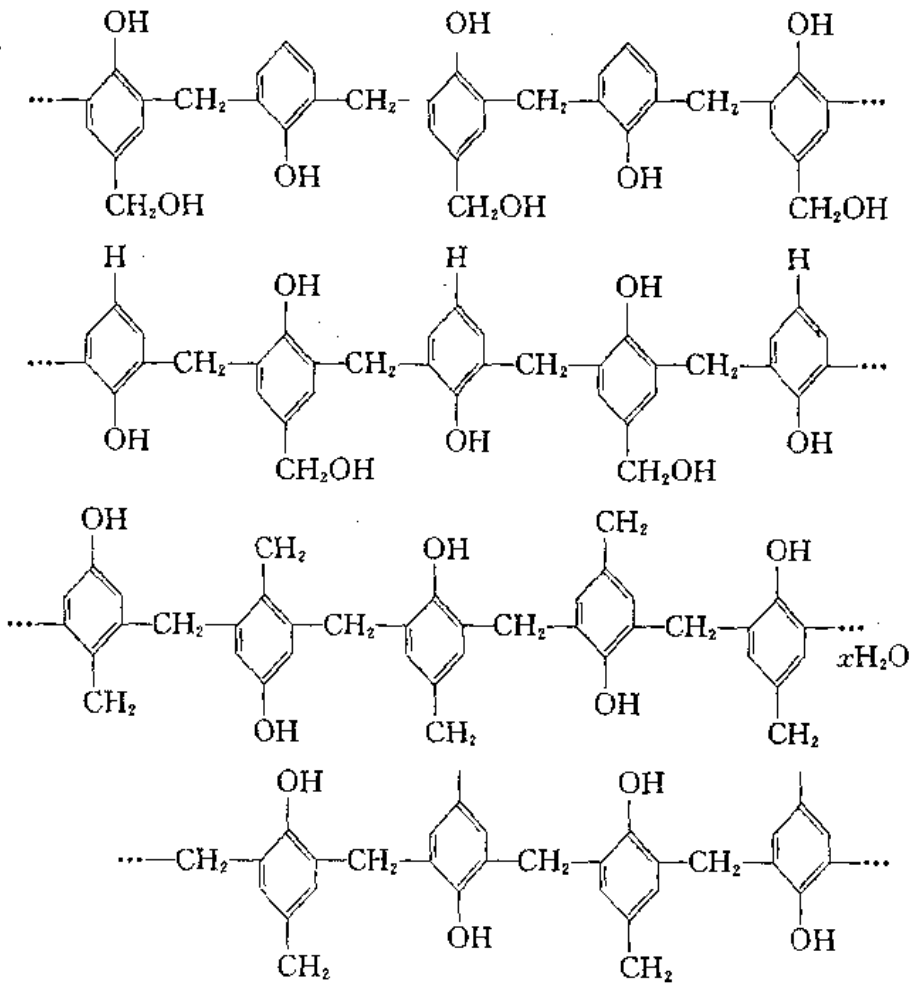
乌洛托品的加入量一般占树脂重量的 10~15%，按六次甲基四胺（邻羟基苯酚）：水 = 1 : 1（重量比）配成水溶液加入。加热时，部分六次甲基四胺与树脂砂中的水作用，生成甲醛和氨气：



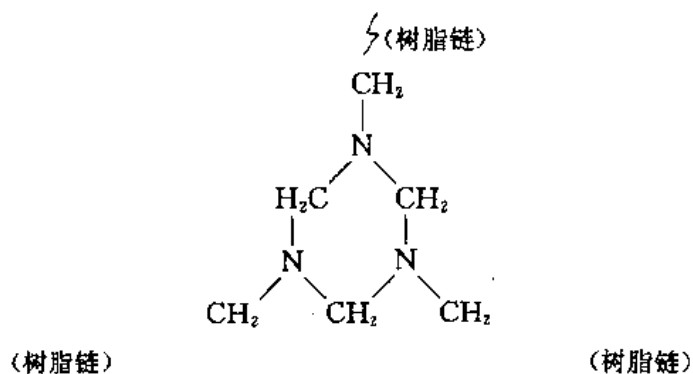
生成的甲醛与线型酚醛树脂分子进一步反应，使树脂由线型转变为体型结构的大分子；NH₃ 造成碱性气氛，有利于反应进行。其反应首先在酚醛树脂分子链上若干苯酚羟基的对位处生成羟甲基：



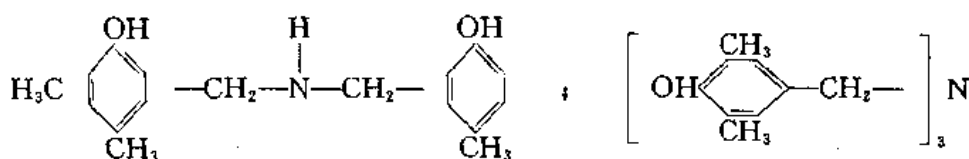
此酚羟甲基再与其他酚醛树脂分子苯酚核的对位或邻位的活性氢原子缩和，生成亚甲基-CH₂-键，形成网状的体型结构，使树脂由热塑性变为坚硬固体：



已交联成体型的酚醛树脂属热固性，在加热时不会再软化。另外，六次甲基四胺也提供氮原子键。加热硬化过程中，有人认为有66~77%（质量分数）的氮结合进入树脂硬化产物中，其原因是六次甲基四胺失去一个氮原子后，其他三个氮原子便与树脂链结合起来构成以下结构：



六次甲基四胺还可与具有邻位或对位活性氢的酚反应，例如与只有一个邻位或对位活性氢反应时，分别生成二羟基苯胺：



由于六次甲基四胺给酚醛树脂带来很多氮，往往会成为壳型浇注铸钢件时产生皮下气孔的原因之一。

4. 壳芯树脂砂的制备

壳芯法树脂砂由原砂、酚醛树脂粘结剂、固化剂和附加物等组成。这些组成物质质量的优劣，对树脂砂的性能有很大的影响。

(1) 原砂：一般采用石英砂，对于表面要求很高的铸件，特别是壁很厚实、易产生粘砂的铸钢件，也常使用锆砂（可用旧砂再生的方法降低成本）。从颗粒度看，为了能获得光洁的铸件，一般使用颗粒较细的原砂（分组代号为 15、10），AFS 平均细度为 60~110。为了减少树脂加入量，对于原砂中分组代号为 05 号和底盘的含量也必须限制，一般不应超过 10%。总的说来，原砂应符合“圆、纯、净、细”的要求。生产实际中常采用圆形、粒度分散的水洗或擦洗砂。

(2) 酚醛树脂粘结剂：壳芯法对粘结剂的要求主要有以下几个方面：

a. 聚合速度要快，一般要求 50~70 s 左右。聚合速度快可以缩短制壳周期，提高制芯生产率，并减少因残余的热塑性引起壳芯变形和脱壳。

b. 软化点要高，一般要求为 70~100℃ 左右。这是因为如果树脂的软化点过低，树脂砂就容易结块，影响树脂砂的流动性，壳芯表面易脱落。

c. 流动性要适中。流动性表示树脂在熔融状态时的流动能力。如果树脂的流动性太大，结壳时壳芯表面的树脂容易往下流，使上下部分的树脂含量不均匀。在含量多的地方浇注后可能产生气孔，含量少的地方可能出现强度不足。

d. 游离酚的含量要低，一般要求少于 6~9% 左右。

根据国家专业标准《铸造用壳型（芯）酚醛树脂》（ZBG39005—89）规定，铸造壳芯用固体酚醛树脂的牌号及技术要求见表 3-15。

表 3-15 酚醛树脂的技术条件

项 目	牌 号 及 指 标	
	PF-90	PF-110
软化点 (°C)	75~90	91~110
聚合速度 (s)	35~60	100~140
游离酚 (%)	<7	<4
流动性 (mm)	45~85	45~85
覆膜砂熔点 (°C)	95~105	100~110
覆膜砂常温抗拉强度 (MPa)	>3.0	>3.0

注：覆膜砂中树脂加入量为 5%。

(3) 固化剂：常用的固化剂为乌洛托品，其加入量应严格控制。加入量太少，固化速率很慢，影响生产率提高。此时虽然带入的氮少，但是残存的未交联成体型结构的酚醛树脂较多，型、芯在浇注金属的热作用下，未成体型结构的树脂会重新软化或熔化，增大型、芯变形量。如果固化剂加入量过多，相应析出的氨气就多，型、芯容易起泡发胀，质量变坏。而且由于型、芯的线膨胀率增大，变形量大，较易开裂。固化剂的加入量一般宜控制在树脂量的 10~15% 左右。

(4) 附加物：为了改变壳芯砂的性能，有时加入某些附加物。例如加入硬脂酸钙（为砂重量的 0.25~0.35%），可防止壳芯砂存放期间结块，增加壳芯砂的流动性，使型、芯表面致密，制壳时易于顶出等。加入石英粉（加入量为砂重量的 2% 左右），可提高壳芯砂的高温强度。加入氧化铁粉（加入量为砂重量的 1~3% 左右），可提高型、芯的热塑性，防止铸件产生毛刺和皮下气孔。

壳芯树脂砂的混制方法，有粉状砂和覆膜砂两种。在壳芯树脂砂刚开始应用阶段，大多采用粉状砂，近年来一般都采用覆膜砂。

粉状砂的混制方法是把酚醛树脂的固体粉末、乌洛托品粉末和原砂用普通碾轮式混砂机混合均匀。在混砂时先向砂中加入占砂重量 0.3~0.5% 的煤油或糠醛作润湿剂，混匀后再加入粉状树脂（通过 100 目筛）和乌洛托品，混 5~8 min 而成。这种混制方法比较简单，但混制时树脂飞扬，恶化劳动条件；在砂粒表面树脂堆积不均匀、不完整，粘结效率得不到充分发挥，以致树脂用量高达 6.0~7%；在贮存和运输过程中，树脂容易偏析，故只在小量生产时使用。

覆膜砂的混制工艺可分为冷法、温法和热法三种。

冷法也叫冷溶法。混制的方法是先将粉状树脂、硬化剂预先溶解在工业酒精、丙酮或糠醛中，再加入砂中进行混砂。此时溶剂逐渐挥发，树脂就在砂子上呈一层薄膜包覆，最后混合料结成团块。将团块取出在阴凉的地方停放约 2~4 h，使溶剂全部挥发完，然后再把团块碾碎过筛即可使用。这种方法的缺点是有机溶剂消耗量大，混砂时间长，成本高，一般只用于小批量生产。

温法是将干砂与硬化剂一道加入碾轮式混砂机上，混 1 min 后加入液态树脂（酚醛树脂酒精液）混 2~3 min，此后向混砂机内吹热空气（80~100°C），砂混合料粘结呈团块。继续混

碾，直至溶剂挥发，砂团破碎为止。然后卸料、过筛、冷却，储存备用。

热法混制覆膜砂时是先将砂加热到 140~160℃，加入树脂与热砂混匀，热砂将树脂熔化并包覆在砂粒表面，当砂温降到 105~110℃ 时，加入乌洛托品水溶液（乌洛托品与水的重量比为 1:1），吹风冷却，再加入硬脂酸钙混匀，经过破碎、筛分备用。如存入砂斗应冷却到 30℃ 以下，以免结块。这种方法生产率高，质量好，由于不消耗溶剂，树脂加入量较少，所以成本较低，适合大规模生产。热覆膜砂的成分配比与混制工艺参考数据分别见表 3-16 与表 3-17。

表 3-16 热法覆膜壳芯砂典型配比举例

序号	配 比 (%)					常温抗拉强度 (MPa)	用 途
	新砂	酚醛树脂	乌洛托品 (占树脂重%)	水:乌洛托品 (重量比)	硬脂酸钙 (占树脂重%)		
1	100	6	16.5	1:1	—	>4.2	缸体缸筒芯
2	100	5	16.7	1:1	3.75	>4.2	
3	100	2.5	16.7	1:1	3.75	>2.5	中、小壳芯
4	100	6~7	15	1:1	—	2.5~3.5	强度高的大砂芯

表 3-17 热覆膜砂混制工艺

项 目 名 称	技 术 要 求
砂温 (°C)	140~160
加树脂混合时间 (s)	45~50
加乌洛托品混合时间 (s)	10
加硬脂酸钙混合时间 (s)	45~50
卸砂破碎时间 (s)	10
过筛	

(二) 热芯盒法用树脂及其硬化机理

热芯盒树脂砂是近 30 年来发展较快、应用较广的一种新工艺。其制芯方法是用液态热固性树脂和催化剂配成的芯砂，填入加热到一定温度的芯盒内，贴近芯盒表面的芯砂受热后，砂粒表面粘结剂在很短时间即可缩聚而硬化。只要砂芯的表层有数毫米结成硬壳即可自芯盒取出，中心部分的砂芯利用余热和硬化反应放出的热量可自行硬化。

热芯盒法所采用的树脂粘结剂是以尿素、甲醛、苯酚、糠醛为原料，按一定的比例，在一定的 pH 值下经聚合、缩聚反应而制成的一类液态树脂。树脂的外观一般为黄褐色或棕红色粘性液体。这类树脂也可以看成是以糠醛、酚醛改性尿醛树脂和酚醛树脂形成的改性树脂。糠醇亦称呋喃甲醇，因此糠醛树脂及以糠醇改性的这一类含有呋喃环的树脂总称为呋喃树脂。

这类树脂的硬化机理皆在于树脂的结构为线型，分子链上的羟基、胺基上的氢原子或酚基上活泼的氢原子以及呋喃环上的不饱和键在固化剂的作用和加热的条件下会进一步产生缩

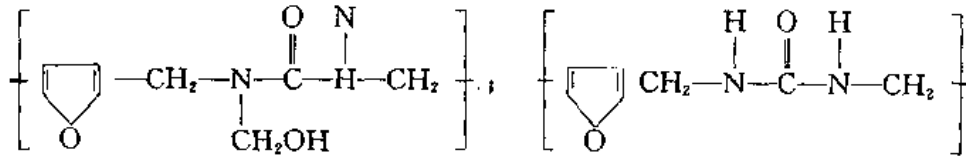
聚和加聚反应，最后交联成为体型结构而固化。

树脂的含氮量与尿素的含量比例有关。含氮物质易使铸件产生气孔，不同的铸造合金对氮的容许限度不同，因此含氮量不同的树脂其应用范围也有所差别。

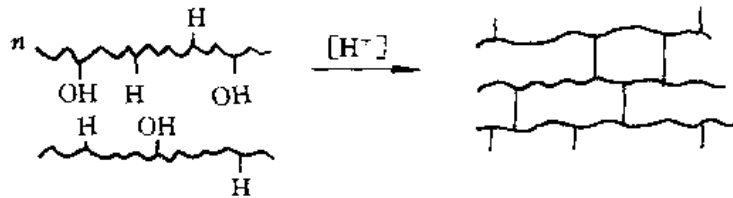
热芯盒法常用的树脂有：

1. 脲呋喃 (UF/FA) 树脂

脲呋喃树脂为淡黄色到深褐色的粘稠液体，其分子的基本结构链为：



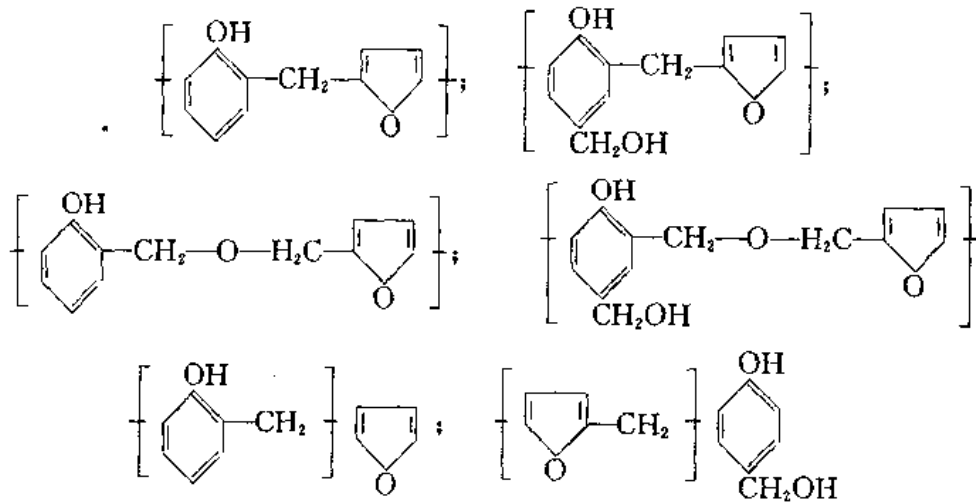
其固化反应是在加热和某些酸性催化剂作用下，分子间进一步发生失水缩聚和双键间聚合等交联反应，由分子量不很高的粘稠液体迅速变为巨大相对质量的体型结构。该反应可用以下示意式表示：



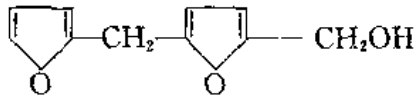
这类树脂的含氮量较高 (约为 5~11%)，主要用于有色合金铸件和简单的中小型灰口铸铁件、可锻铸铁件的砂芯。我国的呋喃-1 型树脂属于此类树脂。

2. 酚呋喃 (PF/FA) 树脂

是用糠醇改性的液态酚醛树脂，由苯酚、甲醛的糠醇三种单体缩合而成。其分子的基本结构链节如下：



醚键不稳定，最后结构中主要还是一-CH₂-桥键。另外，在合成中糠醇也可能主要与甲醛

反应形成糠醇-甲醛树脂 ，或只是糠醇单体，溶混在酚醛树脂

中。在呋喃树脂中，增加糠醇含量，可提高砂芯强度，减少脆性，改善硬透性，延长树脂储存期。

此类树脂不含氮，或含极少量的氮，主要用于铸钢和球墨铸铁件，硬透性较呋喃树脂稍差。我国的呋喃-I型热芯盒树脂属于这类树脂中的一种。

3. 脲-酚呋喃共聚物 (UF/PF/FA)

由糠醇、苯酚、尿素和甲醛缩聚而成。由于加入了脲醛，从而改善了酚呋喃树脂的硬化性能。此类树脂中氮的质量分数不大于8%，属中等含氮量树脂。含氮量在1.0%的，常用于铸铁、铸钢件砂芯；含氮高的这类树脂主要用于铸铁件或有色合金铸件。

(三) 冷芯盒法用树脂及其硬化机理

1. 自硬冷芯盒法的树脂粘结剂

自硬砂所用的树脂粘结剂和热芯盒所用的树脂粘结剂有一定的相似之处。它们都是以尿素、甲醛、苯酚、糠醇为原料，在一定的条件下经聚合、缩聚制成的合成树脂。根据树脂的含氮量，可分为高氮树脂、低氮树脂、无氮树脂等几种，其外观一般为棕褐色、棕红色或棕色粘性液体，粘度比热芯盒树脂低。

高氮自硬树脂是用糠醇、尿素、甲醛按一定比例，在一定的条件下经碱聚合、弱酸缩聚、脱水，控制粘度而制成的一种树脂。低氮自硬树脂组成基本上与高氮自硬树脂相同，但在树脂合成后还要加入一定量的糠醇作溶剂，一方面稀释树脂同时也相对降低了树脂中的含氮量。树脂经稀释后粘度降低，稳定性比较好，存放期可延长。无氮自硬树脂中不含尿素，系以糠醇、苯酚、甲醛为原料按一定配比和一定工艺经缩聚而成的树脂，树脂合成后也要加入一些单体糠醇进行稀释，使达到一定的粘度。液体酚醛则是用苯酚与甲醛在碱催化下合成的一种常温固化型酚醛树脂，使用时与单体糠醇合用，采用有机酸固化。

这些树脂大部分属于呋喃型树脂，但树脂中糠醇的含量比热芯盒用呋喃树脂高。在酸类固化剂的作用下，高糠醇含量的树脂线型分子上的活形基团和不饱和键能在常温下自行交联成为体型结构，使树脂固化，其硬化机制很复杂，现在还未完全弄清楚。

一些自硬砂用的树脂的种类名称、含氮量及使用范围见表3-18。现用的部分自硬砂用树脂技术性能见表3-19。

表3-18 自硬砂用树脂的含氮量和使用范围

类 别	型 号	含 氮 量 (%)	使 用 范 围
糠醇改性 尿醛树脂 (高氮树脂)	CHG-1	>8~13.5	有色合金铸件和简单的中小型灰口铸铁件，可锻铸铁件的砂芯
	7501		
	FFD131, 141		
	KJN-I	5~8	
	BZF-70		

续表

类别	型号	含氮量 (%)	使用范围
高糠醇改性 尿醛树脂 (低氮树脂)	CHG-I F701, 705 NQS-2 FFD-104, 121 SFAR70-2	<5	可锻铸铁件, 球墨铸 铁件砂芯
糠醇改性 酚醛树脂 液体酚醛树脂 酮醛树脂	CHG-N NQS-4 F700 FFD-102, 103 FFD-301, 405 KAS, SFAR90-0	<0.3	树脂价格较高, 主要 用于铸钢件砂芯, 也可 用于球墨铸铁件和高牌 号铸铁件砂芯

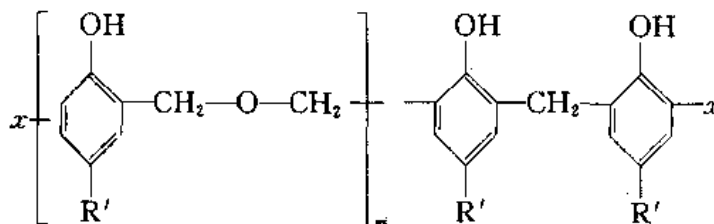
表 3-19 自硬砂用树脂的性能指标

项 目	类别	FFD131	F701	F700	301 FFD405	KAS SFAR90-0
	型号					
粘度 (mPa·s) ≤		1 000	200	100	150	40
密度 (g/cm ³)		1.2~1.3	1.15	1.18	—	1.12~1.20
游离甲醛 (%) ≤		1	1.5	1	1.5	1
pH 值		6.5~7.5	6.5~7.2	6~7	6~7	6~7
含氮量 (%) ≤		12	1.0	0	0	0
工艺试样干拉强度 (MPa) ≥		1.2	1.0	1.0	1.5	1.5~1.2
存放期 (月)		6	12	12	6	12

注: 混合料配制: 标准砂 1 000 g, 树脂 10 g, 70% 对甲苯磺酸水溶液 5 g, 砂+固化剂混合 1 min, 再加树脂混
合 1 min, 试样在 25℃ 左右, 相对湿度 60%~70% 条件下放置 24 h 后测定其强度。

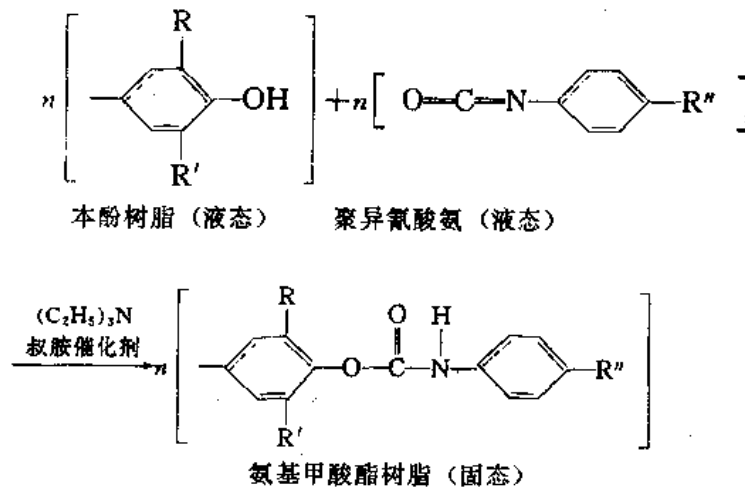
2. 气硬冷芯盒法的树脂粘结剂

(1) 三乙胺法冷芯盒用树脂粘结剂: 这种粘结剂有两种组分, 组分 I 是聚异氰酸酯, 主要有 4, 4'-二苯基甲烷二乙氰酸酯 (MDI), 多次甲基多苯基多异氰酸酯 (PAPI) 两类, 我国主要用 PAPI。组分 II 是聚苯醚酚醛树脂。其结构为:



式中 $m+n > 2$, $m/n < 1$, 即要求苯醚键应多于、至少等于亚甲基桥联结; x 为氢原子或羟甲基, x 与 H 的克分子比至少为 1; R' 是氢原子、烃基、醛基或卤素衍生的酚羟基。

粘结剂硬化的催化剂为液态叔胺，常用三乙胺。一般用干燥压缩空气、CO₂ 或 N₂ 作液态胺的载体气体。制芯时在填砂后向树脂中吹入催化剂气雾，便能在数秒至数十秒内硬化，其硬化反应如下：



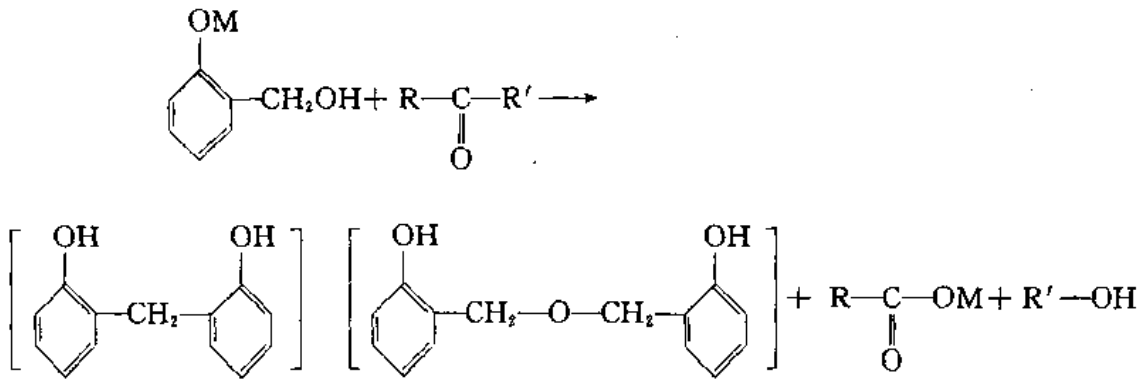
即在催化剂作用下，组分 I 中酚醛树脂的羟基与组分 II 中的异氰酸基反应形成固态的尿烷树脂。组分 I 中含有少于 1% (质量分数) 的水，组分 I 和催化剂中是无水的。尿烷反应也不产生水和其他副产物。组分 I 和组分 II 都用石油烃溶剂稀释以达到低粘度，这样可使它们具有良好的可泵性，而且容易以一层薄膜包覆砂粒。

(2) 呋喃树脂粘结剂：这是一种无氮至中氮的含水低的呋喃树脂，使用时砂中同时加入含过氧化物的活化剂与作为偶联剂的硅烷。其硬化原理是以 SO₂ 气体通过砂芯与过氧化物反应生成 SO₃，SO₃ 溶于粘结剂的水分之中生成硫酸，催化树脂迅速发生放热缩聚反应，导致砂芯瞬时硬化。含过氧化物的活化剂有无机和有机两大类。无机活化剂可采用双氧水 (含 H₂O₂ 50%)，加入量为树脂的 20~25%。使用这种活化剂，树脂砂的可使用时间为 3 h，过时则会由于过氧化氢的分解而失效。有机活化剂可采用过氧化丁酮 (MEKP)、过氧化叔丁基 (BHP) 等，加入量为树脂重量的 40~60%，芯砂可使用时间可达 8 h。

偶联剂硅烷的作用是在砂-树脂界面上形成柔性变性层，起到局部消除由于树脂膜收缩而引起的界面应力集中。硅烷的加入量占树脂重量的 0.4~1.0%。

(3) 环氧树脂：环氧树脂粘结剂由两种组分组成。组分 A 是改性环氧树脂和有机过氧化物 (通常是过氧化氢异丙苯) 的混合物。组分 B 是加有一些丙烯酸改性剂的环氧树脂，用来提高反应性和硬化速度。使用时粘结剂的加入量大约是 0.8~1.5% (质量分数)，组分 A 与组分 B 之比为 60/40。混砂操作通常将粘结剂的两组同时加入砂中。芯砂的可使用时间可达 5 d，芯盒不结垢，很适合大量生产。

(4) 酯硬化酚醛树脂 酚醛/酯冷芯盒法在 1984 年才开始用于铸造生产，由于有改善环境的特点，并且所生成的铸件质量高，因而很快得到一定应用。所用粘结剂由水溶性碱性甲阶酚醛树脂和易挥发成气雾的有机酯组成。酚醛树脂与原砂混合后即可造型，然后将已汽化的有机酯以气体形式通过芯砂使砂芯硬化。在酚醛/酯硬化系统中，有机酯是反应物而非催化剂，其作用是和酚醛树脂反应而使树脂分子间产生横向联结，常用的有机酯为甲酸甲酯，硬化反应式如下：



值得注意的是在制芯（或造型）阶段完成后，聚合树脂并没有实现完全的横向交联，因而与苯酚-脲醛或酸催化粘结剂比较，该系统芯砂抗拉强度较低，但尽管如此，仍能满足大多数应用。甲酸甲酯的最佳用量取决于树脂设计。如果考虑到旧砂回用，甲酸甲酯用量可为树脂量的 17%，而一般情况下则为 25~40%。

复习思考题

1. 试述粘土的粘结机理。
2. 对比分析普通粘土和膨润土的组成、性能特点和应用范围。
3. 钙膨润土为什么要进行活化处理？并简述其处理方法。
4. 试述硅溶胶、水玻璃、硅酸乙酯的硬化机理。
5. 硅酸乙酯为什么要进行水解？并简述其水解工艺。
6. 试述植物油类粘结剂的硬化机理。
7. 热芯盒法和冷芯盒法各用什么树脂粘结剂？

第四章 粘土型(芯)砂

砂型铸造在现代铸造生产中仍占有重要的地位,据统计,砂型铸件的重量约占铸件总重量的70~85%。砂型铸造的适应性广,几乎不受铸造合金的种类、铸件的尺寸及形状和生产批量的限制;可采用机械化、半自动化的生产方法,生产率高;工艺方法比较成熟,灵活性大;铸型原材料来源丰富,成本便宜。因此,在汽车、拖拉机和柴油机等各种大型机械制造厂都广泛采用。在航空工业中砂型铸造仍然是生产大型铝、镁合金铸件的重要方法。

§4-1 粘土型(芯)砂的性能及其影响因素

铸件质量与铸型质量密切相连,因此,正确拟定型砂配方,控制型砂性能,对提高铸件质量具有十分重要的意义。型砂应满足一定的工艺性能要求,否则将使铸件产生各种缺陷,同时也将影响劳动生产率的提高。

型砂应具有一定的强度,保证铸型在造型、搬运、合箱和浇注过程中不变形、不损坏;型砂应具有良好的透气性和低的发气性,在高温的液体金属作用下所产生的气体量少并能迅速逸出型外;型砂应具有良好的退让性,防止铸件在凝固、冷却过程中产生裂纹、变形等缺陷;型砂应具有良好的出砂性和复用性,便于铸件的落砂清理且经多次使用后仍保持型砂原来的性能。型砂应具备的性能很多,其中直接影响铸件质量的有:型砂的湿度、强度、透气性、发气性、耐火度、退让性和导热性等。影响铸件劳动生产率,同时也影响铸件质量的有:型砂的流动性、可塑性、吸湿性、不沾模性、出砂性及复用性等。

一般说来,对某种型砂不可能也不必要同时满足上述全部性能要求。而应根据铸件的技术条件要求和车间的生产条件,拟定合适的型砂配方。美国有关单位曾对37个铸造车间所使用的型砂性能进行调查,每个车间写五个最常测定的性能。结果得票最多的五个型砂性能及票数为:湿度(37票)、湿压强度(32票)、透气性(25票)、粘土含量(21票)、吸蓝量(17票)。其中有26个铸造车间将湿度列为第一项。

一、强度

型砂抵抗外力破坏的能力称为强度,型砂应具有一定的强度,以承受各种外力的作用。如果型砂强度不足,铸型在搬运、合箱和浇注过程中易损坏,使铸件产生砂眼、跑火、胀砂等缺陷。铸型的强度也不宜过高,否则透气性太低,铸件容易产生气孔等缺陷。

经常研究的型砂强度有:湿强度、干强度、高温强度、热湿拉强度、表面强度及硬度等。按作用力的性质可分为抗压、拉伸、抗弯和抗剪强度等,如图4-1所示。

(一) 湿强度

湿强度是型砂的重要性能之一,它不仅对湿型有意义而且对干型也具有重要意义。型砂的强度是由于粘结剂以薄膜的形式包覆在砂粒表面,通过薄膜将砂粒连结成整体而获得。型砂在外力作用下破坏的形式有:从粘土薄膜破坏,即内聚力破坏;从粘土膜与砂粒之间破坏,

即附着力破坏；内聚力与附着力二者兼有而破坏。因此，影响型砂强度的主要因素有粘土的种类及加入量、含水量、原砂的颗粒特性、型砂的紧实度和混砂工艺等。

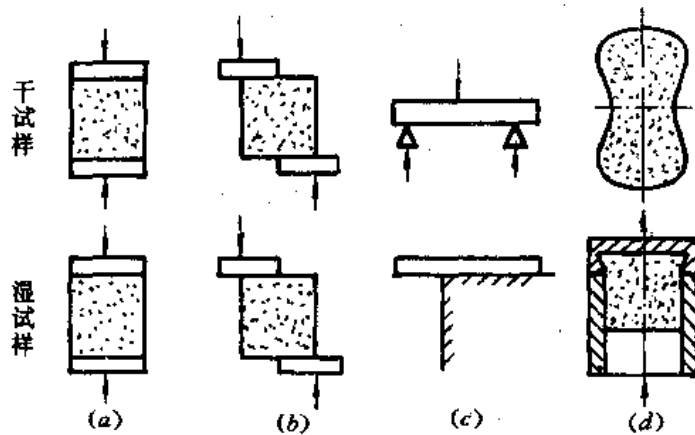


图 4-1 型砂强度试验方法

(a) 抗压 (b) 抗剪 (c) 抗弯 (d) 拉伸

(1) 粘土及水分：当型砂中水分含量适当时，随着粘土加入量的增加，型砂的湿强度不断提高，但到某一数值时，若继续增加粘土的加入量则湿强度增加很少，如图 4-2 所示。

由图 4-2 可知，粘土的种类对型砂湿强度有很大影响，当加入量相同时，膨润土砂的湿压强度比普通粘土高。但有时出现钙基膨润土砂的湿压强度比钠基膨润土砂高。这是由于钠基膨润土的吸水膨胀时间比钙基膨润土长，在普通的混砂条件下钠基膨润土的粘结作用没有充分发挥的缘故。若能使钠基膨润土充分吸水后再混砂，其湿压强度将比钙基膨润土砂高。

当粘土含量不变时，型砂的湿压强度随水分增加而提高，到达最大值后如继续增加水分，则湿强度又逐步降低。试验结果表明，为了提高型砂的湿压强度在增加粘土加入量的同时，必须相应增加含水量，保持水分与粘土成比例地增长。一般把水与粘土加水之比（水/（粘土+水））称为水土比。不同种类的粘土其水土比是不同的，同一种的粘土不管粘土的加入量多少，型砂湿压强度峰值时的水土比值是固定不变的。如图 4-3 所示。

由图 4-3 可知，无论该种粘土的加入量多少，其湿压强度峰值时的水土比均为 20%。据资料介绍，要在全部粘土颗粒表面形成一个完整的水分子层，其水土比为 7%，水土比 20% 就相当于三个左右的水分子层。也就是说，当粘土颗粒表面含有三个水分子层时，其内聚力和附着力最大，所以型砂的湿压强度最高。

应当指出，上述情况是在实验室条件下得到的，而实际生产用的型砂因含有死粘土及附加物，其水土比对湿压强度的影响将发生变化。

(2) 原砂颗粒特性：在粘土加入量足够和水分适当的条件下，原砂颗粒愈细，型砂质点间的接触面积愈大，型砂的湿压强度就愈高，如图 4-4 所示。砂粒的均匀率愈差，湿压强度愈高。多角形砂较难紧实，在一般的紧实条件下，其湿压强度比圆形砂低，若加大紧实力或增加紧实次数，则其湿压强度可能高于圆形砂。

(3) 型砂紧实度：在水土比不变的条件下，随着紧实度的提高，砂粒排列更紧密，型砂的湿压强度增大。但达到某一数值后，如继续增紧实力则湿压强度变化不大，却使型砂的透气性降低。

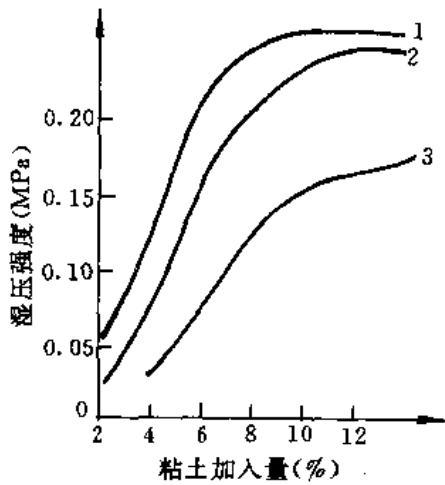


图4-2 粘土种类及加入量对型砂湿强度的影响

1—钙基膨润土 2—钠基膨润土
3—普通粘土

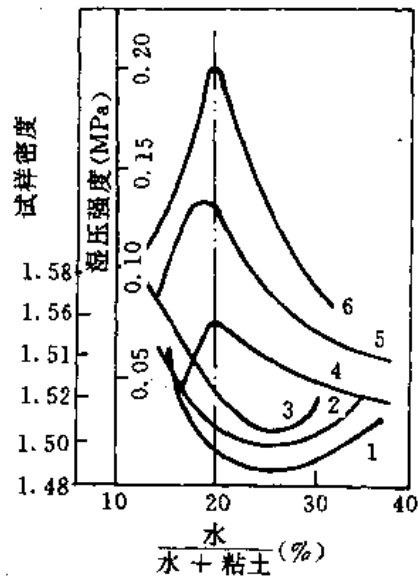


图4-3 水土比对型砂湿压强度及密度的影响

1, 4—膨润土 4% 2, 5—膨润土 6%
3, 6—膨润土 8%

(二) 干强度

型砂经烘干或硬化后的强度称为干强度。干强度对干型、干芯和表面干型在搬运、合箱和浇注过程中具有重要意义。

粘土型砂在烘干时，随着温度升高水分不断蒸发，砂粒之间的距离不断地减少，质点间的附着力不断增大，因而使型砂的干强度比湿强度大得多。影响型砂干强度的因素主要有：粘土加入量、含水量和烘干规范。在一定的范围内，增加水分有利于粘土均匀分布和膨胀，使干强度提高。因此，干型湿态的含水量应比湿型的含水量高。但水分增加到某一数值时，如继续增加干强度变化不大，却给混砂、造型带来不便。因此，水分不宜过高。

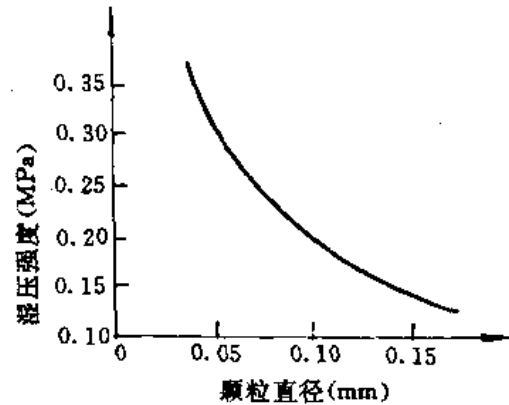


图4-4 砂粒大小对型砂湿压强度的影响

(三) 高温强度

型砂高温强度又称热强度，是指型砂在高温作用下的强度，它对铸件的形成及质量有很大的影响。如果型砂的热强度太低，浇注时铸型型壁容易发生移动，使铸件产生变形，铸件尺寸胀大等缺陷。如果型砂的热强度过大，阻碍铸件收缩，使铸件产生变形、裂纹等缺陷。

由图4-5可知，随着温度升高型砂的高温强度不断增加，当加热温度为950~1000℃时达到最大值。这是由于普通粘土矿物在该温度下分解出新相，质点变小，内聚力与附着力增大的缘故。若继续提高温度，出现液相会使粘土膜软化，导致型砂的高温强度迅速降低。

影响粘土型砂高温强度的主要因素有：粘土的种类及加入量、湿态含水量、附加物的性

质及加入量等。由于轻合金的浇注温度较低，液态金属对铸型的加热温度较低，所以普通粘土型砂一般能满足高温性能的要求。

(四) 表面强度

表面强度系指铸型或砂芯的表层强度。前面介绍的几种强度系指铸型或砂芯的整体强度，即整个断面的平均值。浇注时铸型和砂芯表面与液态金属的相互作用最剧烈，要求型腔和砂芯的表面强度高，防止因表面强度不足引起冲砂。提高铸型和砂芯的表面强度可从两方面入手：一是采用颗粒分散的原砂、增加粘土加入量、采用膨润土代替普通粘土等以提高型砂的整体强度；二是在铸型或砂芯的表面喷刷涂料。

测定型砂表面强度比较困难，故一般采用测定型砂表面硬度的办法来评定。型砂表面硬度用型砂硬度计测定。轻合金铸型表面硬度一般为 65~75，铸铁件用铸型表面硬度为 75~85。

(五) 热湿拉强度

型砂试样在高温急速加热时所形成的水分凝聚区的拉伸强度称为热湿拉强度。浇注时，型砂表面层因受热产生水分迁移形成水分凝聚区，该

区的水分强度高，如果其强度不能阻止型砂表面层膨胀拱起，将使铸件产生夹砂等缺陷。因此，型砂热湿拉强度是衡量型砂抗膨胀能力的重要性能指标。

热湿拉强度用型砂热湿拉强度试验仪测定。其原理如图 4-6 所示。试验时，用煤气火焰或碘钨灯将试样迅速加热到 300℃ 左右，促使水分凝聚区形成，然后开动仪器钩住试样筒盖向上拉，拉断后即可测出试样的热湿拉强度。影响热湿拉强度主要有粘土的种类及加入量，随粘土的加入量增加而提高；膨润土砂的热湿拉强度比普通粘土砂高；钠基膨润土砂比钙基膨润土砂高；活化的钙膨润土砂比未活化的钙膨润土砂高。目前我国常用几种膨润土型砂的热湿拉强度如表 4-1 所示。

表 4-1 我国常用的几种膨润土砂的热湿拉强度

膨润土名称	临安钠基膨润土砂	临安钙基膨润土砂	仇山钙基膨润土砂	黑山钙基膨润土砂	九台钙基膨润土砂	信阳钙基膨润土砂	宣化钙基膨润土砂
热湿拉强度 Pa	22	13	10	11.5	11	11	13

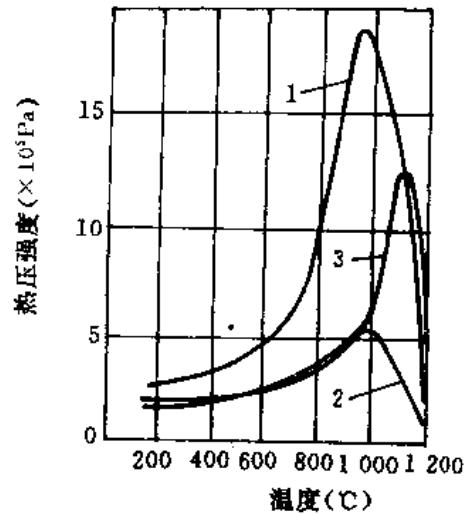


图 4-5 粘土型砂的热强度

- 1—钠基膨润土砂
- 2—钙基膨润土砂
- 3—普通粘土砂

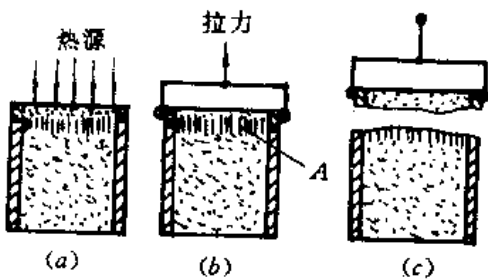


图 4-6 型砂热湿拉强度试验示意图

- (a) 加热 (b) 拉住试样
- (c) 拉断 (A) —水分凝聚区

二、透气性

(一) 影响型砂透气性的因素

型砂使气体逸出的能力称为透气性。它是型砂的重要性能指标之一。浇注时，型砂中的水分在高温作用下迅速汽化，型腔及砂粒孔隙中原有的空气受热膨胀，型砂中的有机物及碳酸盐受热燃烧或分解等产生了大量气体。这些气体除了部分从明冒口或通气孔排外型外，其余的气体都将通过型砂排出，如果型砂的透气性差，将使铸件产生气孔、浇不足等缺陷。影响型砂透气性的因素主要有以下几方面。

(1) 原砂的颗粒特性：原砂的颗粒大小、均匀率和颗粒形状对型砂透气性有较大的影响。砂粒的直径愈大，孔隙就愈大，气体通过的阻力减小，透气性就愈好，如图 4-7 所示。原砂的均匀率差，紧砂时颗粒小的砂粒嵌入大颗粒之间的孔隙中，型砂的透气性就差。有人采用两种原砂进行如下试验，一种原砂的颗粒直径为 0.1~0.2 mm，另一种为 0.3~0.6 mm。将这两种原砂按不同的比例分为六组，

如表 4-2 所示。每组都加入 8% 的膨润土，4% 水。混好砂后制成标准试样，分别测出试样的重量及透气性，结果如图 4-8 所示。

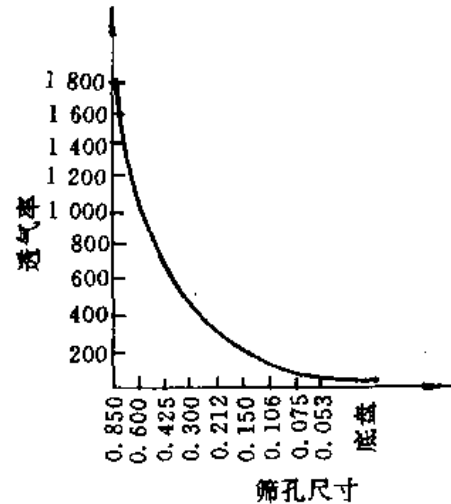


图 4-7 原砂颗粒大小对透气性的影响

表 4-2

组别	颗粒组成 (%)	
	$\phi_1 = 0.1 \sim 0.2$ (mm)	$\phi_2 = 0.3 \sim 0.6$ (mm)
1	0	100
2	20	80
3	40	60
4	60	40
5	80	20
6	100	0

由图 4-8 可知，当型砂体积重量保持不变时，颗粒大且为单一粒度的型砂，其透气性最高（曲线 1），颗粒小的其孔隙率小，透气性低（曲线 6）。如果将两种不同颗粒的原砂掺合，其透气性将比单一大颗粒的原砂低，颗粒小的原砂比例愈大型砂的透气性就愈低。

原砂的颗粒形状对型砂透气性的影响有两个相互矛盾的方面。一方面由于尖角形及多角形砂对空气的流动阻力比圆形砂大，不利于气体的通过；另一方面由于尖角形及多角形砂不易紧实，在一般的紧实条件下其紧实度较小，孔隙率较大有利于气体通过。根据多数的实验

结果证明后者是主要的因素，如图 4-9 所示。

(2) 水分：图 4-10 为水分对型砂透气性的影响。当粘土含量不变时，如果水分太少粘土不能被水充分润湿，就难以在砂粒表面形成一层均匀的粘土膜，松散的粘土质点就会聚集在砂粒的孔隙里，阻碍气体的通过，型砂透气性低。当透气性达到峰值后，如继续增加水分，多余的自由水将破坏粘土膜结构并堵塞砂粒的孔隙，透气性降低。

由图 4-11 可知，型砂透气性峰值时的含水量比湿压强度峰值时的含水量多。这是由于随着水分的增加，粘土的粘结力不断提高，湿压强度趋向于最大值。当水分继续增加时，粘土的粘结力阻碍砂粒的滑移，阻力增大试样不易紧实，砂粒间的接触面积减少孔隙率增加，故使型砂的湿压强度有所下降，而透气性升高达到最大值。

(3) 粘土：一般说来，型砂透气性随粘土加入量增加而降低。但粘土对透气性的影响与水分含量紧密联系。从图 4-10 可知，不同粘土含量的型砂其透气性峰值时的含水量是不同的。随着粘土含量增加，其透气性峰值不断降低。

(4) 附加物、混砂工艺及紧实度：型砂里加入煤粉、氧化铁或烷基磺酸钠等附加物时，都将使型砂透气性下降。为了在每颗砂粒表面上均匀覆盖一层粘土膜，型砂应很好地混合搓碾，如果混砂时间太短，型砂就混合不均匀，透气性就差。随着型砂紧实度增大，砂粒排列就愈紧密，孔隙率就愈少，型砂透气性就愈低。

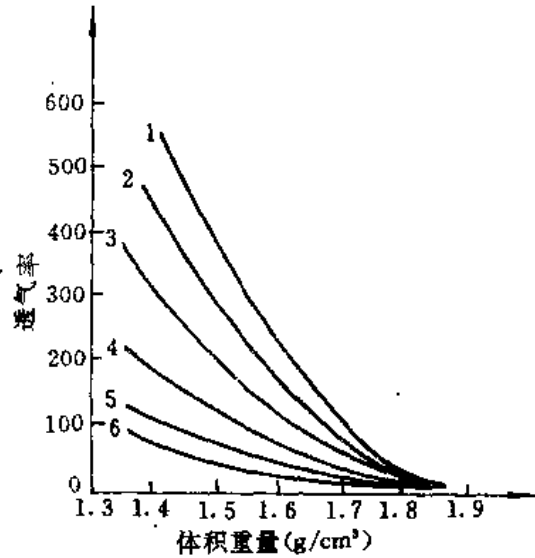


图 4-8 原砂颗粒组成对型砂透气性及体积重量的影响
曲线 1~6—组别

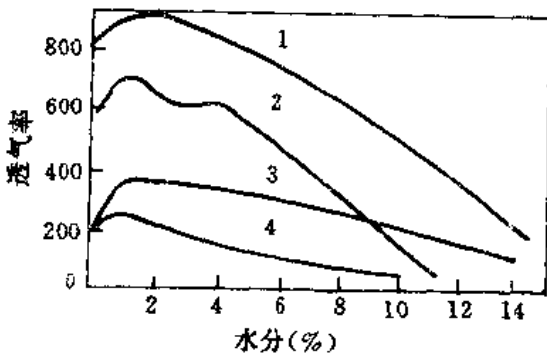


图 4-9 原砂颗粒形状与型砂透气率的关系
1—尖角形粗砂 2—圆形粗砂
3—尖角形细砂 4—圆形细砂

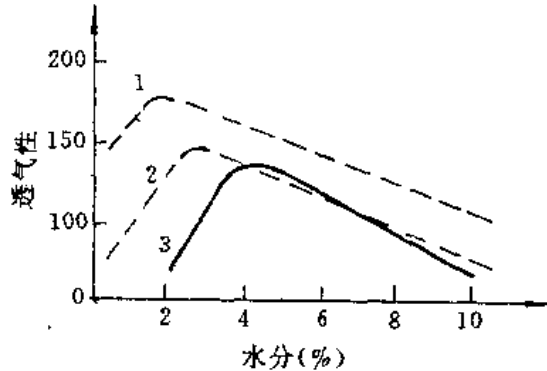


图 4-10 型砂透气率与水分及粘土的关系
1—膨润土 2% 2—膨润土 6%
3—膨润土 10%

(二) 透气性的测定原理

通过型砂试样的气体量 Q 可用下式表示：

$$Q = \frac{K P F t}{H}$$

则

$$K = \frac{QH}{PFt} \quad (4-1)$$

式中： P ——气体通过型砂试样前后的压力差(g/cm^2)；

t ——气体通过型砂试样的时间(min)；

F ——型砂试样断面积(cm^2)；

H ——型砂试样高度(cm)；

K ——系数，即型砂透气率。

K 值愈大表示型砂的透气性愈好，其单位为 $cm^4/(g \cdot min)$ ，但一般不写，把透气性当作无因次值。透气率的测定方法有标准法和快速法两种。

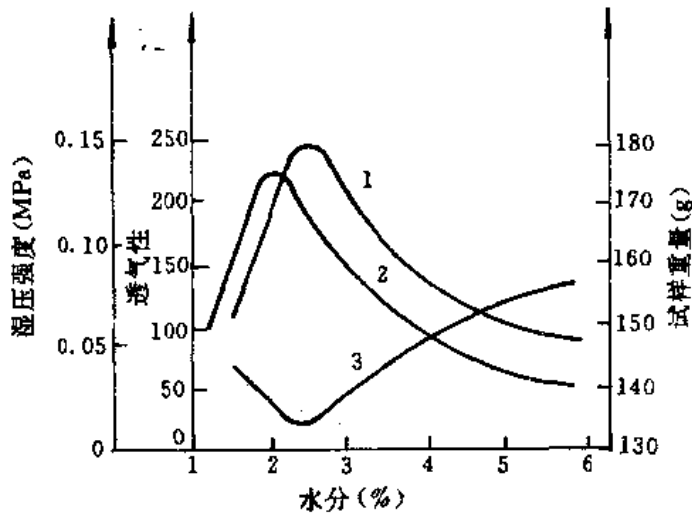


图 4-11 水分对湿压强度、透气率及试样重量的影响

1—湿透气性 2—湿压强度 3—试样重量

(1) 标准法：这种方法是在型砂透气性测定仪上测定。仪器的结构原理如图 4-12 所示。水筒 2 内盛有水，钟罩中间有通气管 9 与 10，提升钟罩时空气经三通阀进入钟罩内，然后关闭三通阀放下钟罩，将制好的试样连试样筒倒扣在橡皮座 7 上，旋转三通阀使钟罩内的空气通过试样逸出。试样的阻力大小由压力计 6 测出，空气逸出的时间由秒表读出。试样的直径、高度及钟罩内的空气量均已知，将测出的压力 P 及时间 t 代入式 (4-1)，就可求出透气性 K 值。这种测定方法较准确，但较麻烦，故很少采用。

(2) 快速法：这种方法与标准法主要不同之处是在通气管出口端部加一个通气嘴。其直径有两种，大孔为 $\phi 1.5 \pm 0.03$ mm，小孔为 $\phi 0.5 \pm 0.03$ mm，这样就可根据压力表中水柱高度直接读出透气率 K 值。（考虑到目前国内所使用的透气率测定仪主要是以 gf/cm^2 为单位，为了便于查用故仍以 gf/cm^2 为单位），式 (4-1) 可写为：

$$K = \frac{H}{PF} \cdot \frac{Q}{t}$$

Q/t 为单位时间流经通气嘴的气体量，可用下式表示：

$$\frac{Q}{t} = C f_0 \sqrt{P_2 - P}$$

则
$$K = \frac{H}{PF} C f_0 \sqrt{P_z - P} \quad (4-2)$$

式中：C —— 流量系数；

f_0 —— 通气嘴断面面积(cm^2)；

P_z —— 钟罩内的气体压力(gf/cm^2)；

P —— 气体通过试样前的压力(gf/cm^2)。

因 Q, P_z, F, H, f_0 均已知, C 也可求出, 然后代入式(4-2) 可得：

对 $f_0 = 1.5 \text{ mm}$ 的,
$$K_{1.5} = \frac{322.8 \sqrt{10 - P}}{P} \quad (4-3)$$

对 $f_0 = 0.5 \text{ mm}$ 的,
$$K_{0.5} = \frac{35.8 \sqrt{10 - P}}{P} \quad (4-4)$$

将测出的 P 值代入式(4-3) 或式(4-4) 便可求成型砂试样的透气性。为了使用方便将 P 与 K 的关系列成表格, 测定时可方便查出 K 值。这种方法使用方便, 目前国内广泛采用。

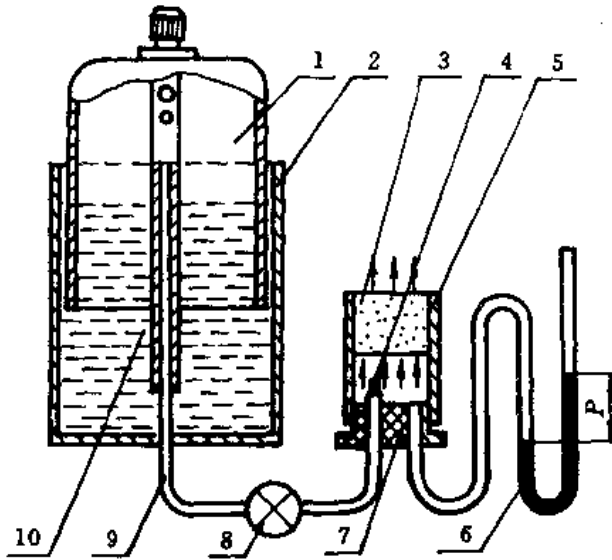


图 4-12 透气性测定仪的工作原理

- 1—钟罩 2—水筒 3—试样 4—通气嘴 5—试样筒;
6—压力计 7—橡皮座 8—三通阀 9、10—通气管

三、可塑性与韧性

可塑性是指型砂在外力作用下变形, 外力去除后仍保持所赋予形状的能力。可塑性好的型砂, 造型起模修型方便, 铸件表面质量较高。

型砂可塑性的获得是由于粘土被水润湿后, 在砂粒表面形成一层薄膜, 外力作用时砂粒沿着薄膜产生滑移的结果。型砂中粘土含量愈多, 砂粒愈细可塑性就愈好。一般说来, 凡是增加型砂湿强度的因素, 均可使可塑性提高。

型砂可塑性用型砂极限应变值来衡量, 常用标准圆柱形试样在测定湿压强度的同时用千分表测出试样破坏前高度的减小量。这个量称为变形量, 并按下式求成型砂的应变值 ϵ ：

$$\epsilon = \sigma_s \Delta H \times 1000$$

式中： σ_s ——型砂标准试样的湿压强度($\times 10^4$ Pa)；

ΔH ——型砂标准试样破坏前的变形量(cm)。

韧性是指型砂抵抗外力破坏的性能。它是材料强度与变形量的总合。韧性差的型砂起模时铸型容易损坏。增加粘土加入量和相应地增加含水量可明显地提高型砂的韧性。增加型砂中失效粘土和粉尘的含量，将使型砂的变形量显著减小，韧性变差，起模困难。

目前常用测定型砂的破碎指数来间接反映型砂的韧性。破碎指数可用落球法或跌碎法测定。这两种方法都是将湿态试样破碎落在网里，用留在网里的型砂重量占整个试样重量的百分数表示。型砂破碎指数愈大，表示韧性愈好。

四、流动性

型砂在外力和本身重力的作用下，颗粒质点互相移动的能力称为流动性。型砂流动性好易于紧实，铸型尺寸准确，表面光洁，造型效率高，易于实现造型、制芯机械化。随着气冲紧砂方法的应用，型砂流动性越来越受到重视。

型砂流动性主要取决于原砂颗粒特性、粘结剂的种类及加入量、含水量及混砂质量等。采用颗粒大且均匀，形状为圆形的原砂配制成的型砂，其流动性高。当水土比不变时，随着粘土含量增加型砂流动性降低。当粘土含量不变时，增加水土比可使粘土充分吸水膨胀，砂粒之间的结合力增大，型砂流动性降低。当水土比增加到一定值时，如继续增加则流动性变化甚小，如图4-13所示。

目前对型砂流动性测定的看法尚未统一，有两种观点：一种认为使用流动性这个名词不妥，型砂在紧实力作用下是移动而不是流动，应称为移动性妥些。另一种认为采用流动性表示是可以的。鉴于看法不同，因此，测定方法很多，主要有以下几种。

(1) 高度差法：采用在型砂冲样器冲制圆柱形标准试样时，第五次与第三次冲击时试样高度减小的百分数表示。

(2) 硬度比值法：采用圆柱形标准试样底面硬度与顶部硬度的比值百分数表示。

(3) 底孔重量法：采用紧砂时型砂从圆柱形试样筒底孔($\phi 25$ mm)流出型砂重量百分数表示。

(4) 侧孔重量法：采用紧砂时型砂从圆柱形试样筒侧孔($\phi 12$ mm)流出型砂重量百分数表示。

(5) 环形空腔法：采用圆柱形标准试样在环形空腔砂样筒中高度减小的百分数表示。

(6) 三角槽法：采用型砂充填圆柱形标准试样筒底部三角槽的能力表示。型砂充填三角沟槽的角度愈小，表示流动性愈好。

(7) 测定型砂的紧实率或过筛性。

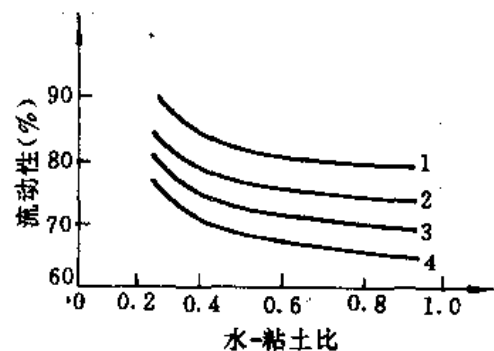


图4-13 水土比对型砂流动性(高度差法)的影响

1—膨润土4% 2—膨润土6%
3—膨润土8% 4—膨润土10%

五、发气性

型(芯)砂在高温作用下产生气体的能力称为发气性,一般用发气量来衡量。发气量可用总发气量和比发气量两种方法表示。总发气量指每克型砂所产生的气体总量,单位为 cm^3/g 。比发气量指每克型(芯)砂盘内每1%的发气物质所产生的气体量,单位为 $\text{cm}^3/(\text{g}\cdot 1\%)$ 。

对型(芯)砂的发气性不仅应注意其发气量,而且还必须注意其发气速度,因为气体侵入液体金属中的最危险阶段是液体金属在凝固时尚未形成一层金属硬壳之前。如果某一型(芯)砂的总发气量虽不大,但其发气速度却很快,在浇注后的一瞬间分解出全部气体,使金属与铸型界面处的气体压力突然升高,而这时金属液表面尚未凝固成具有足够强度的硬壳层,气体就会侵入金属液中,使铸件产生气孔等缺陷。型(芯)的发气量在一般情况下是不测定的,但在研究新的粘结剂及附加物或配新型砂时,却是一项必须测定的性能,以防止铸件产生气孔等缺陷。

型砂的发气量主要取决于型砂粘结剂的种类及数量、含水量和金属浇注温度。一般说来,粘土型砂的发气量是有限的,但如果加入有机粘结剂,则发气量剧增,如图4-14所示。

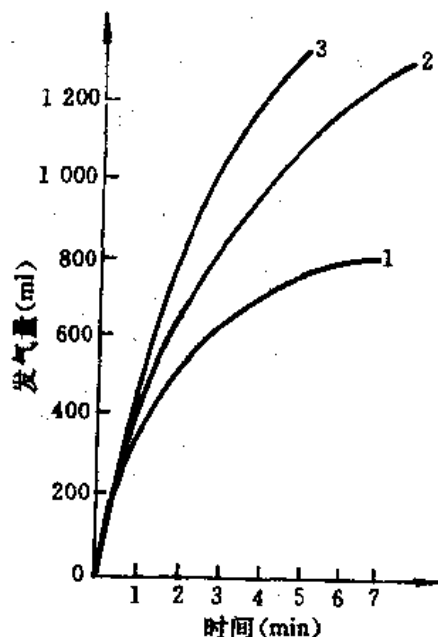


图4-14 有机粘结剂对型砂发气量的影响

- 1—膨润土 4%, 水 4%
- 2—膨润土 4%, 水 4%, 有机粘结剂 1%
- 3—膨润土 4%, 水 4%, 有机粘结剂 2%

六、不沾模性

型砂不沾附模样及芯盒表面的性能称为不沾模性。沾模性强的型砂,造型制芯不方便,生产率低,铸件表面质量差。一般说来,型砂含水量愈高,型砂与模样及芯盒的温度差愈大,则沾模就愈严重。采用纸浆废液和糊精作为粘结剂的型(芯)砂,沾模性严重,水玻璃砂的沾模性次之,油砂的沾模性很小。

七、其它性能

(1) 耐火度:型砂抵抗高温热作用的性能称为耐火度,一般用型砂的烧结点来反映。用耐火度差的型砂浇注铸钢件和铸铁件,容易产生粘砂等缺陷。影响型砂耐火度的主要因素是原砂的矿物组成、颗粒特性和粘土的种类及加入量等。原砂的石英含量愈高,颗粒愈粗,粘土加入量愈少,型砂的耐火度愈好。

(2) 退让性:型砂在金属凝固、冷却过程中,能相应地变形、退让而不阻碍铸件收缩的性能称为退让性。在浇注钢铸件和镁合金铸件时,要求型砂具有良好的退让性,否则铸件容易产生内应力、变形或裂纹等缺陷。退让性主要取决于型砂的高温强度,高温强度愈大退让性愈差。在各种粘土型砂中,钠基膨润土砂的退让性最差。为了提高型砂退让性,可加入木屑等附加物。

(3) 复用性：型砂复用性又称耐用性。它指型砂经多次使用仍保持原来性能的能力。复用性好的型砂在反复使用过程中需补充的新砂及粘土量少，原材料的消耗少，型砂处理的工作量也少，铸件的成本降低。由于砂粒在加热冷却过程中因体积膨胀收缩而破碎，粘土因失去结构水而变成死粘土的结果，都将使型砂的复用性变坏。就复用性而言，采用石英-长石砂比石英砂好，颗粒分散的原砂比颗粒均匀的好；采用普通粘土砂比钠基膨润土砂好，而钠基膨润土又比钙基膨润土砂好。

八、粘土型砂最适宜的水分范围

(一) 水分的作用及检测方法

型砂中所含水分重量的百分数称为型砂的湿度。为了使型砂具有良好的工艺性能，必须加入一定量的水分。它对型砂的强度、透气性、发气性、流动性、韧性、可塑性、导热性和不沾模性均有很大的影响，是控制型砂质量的重要性能指标。

如果型砂的水分太少，型砂的韧性差，表面强度低易破碎，铸件容易产生砂眼、冲砂等缺陷。如果型砂的水分太多，则容易沾粘砂斗、模样及芯盒，影响铸件表面质量，降低造型制芯的劳动生产率；型砂的流动性差，铸型易变形甚至塌箱；型砂的发气量增加，铸件容易产生气孔等缺陷；浇注镁合金铸件时容易产生氧化燃烧甚至爆炸。因此，型砂的含水量必须严格控制。检测型砂湿度的方法有以下几种：

(1) 手捏砂团法：根据手捏型砂成团和沾手的情况来判断型砂的湿度。这种方法没有统一标准，因人而异受主观因素影响大。

(2) 烘干法：称取一定重量的型砂烘干，求出烘干前后重量减小的百分数。这种方法较准确，但时间长，速度较慢。

(3) 测紧实率：型砂被紧实前后体积变化率称为紧实率。测定时将型砂通过筛子松散地填入试样筒里，刮去试样筒上端多余的型砂，用冲样器冲击三次，然后测量试样体积被压缩的程度。其测定原理是，含水分少的型砂自由填入试样筒时，颗粒排列比较紧密，即松散时的密度较大，在相同的冲击力作用下型砂的体积变化较小。含水量多的型砂松散时的密度较小，在相同的冲击力作用下型砂的体积变化较大。因此，根据紧实率大小就可以判断型砂湿度多少。

实践表明，紧实率对湿度的反映是很敏感的，只要水分有少量变动，紧实率就会明显地反映出来，目前国内外广泛采用紧实率作为控制型砂性能的一种重要的检测方法。

不同的造型方法对紧实率的要求是不同的，手工造型型砂紧实率一般为 50~60%；普通机器造型为 45~50%；高压和空气冲击造型为 40~45%；挤压造型为 35~40%。

(4) 过筛性：型砂通过专用圆筒滚动筛的能力称为过筛性，并用通过筛孔的型砂重量占原重量的百分数表示。实践结果表明，过筛性对型砂湿度反映很敏感，只要水分稍微变动，过筛性就有明显的变化，如图 4-15 所示。根据测定，过筛性为 70~80% 时相当于最适宜水分范围，过筛性小于 60% 水分就偏高，过筛性大于 90%，水分就偏低。

(二) 最适宜的水分范围

水分对型砂诸性能都有影响，要想加入某一数量的水分使型砂诸性能都达到峰值指标是不可能的。应在保证重点兼顾其他的原则下综合考虑，找出最适宜的水分范围。一般将使型砂诸性能均能达到技术条件要求的水分范围称为最适宜水分范围。通常是经实验和综合分析

确定。

图 4-16 为水分对某单一型砂性能的影响。由图可知，在一定范围内型砂韧性随水分增加而提高，型砂的紧实度、过筛性和流动性随水分增加而降低。水分很少时型砂的流动性好，但韧性很差，透气性及强度也低；水分很高时型砂的韧性好但透气性等低。含水量在这两种极端情况下，型砂的主要性能强度及透气都低。若采用型砂湿压强度峰值时的含水量作为最适宜水分也不合适，因为这时的透气性和韧性都低。如采用透气性峰值时的含水量作为最适宜水分，虽然这时的湿压强度不是峰值，但接近峰值强度，而且型砂的破碎指数、过筛性和紧实率都较合适。因此，把透气性峰值时的含水量作为最适宜水分范围。它相当于紧实率为 50%，过筛性为 75%时的含水量。

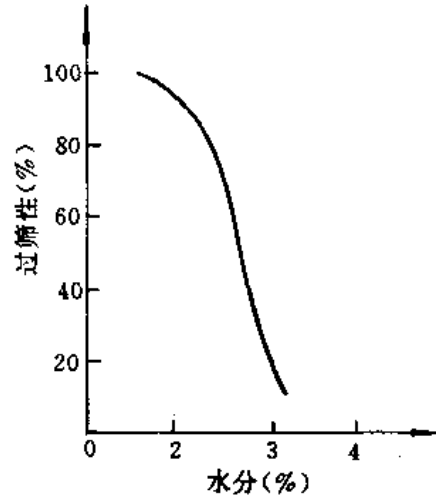


图 4-15 过筛性与水分的关系

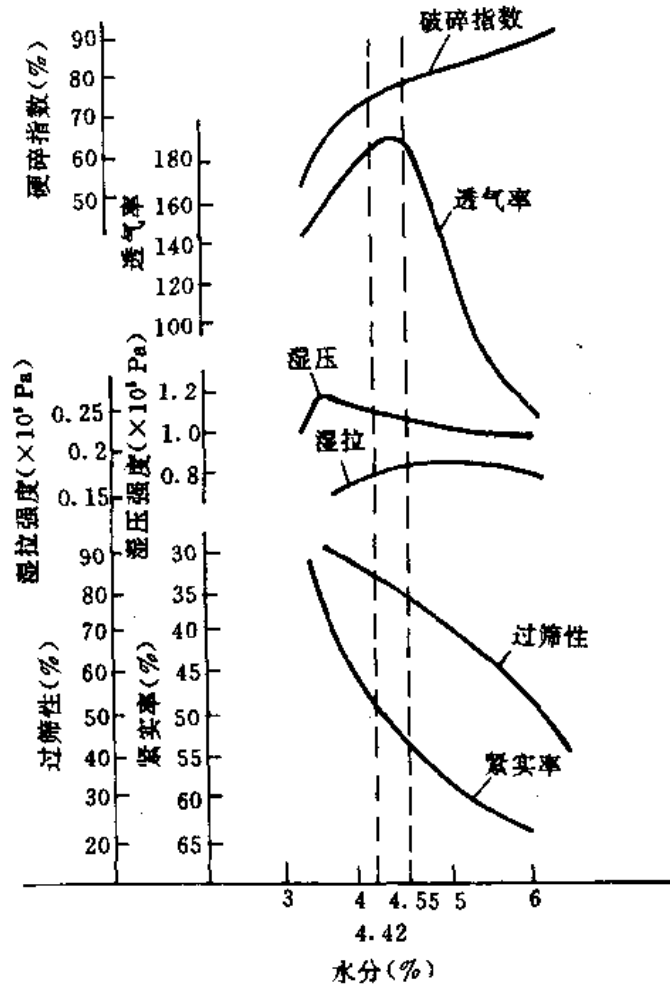


图 4-16 水分对某单一砂诸性能的影响

不同的型砂成分和造型方法其最适宜水分是不同的。手工造型要求型砂具有良好的韧性及可塑性，以利于起模和修型。因此，铸铁件湿型砂的最适宜水分控制在 4.5~6.5%；轻合金铸件湿型砂的适宜水分控制在 4.5~5.5%；高压造型用型砂的适宜水分为 3.2~4.2%。

有人通过实验统计分析，对膨润土砂的最适宜水分范围提出下列的计算公式：

$$W = KW_1$$

式中：W —— 型砂最适宜水分范围(%)；

W_1 —— 型砂湿压强度峰值时的含水量(%)；

K —— 系数，高压造型取 1.1~1.2；低压造型取 1.2~1.3。

§ 4-2 粘土型砂的分类及应用

一、粘土型砂的分类

根据型砂制备工艺的特点可分为天然砂和合成砂。天然砂只要加入适量的水分经混合均匀即可使用。天然砂含有数量较多的粘土，颗粒一般较细，型砂可塑性及韧性较好，造型时铸型表面不易风干，修型方便。但天然砂的性能一般较难满足铸造工艺的要求。应用较多的天然砂如江苏六合红砂、唐山红砂等。合成砂是由人工根据不同铸件的工艺要求配制成的。合成砂的粘土含量较少，透气性等较好，型砂性能可根据技术条件要求进行调整，型砂的质量比较稳定。因此，生产中广泛地采用。

根据型砂在浇注前的干燥状况可分为干型、湿型和表面干型用型砂。干型指在合箱浇注之前除去型砂中的部分水分，使粘结剂硬化；表面干型指只将铸型型腔表面层烘干，除去其中部分水分并使粘结剂硬化后再合箱浇注。

湿型的退让性比干型好，节省烘干设备及燃料，生产周期短，劳动条件较干型好，砂箱使用寿命较长，生产过程易于机械化与半自动化，铸件成本较低，因此广泛采用。但湿型的含水量高，湿强度及透气性低，铸件容易产生气孔、砂眼等缺陷。随着科学技术和生产的发展，湿型的质量不断提高，应用范围日益扩大。

干型具有良好的强度及透气性，发气量少，铸件产生气孔、砂眼、夹砂等缺陷较少。但干型需要烘干设备，增加能源消耗，延长生产周期，恶化车间劳动条件，缩短砂箱寿命，提高铸件成本，因此，应尽量少用或不用。干型主要用于单件或小批生产大型黑色金属铸件。表面干型具有湿型和干型的许多优点，主要用于生产大中型各种金属铸件。

根据型砂使用特点可分为面砂、背砂和单一砂。面砂指覆盖在模样表面上构成型腔表层的型砂，其厚度一般为 20~60 mm。背砂指除面砂以外的那一部分型砂，单一砂不分面砂与背砂，整个铸型都采用一种型砂。

面砂与高温液态金属直接接触，与液态金属发生剧烈热的、机械的和物理化学作用，因此面砂应具有良好的强度、韧性、流动性、抗粘砂性和抗夹砂性以及热化学稳定性等。面砂一般都全部或加入较多的新砂、粘土和附加物，而且经过较长时间混制，并测试有关性能。

背砂主要起填充和加固作用，背砂的强度和抗粘砂及抗夹砂性能可低些，但透气性应比面砂好以利于气体的排出。背砂一般由回用砂加入适量水分，必要时再补加少量粘土，经较短的时间混制成的。采用面砂和背砂有利于保证铸件质量，减少原材料的消耗，提高混砂效

率，降低铸件成本，因此，在手工造型车间广泛应用。

在机械化生产的铸造车间，如采用面砂和背砂将使供砂系统复杂化，降低造型效率，因此，普遍采用单一砂以提高机器造型效率，但却使型砂原材料的消耗量增加，型砂的制备工作量增大。

根据铸件合金种类的不同，可分为铸钢、铸铁、铸铜和铝、镁合金铸件用型砂。不同的铸造合金其浇注温度和铸造性能是不同的，所用的型砂成分及性能也往往是不同的。

二、铝、镁合金铸件用湿型砂

(一) 铝、镁合金铸件用湿型砂的特点

铝、镁合金的浇注温度较低，热容量较小，金属与铸型相互的热作用较不剧烈，铸件产生粘砂、夹砂方面的缺陷较少。但由于镁合金的化学性能很活泼，液态镁合金与水、空气中的氧以及造型材料中的 SiO_2 均会发生剧烈反应，产生大量热量，使铸件氧化燃烧，有时甚至发生爆炸。为此，必须在型砂里加入防燃的附加物。

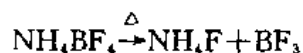
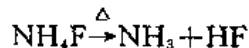
铝、镁合金铸件用湿型砂的含水量一般控制在 4.5~5.5%，透气性一般为 40~60，湿压强度一般为 30~50 kPa，型砂表面硬度一般为 65~75。为了获得表面光洁、轮廓清晰、尺寸精确的铸件，一般采用颗粒较细的原砂（如粒度组别为 10 或 15），经常应用的有江苏六合红砂和河北唐山红砂等。有的工厂在红砂里加入一定量的石英砂混合使用。

(二) 防燃剂的作用原理及应用

为了防止镁合金在浇注、凝固过程中产生氧化燃烧而加入的保护性附加材料称为防燃剂，目前应用较多的有氟化物和烷基磺酸钠两种。

(1) 氟化物防燃剂：氟化物的主要成分为酸性氟化铵 (NH_4HF)、中性氟化铵 (NH_4F) 和氟硼酸铵 (NH_4BF_4) 的混合物。在液态金属的热作用下，氟化物发生分解，其分解产物隔绝了镁与空气、水蒸气及铸型的接触，达到防燃的目的。其防燃作用由三方面组成：

气相保护 氟化物在液态金属的热作用下，发生下列反应：



分解出来的氟化氢 (HF)、氟化硼 (BF_3) 和氟化硅 (SiF_4) 等气体均不与空气和水蒸气发生反应，形成一层气相保持层隔绝了镁与空气等的接触。

致密膜保护 金属表面所形成的氧化膜的致密程度对防止金属的氧化燃烧具有重要作用。金属表面氧化物的致密度愈高其保护性能愈好。金属氧化物的致密度可用氧化物的体积与生成这些氧化物所消耗的金属体积之比来表示。

设金属 (M) 与氧 (O) 发生反应：



若金属的密度 γ_M ，原子量为 m ，被氧化的金属重量为 W ，氧化物的密度为 γ_o ，所生成的氧化物重量为 G_o ，则：

$$G_o = W \frac{am + 16b}{am}$$

$$V_0 = \frac{am + 16b}{am} \times \frac{W}{\gamma_0}$$

金属氧化物的体积 V_0 与所消耗的金属体积 V_M 之比 α 为:

$$\alpha = \frac{\frac{am + 16b}{am} \times \frac{W}{\gamma_0}}{\frac{W}{\gamma_M}} = \frac{\gamma_M}{\gamma_0} \left(\frac{am + 16b}{am} \right)$$

α 称为金属氧化物的致密系数, 如 $\alpha > 1$ 表示该氧化物是致密的, 能防止金属继续氧化。如 $\alpha < 1$ 表示该氧化物是疏松多孔的, 不能防止金属继续氧化。表 4-3 为常见几种金属的致密系数, 表 4-4 为镁合金在浇注时可能发生的化学反应及其所形成的 α 值。

由表 4-3 和表 4-4 可知, 铝在常温下的致密系数为 1.27, 具有保护作用, 镁为 0.78 不能起保护作用。氟化镁 (MgF_2) 的致密系数为 1.32 具有良好的保护作用, 当含有硼酐 (B_2O_3) 时致密系数达 3.1, 比其他任何氧化物都大, 保护作用最强。

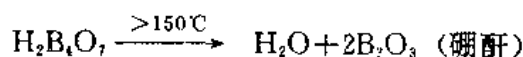
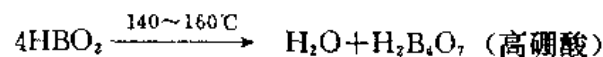
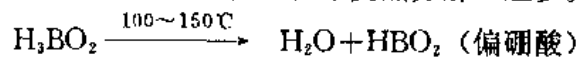
表 4-3 常见几种金属的 α 值

数值项目 \ 金属	Cu	Fe	Ni	Mg	Al	Zn	Pb	Sn	Ca	Na	K	Be	Si
γ_M (g/cm ³ , 常温)	8.92	7.86	8.90	1.74	2.70	7.14	11.34	7.31	1.55	0.97	0.86	1.82	2.33
γ_0 (g/cm ³ , 常温)	6.40	5.12	7.45	3.69	4.00	5.47	9.53	7.00	3.32	2.27	2.32	3.02	2.65
α	1.74	2.18	1.50	0.78	1.27	1.64	1.27	1.33	0.65	0.58	0.45	1.68	1.88

表 4-4 镁合金浇注时可能发生的化学反应及其 α 值

化 学 反 应	致密系数 α
$2Mg + O_2 = 2MgO$	0.71
$3Mg + N_2 = Mg_3N_2$	0.79
$3Mg + SO_2 = MgS + 2MgO$	0.97
$Mg + S = MgS$	1.26
$3Mg + 2BF_3 = 3MgF_2 + 2B$	1.32
$3MgO + 2BF_3 = 3MgF_2 + B_2O_3$	3.1
$3Mg + 2B = Mg_3B_2$	>1

釉质膜保护 氟化物中的硼酸在浇注过程中受热分解, 经多次脱水最后变为硼酐:



硼酐在高温下能形成一系列的化合物: $3MgO \cdot B_2O_3$; $2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$; $MgO \cdot B_2O_3 \cdot 3H_2O$ 等。这些化合物将与铸型材料发生反应, 在铸型与金属表面上形成一层釉质膜, 具有一定的保护作用。

氟化物阻燃剂具有下列特点：

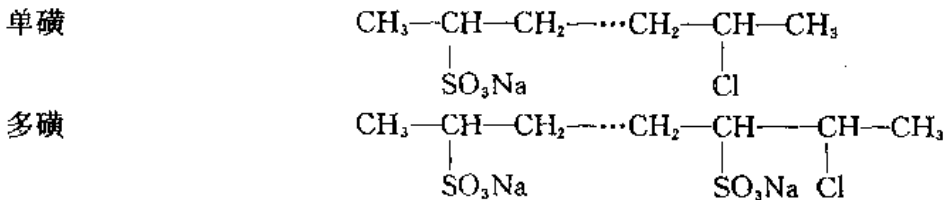
这种阻燃剂的保护作用是由氟化氢等气体构成的气相保护层和由氟化镁等构成的致密膜以及硼酐与氧化镁形成的油质膜所组成的，保护作用强，阻燃效果好。

在氟化物阻燃剂中因有硼酸存在，使其保护作用大增。因此，硼酸是阻燃剂很重要的组成部分，实践结果表明，阻燃剂中若无硼酸存在，其保护作用将明显减弱。

氟化物阻燃剂在高温下所分解出来的 HF、BF₃ 和 SiF₄ 均为有害气体，毒性较大，如果人体长期吸入将会患喉炎、气管炎和尿氟病等，严重影响人体健康。同时厂房及设备遭受腐蚀，环境卫生受污染，因此，应尽量少用或不用。

(2) 烷基磺酸钠阻燃剂：鉴于氟化物阻燃剂的毒性较大，为此原航空工业部于 70 年代组织有关院校、工厂及研究所开展氟化物阻燃剂代用品的研究，经多年努力终于寻到烷基磺酸钠阻燃剂。

烷基磺酸钠又名石油磺酸钠，它是由 14 至 18 个碳原子的疏水烷基与亲水的磺酸基 (-SO₃Na) 组成的。分子式为 R-SO₃Na。烷基磺酸钠分子中所含的磺酸基数目有含一个的单磺和含两个以上的多磺两种，同时还有些键上氯，其结构如下：



烷基磺酸钠的阻燃作用也是由气相、致密膜和油质膜保护所组成的。

气相保护 烷基磺酸钠被加热到 270℃ 开始断链，由于 C-H 链结合较牢固，往往先从 C-C 链断开，生成很多短链的烷烯烃类化合物。随着温度升高，这些短链化合物就产生燃烧，生成碳、水和二氧化碳气体。磺酸基受热后就分解出 SO₂、H₂S 和 S 等气体。通过测定结果表明，烷基磺酸钠受热后所产生的气体除 SO₂、CO₂ 和水蒸气外，还有少量的 H₂S 和乙烯 (C₂H₄)，同时还含有微量低级的烷烯烃类化合物，如图 4-17 所示。

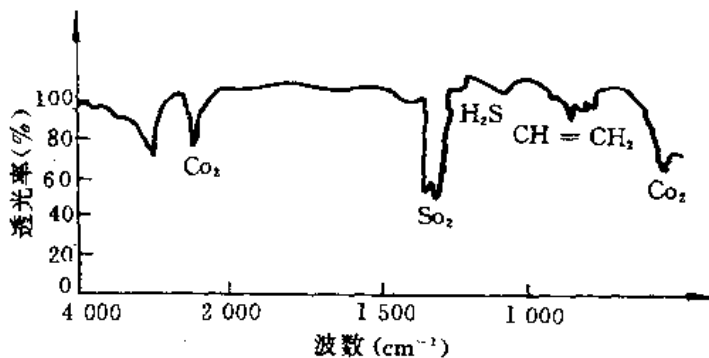


图 4-17 烷基磺酸钠型砂红外光谱分析

烷基磺酸钠阻燃剂的气相保护主要由 SO₂ 和 CO₂ 气体组成。SO₂ 重量为空气的 2.23 倍，CO₂ 为空气的 1.53 倍，均比空气重有利于驱逐型腔里的空气。

致密膜保护 通过采用 ZLF-300 离子探针对所浇注的镁合金铸件表面氧化膜的测定结果表明，致密膜的主要成分为硼化镁 (Mg₃B₂) 和硫化镁，同时还有少量 MgS+MgO 构成

的，硼化镁的致密系数大于 1，硫化镁的致密系数为 1.26 均具有良好的保护作用。而由 $MgS + MgO$ 所构成的氧化膜其致密数为 0.97，没有保护作用。据测定，采用氟化物防燃剂所浇注的镁铸件表面致密膜厚度约为 $5\sim 6\ \mu m$ ，而采用烷基磺酸钠防燃剂所浇注的同类镁合金铸件表面致密膜厚度为 $3\sim 4\ \mu m$ ，比前者略低些，但已具有足够的防燃保护作用。

釉质膜保护 烷基磺酸钠防燃剂中都加入一定量的硼酸，因此，也具有一定的釉质膜保护。

烷基磺酸钠防燃剂具有以下的特点：

烷基磺酸钠防燃剂具有较强的防燃保护作用，用它所配制的型砂具有良好的工艺性能，所生产的铸件质量符合技术条件要求。烷基磺酸钠的来源丰富，价格便宜，型砂配制方便。

烷基磺酸钠防燃剂的毒性小，对人体健康基本无害，对厂房设备腐蚀小，对环境卫生产污染也很小。由表 4-5 可知，烷基磺酸钠在浇注过程所产生的有害气体 SO_2 与 H_2S ，其毒性比氟化氢 (HF) 小得多。 SO_2 的允许含量为 $20\ mg/m^3$ ，而 HF 为 $1\ mg/m^3$ ，而且浇注时烷基磺酸钠防燃剂所产生的有害气体实际含量，均低于国家规定的允许含量，氟化物防燃剂所产生的有害气体实际含量大大超过国家规定的允许含量。

表 4-5 两种防燃剂有害气体含量比较

数值 种类	项 目	测定部位	SO_2	H_2S	HF
国家规定的允许含量 (mg/m^3)			20	10	1
氟化物防燃剂型砂		呼吸带	—	—	9.3
烷基磺酸钠防燃剂型砂		呼吸带	9.9	0.5	—

烷基磺酸钠防燃剂在使用过尚存在一些问题，主要有：铸造用的烷基磺酸钠技术条件和质量验收标准不完善，所供应的烷基磺酸钠质量不稳定；采用烷基磺酸钠防燃剂生产的铸件质量不稳定，有时产生气孔等缺陷；烷基磺酸钠的防燃机理尚不十分清楚有待进一步探讨。

三、铸铁件湿型砂

(一) 铸铁件用湿型砂的特点

采用湿型浇注铸铁件应注意防止铸件产生砂眼、气孔、粘砂和夹砂等缺陷，努力提高铸件的冶金质量和外部质量，应根据铸件的特点，合理拟定型砂的性能要求及配方。

铸铁件湿型砂的含水量一般控制在 $4.5\sim 6.5\%$ ，透气性一般为 $50\sim 100$ ，湿压强度一般为 $50\sim 80\ kPa$ ，手工造型时湿型砂的紧实度控制在 $50\sim 60\%$ ，普通机器造型用型砂的紧实度控制在 $45\sim 50\%$ ，高压造型用型砂的紧实度控制在 $40\sim 45\%$ 。

铸铁件湿型用的原砂一般采用粒度组别为 21 或 15 的圆形或多角形的天然石英砂，粒度最好均匀分布在相邻四个筛号上，每个筛号上的停留量都在 $10\sim 35\%$ 之间，这样的原砂膨胀率小且均匀，有利于防止夹砂缺陷的产生。在生产球墨铸铁件时，常采用粒度组别为 30 或 21 的石英砂，以改善型砂的透气性。

铸铁件湿型砂普遍采用粘结性能较好的膨润土，有的工厂把普通粘土与膨润土混合使用。

对于小型铸铁件湿型砂一般采用钙基膨润土，中型铸铁件湿型砂宜采用钠基膨润土或活化处理的膨润土，以提高型砂的抗夹砂能力。如果型砂全部采用新的原材料配制时，对于小型铸铁件湿型砂，普通粘土的加入量为6~8%（或加入膨润土5~6%），对于容易产生夹砂的铸铁件湿型砂，膨润土的加入量为6~8%。

（二）煤粉的作用原理及应用

铸铁件湿型砂里常加入一定量的煤粉，故有人称这种型砂为煤粉砂。加入煤粉主要是为了提高铸铁件的表面质量，防止铸件产生粘砂、夹砂等缺陷。其作用原理目前有以下几种看法。

（1）煤粉受热燃烧产生大量的还原性气体，防止铁水被氧化，减少或防止金属氧化物与造型材料发生化学反应。

（2）煤粉在高温液态金属热作用下产生大量的气体，使金属与铸型材料之间和砂粒孔隙中的气体压力猛增，有效地防止液态金属的渗入。

（3）煤粉受热软化，结焦变成胶质体，堵塞或减少砂粒的孔隙，使液态金属难以渗入。

（4）煤粉中的挥发分在400℃以上的还原性气氛下裂解成光亮碳，它是一种微晶碳或结构不完全的石墨，不被铁水及其他氧化物所润湿，有效隔绝了金属与铸型界面发生反应。

（5）煤粉加热到一定温度时，干馏出煤焦油成为具有可塑性的胶质体，使型砂的塑性增加，减少型砂因受热膨胀而产生的内应力，有利于防止铸件产生夹砂等缺陷。

对铸造用煤粉的要求：挥发分>30%，硫<1%，灰分<11%，光亮碳析出率5~8%，焦渣特性符合GB212--77中四级及五级的要求。

煤粉的加入量主要根据铸件的重量、壁厚、原砂的粒度组别和粘土加入量等情况决定。对于小型铸铁件煤粉加入量一般为6~8%，如煤粉加入量超过8%，但铸件仍出现粘砂时，可加入1~2%的重油将可取得良好的效果。

在型砂里加入煤粉恶化了铸造车间的劳动条件，因此，近来国外有的工厂采用碳油膨润土粉、沥青膨润土粉；在国内有的工厂采用重油等代用品，取得良好的效果，但价格较贵。

四、铸钢件湿型砂

与铸铁件相比，浇注铸钢件具有以下的特点：浇注温度高达1500~1580℃以上，钢液对铸型的热作用剧烈且时间长；一般采用漏包浇注，金属液对铸型的冲刷力大；钢水易与造型材料发生相互作用，使铸件产生气孔、粘砂和夹砂等缺陷。因此，对铸钢件湿型砂的要求比铸铁件高。

铸钢件湿型砂的含水量应严格控制，一般为4~5%左右，面砂的透气性应大于100，背砂的透气性应在180~200以上，湿压强度应大于55 kPa，铸型的表面硬度应在80~90左右。手工造型时型砂的紧实率控制在50~55%。

铸钢件一般采用SiO₂含量大于96%，含泥量小于2%，耐火度高于1580℃的石英砂，小型铸钢件可用天然石英砂，大中型铸钢件宜采用石英岩砂或人造石英砂。有时为了解决型砂的高温稳定性问题，采用镁砂、铬铁矿砂等耐火材料配制成的面砂，或在普通铸型型腔表面涂刷锆砂粉等涂料，以防止铸件产生粘砂等缺陷。

铸钢件湿型砂常用膨润土或耐火粘土作为粘结剂，其加入量一般为9~11%，目前很多工厂采用活化膨润土或天然钠基膨润土，以提高型砂的热湿拉强度和抗夹砂、结疤的能力。为

了提高型砂的韧性和表面风干强度，常加入适量的渣油或糊精等粘结剂。为了提高铸型的表面强度，可在铸型表面喷涂糖浆、纸浆或水玻璃溶液。但喷涂后应停放一段时间或烘干后再合箱浇注。

五、高压造型用型砂

根据压实比压大小，机器造型可分为低压（比压为 0.13~0.14 MPa）造型；中压（比压为 0.4~0.7 MPa）造型和高压（比压大于 0.7 MPa）造型。采用高压造型具有许多优点：提高了铸件的尺寸精度和表面质量；减小铸件壁厚、节省金属材料消耗、减轻铸件重量；细化铸件组织，提高铸件的力学性能；改善劳动条件，提高劳动生产率。

（一）高压造型用型砂的性能要求

高压造型用型砂的湿强度要求较高，多触头高压造型用型砂的湿压强度一般应大于 80~100 kPa，垂直分型的无箱造型用型砂的湿压强度应大于 140~150 kPa。高压造型特别强调型砂的常温湿拉强度，一般要求为 20~25 kPa。采用挤压造型生产小型铸件时，型砂的透气性控制在 50 左右，大中型铸件控制在 100 左右。紧实率是高压造型型砂的重要性能指标，它既能反映有效粘土和水的含量及比例，又能综合反映型砂各方面性能，一般控制在 40±5% 左右。

近来有人提出测定型砂松散密度代替型砂紧实率。因为松散密度也能综合反映型砂性能，而且测定简便迅速。高压造型型砂的松散密度一般控制在 0.9~1.0 g/cm³。

（二）高压造型型砂配方特点

高压造型型砂的密度高，浇注时常因型砂膨胀使铸件产生夹砂等缺陷。因此，宜采用颗粒分散的原砂，以减少型砂的膨胀率，国外有的工厂采用粒度组别为 21 相邻四个筛号的原砂。为了保证铸件的表面质量，宜采用粒度较细的圆形或多角砂。

粘土的质量及加入量对高压造型型砂的性能有很大的影响。在任何的比压下随粘土加入量的增加，型砂湿强度不断提高，要特别注意有效粘土的含量，一般控制在 7~10% 左右。国外有的工厂将钙基膨润土加入量控制在 10% 左右，钠基膨润土控制在 8% 左右。型砂中的有效粘土和死粘土之和相当于含泥量应严格加以控制，如果含泥量太低型砂的强度可能偏低，如果含泥量过高型砂将易结成块状。因此，含泥量最好控制在 12~16% 左右。

高压造型型砂的含水量应在保证型砂性能的原则下尽量减少，一般控制在 3~4%，有的认为应控制在比湿压强度峰值时的含水量高 10~20%，我国第二汽车制造厂的多触头高压造型型砂的含水量为 3.6~4.3%，型砂性能良好。

采用高压造型生产铸铁件时，型砂里需要加入一定量的煤粉，一般将可燃物的总量控制在 5% 左右，并定期通过测定型砂的发气量来控制煤粉的加入量。为了减少型砂的“回弹”，改善型砂的出砂性，可加入少量的糊精和木屑。

采用高压造型生产铸钢件时，型砂的含水量一般控制在 3~4%，膨润土的加入量控制在 7% 左右，原砂 SiO₂ 含量应大于 97%，同时还加入 1% 左右的淀粉或糊精。型砂的透气性一般为 100~140，湿压强度为 100~160 kPa，对容易冲砂的型腔部分应喷刷快干涂料。

各种铸造合金铸件用的型砂及高压造型型砂的配方及性能见表 4-6~表 4-8。

表 4-6 有色合金铸件用粘土型砂配方举例

序号	成 分 (%)										性 能			应用范围	
	新石英砂		新红砂		旧砂	粘土	硼酸	烷基磺酸钠	氟化物	重油	工业糖	含水量 (%)	湿压强度 (kPa)		透气性
	粒度组别	加入量	粒度组别	加入量											
1	21	15 ~25	10	75 ~85								4~5	40~70	>40	铝铸件湿型砂
2			10	96 ~97		3~4						4~4.5	40~70	>50	铝铸件湿型面砂
3	15	58	10	34		3~4	4~5					4~4.5	30~60	>60	铝、镁铸件湿型砂
4	15	5~30			70 ~95							4~4.5	30~50	>30	中、小型铝铸件湿型砂
5			10	10 ~30	70 ~90	8~12						5~7	30~50	>30	大、中型铝铸件干型砂
6	15	100				4~5	1.5 ~2.5	4~5				4.5 ~5.5	>40	>90	镁铸件湿型砂
7	15	60 ~70	10	30 ~40					6~8			4.2 ~5.2	>40	>40	镁铸件面砂
8	15	100				4~5	1.5 ~2.5	3~4		0.6 ~1		4.5 ~5.5	>40	>60	镁铸件湿型砂
9	15	10 ~15			85 ~90	1.5	1~2	1~3				4.2 ~5.2	>50	>35	镁铸件单一砂
10	15	75	10	25		2.5 ~3	4					4.5 ~5.5	>50	>40	小型镁铸件面砂
11	15	10 ~30			70 ~90	8 ~12				1 ~1.5		4.5 ~5.5	30~60	>30	中小型铜铸件湿型砂
12	15	20 ~35			65 ~80	10 ~15						5.5 ~7.5	40 ~60	>30	大中型铜铸件干型砂

表 4-7 黑色金属铸件用粘土型砂配方举例

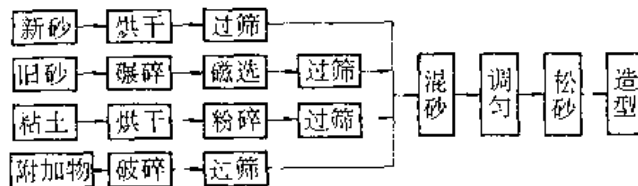
序号	成 分 (%)											性 能			应用范围	
	新砂 粒度组别	加入量	旧砂	膨润土	普通粘土	白泥	碳酸钠	煤粉	糊精	糖浆	重油	柴油	水分 (%)	湿压强度 (kPa)		透气性
1	15	10 ~20	80 ~90	1.5~2	—	—	—	2~3	—	—	—	—	5~5.5	70 ~90	70~100	小型铸 铁件单 一砂
2	15	50	50	4~4.5	—	—	0.16	8	—	—	—	0.5	5~6	75 ~85	50 ~70	小型铸 铁件面 砂
3	21	100	—	—	9.5 ~10.5	—	0.1	6~8	—	—	2	—	5~6	90 ~100	20 ~40	中型铸 铁件面 砂
4	15	80	—	10	—	—	0.5	10	—	—	—	—	4.5 ~5.5	77~95	90 ~110	大型铸 铁件湿 型砂
5	15	10 ~15	85 ~90	2 ~2.5	—	—	0.1 ~0.12	2~3	—	—	—	—	4.5 ~5.5	64	>90	球铁件 湿型砂
6	15	20 ~30	70 ~75	4~5	—	—	—	3~5	—	—	—	—	5.5 ~6.5	70 ~90	>50	中小型 铸铁件 湿型砂
7	15	50	50	3	—	—	0.4	—	—	—	—	—	4~4.7	>50	>100	铸钢件 单一砂
8	10	100	—	9~11	—	—	0.2	—	0.2 ~0.4	—	—	—	3.8 ~4.3	56 ~77	100 ~200	小型铸 钢件湿 型砂
9	21	100	—	9~11	—	—	0.3	—	—	—	2.8 ~3	—	4 ~5.5	55 ~70	>120	铸钢件 面砂
10	60 30	80 20	—	6	—	8	—	—	0.5	—	—	—	7~8	45 ~60	>200	大于 100kg 碳钢件 干型砂
11	60 30	30 70	—	9	—	—	—	—	0.5	—	—	—	7~8	45 ~60	>160	小于100 kg 碳钢件 干型砂
12	60 30	60 40	—	6	—	4	—	—	—	—	—	—	6~7	50 ~60	>150	大于型碳 钢件干型 砂

表 4-8 高压造型用型砂配方举例

序号	成 分 (%)							性 能					应用范围
	新 砂		旧 砂	膨 润 土	煤 粉	碳 酸 钠	渣 油 液	水 分 (%)	紧 实 率 (%)	湿 压 强 度 (kPa)	透 气 率	含 泥 量	
	粒 度 组 别	加 入 量											
1	21	50	50	3	4~6	4	1	4.8 ~5.3	45 ~58	>90	25~55	-	灰铸铁震击造型面砂
2	21	4.4	93.8	1.1	1.74	-	-	4.0 ~4.8	-	65 ~70	>70	-	灰铸铁震击造型单一砂
3	15	5	95	1~3	1~1.5	4~5	-	3~4	38 ~40	100 ~130	>90	-	中、小型灰铸铁震击造型单一砂
4	15	4	96	1.3 ~1.6	0.75~1	3 (水液)	-	3.5 ~4.4	36 ~44	120 ~150	>100	<14	小型灰铸铁挤压造型单一砂
5	21	4.4	93.8	1.1	1.74	-	-	4.0 ~4.7	-	75 ~100	>70	-	可锻铸铁高压造型单一砂
6	15	4	96	1.35 ~1.8	0.75 ~1.1	3 (水液)	-	3.6 ~4.0	32 ~40	120 ~150	>100	<15	球铁高压造型单一砂
7	15	4	96	1.35 ~1.8	0.75 ~1.1	3 (水液)	-	3.5 ~4.0	32 ~42	120 ~150	>100	<14	蠕铁高压造型单一砂
8	15	4	96	1.32	1.24	3~4 (水液)	-	3.6 ~4.4	32 ~46	130 ~170	>110	10 ~15	灰铸铁缸体件高压造型单一砂
9	15	4	96	1.35 ~1.8	0.75 ~1.1	3 (水液)	-	3.8 ~4.3	36 ~42	120 ~150	>100	<15	灰铸铁进气管件高压造型单一砂

§ 4-3 粘土型砂的配制

型砂的配制包括三个方面的工作，即原材料的准备，型砂的混制和将混制好的型砂调匀及松砂。型砂的配制工艺过程示意如下：



一、原材料的准备

铸造生产中所使用的型砂，有的是由回用砂加适量的新砂、粘土和水经混合均匀配制成的，有的全部由新的材料配制成的。为了确保型砂质量，所有的原材料都必须根据技术要求经验收合格后才能使用。为此都必须进行加工准备。

(1) 新砂 新砂在采掘运输过程中常混有草根、煤屑及泥块等杂物，同时含有一定数量的水分。潮湿的原砂不易过筛，配砂时不便于控制型砂的水分，因此，新砂在使用前都必须进行烘干和过筛。新砂的烘干可用立式或卧式烘干滚筒，也有采用热风送砂的办法。常用的筛砂设备有手工筛、滚筒筛和震动筛等。

(2) 粘土 刚开采的粘土往往含有较多的水分且多为块状，因此使用前必须烘干、破碎并磨成粘土粉。目前国内已有专门的工厂进行加工包装成袋供应。有的工厂事先将膨润土或粘土与煤粉按比例制成粘土-煤粉浆，使粘土充分吸水膨胀，混砂时与原砂一起加入到混砂机里混合均匀。这种做法可简化混砂操作，便于运输，改善劳动条件，提高型砂质量。但必须严格控制其含水量，否则会影响型砂性能。

(3) 附加物 煤粉、硼酸、氟化物和硫磺等附加物都必须粉碎、过筛再使用。

(4) 旧砂 为了节省新的造型材料，降低铸件成本，旧砂应回用。旧砂在型砂中所占的比例都很大，它对型砂的成分及性能有很大影响。旧砂常混入各种杂物如钉子、铁块和砂团等，在回用前必须进行处理，包括将砂块打碎，用电磁分离器除去其中的铁块及钉子等杂物，然后过筛，必要时进行冷却。

在机械化程度高的铸造车间，型砂的需要量大，周转速度很快，往往旧砂的温度还比较高就要进行回用，有的回用砂温度高达60℃以上，如果采用这种型砂造型，容易沾附模样、芯盒及砂斗；由于型砂温度过高水分蒸发太快，使型砂性能不稳定。同时影响铸件表面质量，影响造型劳动生产率。因此必须在铸件落砂、旧砂过筛、运输和混砂过程中加强通风冷却，降低型砂的温度。

二、型砂的混制

混砂混制的任务是将各种原材料混合均匀，使粘结剂均匀包覆在砂粒表面上。混砂的质量主要取决于混砂工艺和混砂机的型式。

(1) 混砂机的型式 生产中常用的混砂设备有碾轮式、摆轮式和叶片式混砂机。碾轮式混砂机除有搅拌作用外，还有碾压、搓揉作用，型砂的质量较好，但生产率较低，主要用来混制面砂和单一砂。摆轮式混砂机的生产率比碾轮式高几倍，且可边混砂边鼓风冷却，并有一定的搓揉作用，但型砂质量不如碾轮式好，主要用于机械化程度高、生产量大的铸造车间混制单一砂及背砂。叶片式混砂机是一种连续作业式的设备，各种原材料从混砂机这一端进入，混好的型砂从混砂机的另一端出来，生产率高。叶片式混砂机有混合作用，但搓揉作用很差。主要用于混制背砂和粘土含量低的单一砂。

(2) 加料顺序与混砂时间 混制粘土型砂的加料顺序一般是先加回用砂、原砂、粘土粉和附加物等干料，干混均匀后再加水湿混均匀即可使用。如果型砂中含有渣油液以及其他液态粘结剂时，应先加水将型砂混合均匀后再加入油类粘结剂。这种先加干粉料后加水的混砂加料顺序存在的主要缺点是，在混砂机的碾盘边缘常遗留一圈粉料，这些粉料吸水后粘附在混

砂机壁上,直到混碾后期或卸砂时才脱落下来,使型砂里含有混合不均匀的粘土或煤粉团块,恶化了型砂性能。同时干混时粉尘飞扬,劳动条件差。因此,有的工厂采用先在回用砂里加水混合,然后加粘土粉及煤粉混合均匀,最后再加少量水分调节到所需要的含水量。试验结果表明,后面这种加料顺序可缩短混砂时间,提高型砂质量,改善劳动条件。

为了使各种原材料混合均匀,混砂时间不能太短,否则影响型砂性能。但混砂时间也不宜过长,否则将使型砂温度升高,水分过多挥发,型砂结成块状,性能变坏且生产率低。混砂时间主要根据混砂机的型式、粘土的含量和对型砂性能要求来决定。一般说来,粘土含量愈多,对型砂质量要求愈高,混砂时间愈长。采用碾轮式混砂机混制面砂,混砂时间一般为6~12 min,背砂为3~6 min,单一砂为4~8 min。

三、型砂的调匀及松砂

型砂的调匀又称回性、渗匀,是指将混好的型砂在不失去水分的条件下放置一段时间,使水分均匀渗透到型砂中,让粘土充分吸水膨胀,以提高型砂的强度和透气性等性能。调匀时间主要根据粘土的种类及加入量而定,一般说来,普通粘土型砂的调匀时间较短,钙基膨润土型砂次之,钠基膨润土型砂最长。型砂中粘土含量愈多,原砂的颗粒愈细,调匀时间愈长。调匀时间应适当,否则型砂性能难以满足要求,单一砂一般为2~3 h,面砂为4~5 h。机械化铸造车间型砂调匀是在型砂调匀斗里进行,非机械化的手工造型车间是将混好的型砂堆放在车间地面上,并用湿麻袋覆盖进行调匀的。

型砂经混碾和调匀后,型砂又被压实,有的被压成团块。如果采用这种型砂直接造型,型砂的紧实度不均匀,透气性等性能差。因此,调匀后的型砂必须经松砂或过筛才能使用。在机械化的铸造车间一般采用圆棒式或叶片式松砂机;在非机械化的手工造型车间,常采用移动式松砂机或用筛孔为5~8 mm的筛子过筛。

复习思考题

1. 试述铸铁件湿型砂里加入煤粉的作用原理。
2. 试述镁合金铸件型砂里加入防燃剂的作用原理。
3. 如何确定中小型灰铸铁件手工造型和高压造型用型砂的最适宜水分范围?
4. 配方相同的型砂,其透气性峰值和湿压强度峰值时的含水量是否一致?为什么?
5. 试拟定直径为720 mm,重量为36 kg镁合金铸件手工造型用型砂的成分。

第五章 金属铸型材料

§ 5-1 概 述

金属型铸造、压力铸造等永久型铸造方法的铸型都是采用金属材料制成的。由于铸型的型腔直接与高温的金属液接触，在交变热应力和热冲击热应力的作用下，寿命很低，特别是在浇注黑色金属及青铜铸件时情况尤为严重。铸型材料选择得恰当与否不仅影响铸型寿命，同时也和铸件的质量密切相关。因此，正确地选择铸型材料也是铸造工艺设计的一项重要内容。

金属铸型的材料是影响其寿命的重要因素，由于金属铸型在高温下工作，要求其材料具有良好的高温和室温综合性能。

(1) 具有足够的高温力学性能，特别是疲劳强度，即在高温下不易软化、变形以及在热应力作用下不易开裂；

(2) 具有足够的热稳定性，包括高温下组织的抗生长性、抗氧化性、抗腐蚀性以及高温下不与铸造合金熔焊等性能；

(3) 具有足够的室温力学性能，包括强度、延伸率、硬度和韧性等，能可靠地承受各种机械力的作用和摩擦作用；

(4) 具有较大的热导率和导温系数，减少型壁内外温差，从而减小型壁内的热应力；

(5) 具有良好的铸造性能或锻造性能和机械加工性能；

(6) 来源丰富，价格便宜。

选择金属铸型材料时，应首先从金属的物理、力学性能着眼。与此同时还必须考虑到铸型材料和制造费用实际分摊到每个铸件上的多少。例如制造一副优质材料的压铸型的费用是很高的；但由于压铸型可以生产大量的铸件，所以分摊到每一铸件上的铸型材料和制造费是很少的。为了便于研究比较，我们综合了几种金属铸型材料的物理、力学性能，如表 5-1 所示。金属铸型材料的物理、力学性能与铸型损坏的一般关系如下：

(1) 材料的强度愈大，铸型愈不易变形和开裂。

(2) 材料的疲劳强度愈大，型腔工作面形成裂纹的倾向愈小。

(3) 材料的延伸率愈大，金属铸型外裂的倾向愈小，但较易变形。

(4) 弹性模量愈大，则温差引起的内应力愈大。弹性模量随温度升高而降低。一般认为，在保证强度的情况下，应选用低弹性模量的材料。

(5) 热导率和导温系数愈大，则型壁内外温差愈小，内应力愈小，裂纹倾向也愈小。

(6) 膨胀系数愈大，则型腔表面膨胀量愈大，产生的内应力愈大，形成裂纹的倾向也愈严重，金属铸型也愈易翘曲变形。

表 5-1 几中工业合金的物理、力学性能

性能 材料名称	热导率 (W/(m·°C))			热容量 (kJ/(kg·°C)) (20°C)	密度 (kg/m ³) (20°C)	膨胀系数 (1/°C) (20~100°C)	弹性 模量 (MPa)	拉伸 强度 (MPa)	疲劳 强度 (MPa)	延伸率 (%)
	100°C	200°C	300°C							
中碳钢 (C=0.3%)	58.2	49.7	40.4	0.461	7 760	15.6×10 ⁻⁶ (20~400°C)	206 800	≈440	≈137	≈20
灰铸铁 (C≈3.0%)	49.4	47.7	46.5	0.461	7 200	11.3×10 ⁻⁶ (20~400°C)	82 400	≈190	≈69	≈0
工业纯铝	205.9	229.1	272.1	0.922	2 700	23.1×10 ⁻⁶	69 600	78 ~118	≈49	35
硅铝明 (ZL-102)	196.5	210.5	245.4	0.963 (100°C)	2 650	23.3×10 ⁻⁶ (20~400°C)	70 600	175	≈41	5
工业纯铜	385.0	380.3	374.5	0.385	8 930	16.8×10 ⁻⁶	107 800	165	≈88	18
黄铜 (Zn≈33%)	107.0	112.8	121.0	≈0.38	8 600	20.5×10 ⁻⁶	107 800	290	≈147	30
青铜 (ZQSn6-6-3)	70.9	76.9	81.6	≈0.42	8 800	17.8×10 ⁻⁶	88 200	195		8

§ 5-2 金属型材料

金属型应由导热性能好，力学性能也好的金属材料制成。由表 5-1 中可以看出，青铜是最好的金属型材料，其次是钢，但是由于青铜的价格昂贵，实际上很少采用。铸铁由于其价格低廉，易于制造、加工，得到了广泛的应用。

(1) 铸铁：目前，制造金属型的型体、底板和大的型芯等零件时，广泛采用灰口铸铁，无论是铸造黑色金属还是有色金属都是如此，主要原因是灰口铸铁是一种很普通材料，而且能满足对金属型材料提出的大部分要求。由于灰铸铁在高温下（425°C 以上，特别是在 500~600°C 时）反复加热和冷却时，会产生生长现象，使体积长大，与此同时密度减小，强度下降，铸铁性能变坏，容易产生裂纹和烧伤。

含碳硅量少、石墨片细小的铸铁，它以珠光体为基体或以珠光体加少量铁素体为基体时，能很好地克服上述缺点，是很好的金属型材料。含碳硅量多、石墨片较大而且数量多的以铁素体为基体的铸铁，能抵抗外裂纹的生成。所以，应根据不同的情况来选用这两类铸铁。浇注有色合金及形状简单的小型黑色合金铸件的金属型，产生外裂的倾向小，而型腔表面龟裂是主要的危害，故一般多用低碳硅量的珠光体铸铁来制造。浇注厚大黑色合金铸件的金属型，因为容易产生外裂，故宜采用碳硅含量较高的铁素体铸铁来制造。

孕育铸铁具有较高的力学性能和热稳定性，对铸件壁厚变化不太敏感，组织均一性高；球

墨铸铁有更高的力学性能，良好的耐热和耐蚀性能，生长倾向小，它们都是较好的金属型材料，特别适用于制造大型的金属型。

在铸铁中加入少量的 Cr、Ni、Mo、Al、Ce 等合金元素，能显著地提高其力学性能和耐热性能，因而能提高金属型的寿命。例如，下列成分的铸铁：2.9~3.4% C、2.4~2.9% Si、0.4~0.8% Mn、3.2~3.9% Al、1.0~1.6% Cr、0.02~0.06% Ce、0.08~0.14% Mg，其拉伸强度达 340 MPa。用这种材料制成的金属型，其寿命比普通铸铁金属型提高 1~1.5 倍。

(2) 铸钢或锻钢：与铸铁相比，由于其力学性能好，抵抗内表面龟裂及外裂的能力高，抵抗翘曲变形的能力也较高，并可焊补缺陷或损伤是其优点。缺点是机械加工费用较大，成本较高。因此，铸钢主要用于制造形状简单、尺寸较大的黑色合金铸件的金属型，锻钢主要用于制造形状复杂的铝、镁合金小型铸件的金属型。

合金钢的拉伸强度和疲劳强度比普通碳钢要高得多，而弹性模量则相同（见表 5-2）。因而可显著地提高金属型的寿命。但生产中并不用合金钢来制造金属型的型体和底板，仅用于制造复杂的金属型芯和活块等，主要是因为合金钢成本太高，且不易获得。

表 5-2 几种钢的力学性能比较

材料种类	拉伸强度 (MPa)	疲劳强度 (MPa)	弹性模量
普通碳钢	440	137	206 780
低合金钢	640	255	206 780
高合金钢	980	402	205 800

对于金属型芯和活块，浇注时受液体金属包围，剧烈受热，抽出后又受急冷，工作条件很坏，所以要用钢料制成。对拆卸式和形状复杂的型芯、活块以及受力大而形状复杂的顶杆，多用合金结构钢制造，如用 30 CrMnSiA、40 Cr、35 CrMnSi、5 CrNiMo 等牌号。形状简单的型芯、活块则用中碳钢制造。型芯还要经过淬火、回火等热处理。一般顶杆采用碳素工具钢制造，如 T7A、T8A、T10A 等牌号。

(3) 铜合金：金属型上需要局部快冷时，采用激冷块，要求其热导率和蓄热系数比型体高，可用紫铜。也可用黄铜，但热导率低 70%。

(4) 铝合金：由于铝合金具有良好的铸造性能和切削加工性能，制造方便，成本较低，热导率比铸钢和铸铁要高 3~5 倍（见表 5-1），因此，在铝质金属型中浇注 ZL101 和 ZL105 合金的铸态拉伸强度，与在铸铁金属型中注的同样合金要高 25~50%，延伸率提高 2~4 倍。

一般采用 ZL101、ZL102、ZL105 等牌号的合金来制造金属型，并进行阳极化处理，使铸型表面形成一层致密的 Al₂O₃ 氧化膜（厚度可达 0.3 mm），其熔点为 2 050℃，硬度高，与基体结合牢固，耐磨性能好，并且隔热性能优良，还可防止金属型与浇注的合金熔焊在一起。由于铝合金的力学性能较低，耐磨性较差，因此，常在摩擦表面镶上钢片，以减轻磨损。对于受力部分如手把、凸耳等常采用钢材制成，以提高金属型的强度和耐磨性。

铝质金属型一般用在浇注批量不大的小型轻合金铸件，在采用水冷的情況下也可铸造出壁厚达 40 mm、重达 6~7 kg 的铸铁件。寿命可达 3 000~5 000 次。

金属型各零件常用材料见表 5-3。

表 5-3 金属型零件常用材料

零件名称	材料牌号	热处理要求
型体、大金属型的外壳、冒口部分底座、大金属型芯、支架、浇注平台	HT200	退 火
大型金属型型体和底板	QT600-02	退 火
小型体、型芯、底板、活块、排气塞	45	
定位销、锁扣、顶杆、轴、偏心轴、手把		HRC35~40
偏心轮、齿轮、齿条、衬套、插销		HRC40~45
顶杆、拉杆	T7A、T8A、T10A	HRC45~50
形状复杂的组合型芯、活块、薄片或细长的型芯、型体零件、重负荷的顶杆	30 CrMnSiA 5 CrNiMo	HRC40~45
螺钉、螺帽、垫圈、手柄等	A3	
激冷块	紫铜或黄铜	

§ 5 3 压铸型材料

一、成型部分零件材料

在压铸生产过程中，由成型部分零件所组成的复杂型腔，是形成铸件所需形状并保证其尺寸精度与表面粗糙度的主要部分；它又是直接与高温、高压和高速的液态金属接触，处在高温、高压及交变应力的情况下工作，工作条件是非常恶劣的。因此，对成型部分零件材料的要求更高。

要使压铸型成型部分零件满足上述性能要求，其材料成分中应含有钨、铬、钴、镍等元素。

合金中含钨量高时，热膨胀系数小（含 10%钨时热膨胀系数最小），耐磨性好，硬度高，耐热性好，淬火深度大，但韧性差。含钨量高的耐热合金淬火时不能水冷，以免碎裂。

与含钨量高的合金钢一样，含铬量高的钢的热膨胀系数小，而且，在高温下铬能生成稳定的氧化物表层，可以防止继续氧化。钢中铬含量增高，能提高硬度、耐热性和耐蚀性；淬火变形减小，淬火硬度增大；减小软化的趋势。

钢中含有少量的钒时，有以下优点：淬火深度减小；钢中含碳量可以增加而不显著地降低韧性；能改善切削性能。

镍在钢中的作用是提高钢的硬度和韧性，特别显著的是提高钢的耐蚀性。

含钼的钢可淬性能较好，并能使钢在高温时保持原有的力学性能。钼在钢中的作用是，能除去钢中的氧，细化钢的结晶颗粒，提高钢的硬度和韧性。

钴能提高钢的硬度和韧性。

钢的含碳量不宜高，因增加含碳量，会降低钢的导热性能，易使型腔表面产生裂纹。

二、座板、推杆等其他零件材料的选择原则

(1) 凡不与金属液接触的滑动部件，其材料应有足够的强度与硬度。一般选用优质碳素工具钢 T10A。

(2) 不与金属液接触的非滑动部件，其材料应有适当的强度来支承工作时的压力及本身的重量，一般选用碳素结构钢 A3 和 A5。

(3) 与分型面接触的其他零件，应根据零件的用途、形状、复杂程度来选用与型腔类似的材料，例如，对一般简单的圆形推杆，可选用 T8A 或 T10A 来代替贵重的高级合金钢。

压铸型的各个零件一般均需进行热处理，组成型腔的各部分，应在试压后再进行热处理，以便于修正（主要指工作部分的尺寸、浇口及加开排气槽等）。

压铸型主要材料及热处理要求见表 5-4。

表 5-4 压铸型零件常用材料

压铸合金	锌合金	铝合金 铜合金	硬度 (HRC)
铸型零件类别	材料牌号		
成型零件 浇注系统零件 特殊要求的顶出元件	T10A 5CrNiMo 3Cr2W8V	3Cr2W8V 4Cr5MoVSi	44~48
各种座板零件 特殊压板、压块	45 (座板可用铸钢件)		需要时 40~45
顶出机构用板	A3 (或 45)		
一般顶出元件 抽出元件 导滑元件 其他承力零件	T10A (或 T8A)		50~55
齿轮、齿条、齿轴	45		40~45
型座、座架	A3 (或铸钢件、中等强度以上的灰铸铁)		

近年来国内外还采用钨基合金 Anvoly1150 (4%Ni, 4%Mo, 2%Fe, 其余为 W); 钼基合金 TZM (0.5~1.5%Ti, 0.08~0.5%Zr, 基余为 Mo); 美国牌号 H-13、日本牌号 SKD61。

复习思考题

1. 为了提高金属铸型的寿命，应选择什么样的铸型材料？
2. 目前生产中常用的金属型材料有哪几种？各有什么优缺点？各用在什么场合和部位？
3. 压铸型成型部分零件和座板、推杆等其他零件应如何选择？为什么？

第六章 铸造用涂料

各种铸造方法几乎都要使用涂料，尤其是砂型铸造使用涂料更为普遍。近年来砂型铸造用涂料的研究，引起国内外铸造界高度重视。涂料的触变性、流平性、悬浮性和涂挂性等各项性能指标及测试方法亦已日趋完善，涂料质量有了较大的提高。因此，使得铸件的表面质量有了明显的提高。

涂料的种类很多，按铸件合金材料可分为铸钢、铸铁和有色金属用涂料；按铸造方法可分为砂型、实型，金属型和压铸型用涂料；按涂料载体可分为水基和醇基涂料；按涂料的涂刷方法可分为喷涂、刷涂、浸涂和淋涂用的涂料。不同的涂料其组成及作用是不同的。

§ 6-1 涂料的作用及对它的要求

一、涂料的作用

涂料在不同的铸造方法中所起的作用是不同的，现分别叙述如下。

(一) 一次型涂料的作用

(1) 降低铸件表面粗糙度。涂料中的耐火材料堵塞了砂型和砂芯表面的孔隙，防止金属液的渗入，提高了铸件表面质量。

(2) 提高铸型表面强度和热稳定性，减少铸件产生砂眼、掉砂等缺陷。

(3) 对于铸钢件和大型铸铁件，采用涂料可防止或减少铸件表面产生粘砂缺陷。

(4) 对于镁合金铸件，采用涂料可防止或减少铸件产生氧化或燃烧等缺陷。

(5) 若在涂料中加入某些合金粉末（如铬粉等），浇注后，涂料中的合金元素将渗入铸件表面，形成一层具有某些特殊性能、如耐磨、耐酸等的结合层。

(二) 永久型涂料的作用

(1) 保护金属铸型。涂料可以防止高温金属液对型腔表面的热击（即剧烈受热），防止金属液对型壁及型芯的直接冲蚀和局部熔焊或粘连。

(2) 由于涂料层的隔热作用，液态金属的流动性不致急速降低，可改善金属充填铸型的能力。

(3) 调节铸件的冷却速度。在铸型不同部位涂敷不同材料或不同厚度的同一材料，可调节铸件不同部位的冷却速度，使铸件按预定的顺序进行凝固。对于铸铁件，涂料是预防表面产生白口层的重要手段。

(4) 便于抽出金属型芯和取出铸件，因为涂料层减小了铸件与型芯和型壁间的摩擦，延长铸型寿命，提高铸件的表面质量。

(5) 涂料层有一定的孔隙度，故有一定程度的排气作用。

二、对涂料的要求

欲使涂料能很好地发挥上述作用，对涂料提出以下要求。

- (1) 涂料应具有足够的耐火度，与液态金属不润湿。
- (2) 化学稳定性好，不与液态金属及其氧化物形成易熔化合物，也不与型壁发生化学反应。
- (3) 具有良好的触变性、流平性，涂挂性，涂刷后能牢固地粘附在砂型壁上，且不留刷痕，即使在垂直型壁上涂料也不会经下滴滴。
- (4) 悬浮性要好，能在较长的时间内不分层。
- (5) 长期储存不变质，不发酸变霉，使用时不产生有毒气味。
- (6) 用于永久型的涂料，雾化能力强，对金属铸型没有腐蚀作用。

三、涂料应具有流变特性

铸造用涂料是由多种不同性质的材料组成的一种流体。优质的铸造用涂料应具有好的触变性、流平性和涂挂性，适当的渗透深度，这就要求涂料的粘度小，易于流动；涂刷后要有合适的涂层厚度，则要求涂料的粘度大，不易流动。涂料应具有良好的悬浮性，在使用过程中不沉淀，为此，必须加入一定数量的悬浮剂。但由于悬浮剂的加入，将导致涂料抗裂纹性能降低。欲使涂料满足上述这些相互矛盾的要求，其流变特性必须满足一定的要求。从流变学观点出发，流体可分为牛顿流体和非牛顿流体两大类。

(一) 牛顿流体

凡剪切应力(τ)与剪切速率($\dot{\gamma}$)成正比的流体称为牛顿流体，用公式表示为：

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

或写为

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (6-1)$$

式中： η ——比例系数(即粘度)。

若以 τ 对 $\dot{\gamma}$ 作图，其流变曲线为一条通过原点的直线，如图6-1直线1所示。直线的斜率为粘度，它是个恒定值。也就是说牛顿流体的粘度与剪切速率无关，如图6-2直线1所示。

一般均质流体如水油在层流情况下属于牛顿流体。这种流体不能单独作为铸造用涂料，因为其涂挂性能差，涂刷铸型垂直面时会往下滴滴，而且难以获得所需要的涂层厚度。

(二) 非牛顿流体

凡剪切应力与剪切速率间为非线性单值函数关系的流体称为非牛顿流体。这种流体的粘度随剪切速率变化而变化，即流体的粘度是剪切速率的函数。有些流体的粘度还随剪切时间而变化，即流体的粘度是剪切速率和剪切时间的函数。为了把它与牛顿流体的粘度相区别，称这种非牛顿流体的粘度为表观粘度。非牛顿流体一般又可分为以下几种：

(1) 假塑性流体：这种流体的流变曲线如图6-1曲线3所示。它的粘度随剪切速率增加而减小，如图6-2曲线2所示。这种流体为切力变稀流体，在涂刷施加剪切力时能变稀，涂刷阻力小，易涂均匀，是涂料应具有的重要性能。但这种流体无屈服值，在涂刷铸型垂直面时易往下滴滴。多数线型高分子溶液，如羧甲基纤维素钠(CMC)和淀粉溶液属于这种流体。

(2) 胀塑性流体：这种流体的流变曲线如图6-1曲线4所示，其粘度随剪切速率增加而

增大，如图 6-2 曲线 3 所示，故称这种流体为切力增稠流体。由石英粉、刚玉粉与水形成的混悬液具有这种性质。

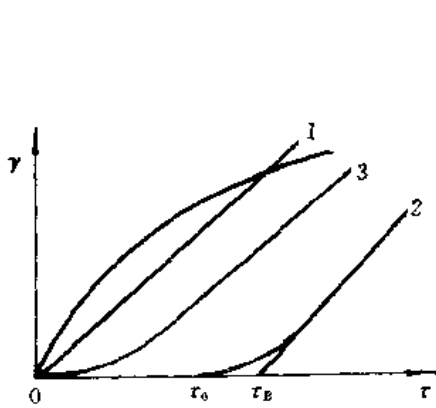


图 6-1 几种流体的流变曲线
1—牛顿流体 2—塑性流体
3—假塑性流体 4—胀塑性流体

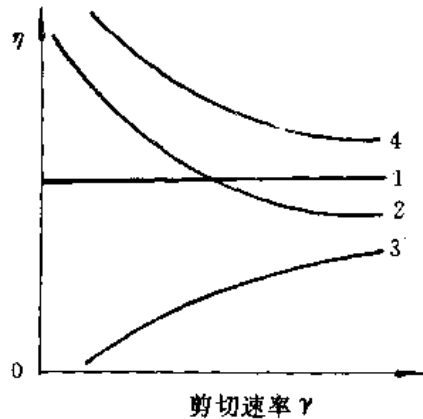


图 6-2 几种流体的表观粘度与剪切速率 γ 的关系
1—牛顿流体 2—假塑性流体
3—胀塑性流体 4—塑性流体

(3) 塑性流体：这种流体又称宾汉流体，其流变曲线如图 6-1 曲线 2 所示。其特点是当施加的剪切力小于临界值（又称屈服值） τ_0 时，流体像固体一样不流动。当 $\tau > \tau_0$ 时，流体开始流动，但其剪切速率的增大比剪切应力快。当 $\tau > \tau_B$ 时，则剪切速率与剪切应力成正比，这时其特性与牛顿流体相同。这种流体的粘度随剪切速率增加而减小，如图 6-2 曲线 4 所示。形状不对称的憎水胶体，如膨润土浆、熟淀粉浆、氢氧化铁溶液等具有这种流体性质。

(三) 触变性与触稠性流体

所谓触变性是指某些具有半固态性质的凝胶，在剪切应力（如机械搅拌）的作用下，胶体内部结构暂时被破坏变成能够流动的溶胶，去除切应力静置后，溶胶又恢复成凝胶，这样反复进行而无其他变化者称之为触变性。这一类流体的粘度不仅随剪切速率变化，而且随时间变化，其表观粘度随剪切时间的延长而减小，剪切作用停止静置后，粘度又逐步回升到初始粘度。这就是说，触变性流体具有在剪切应力作用下变稀，作用力去除后又变稠；变稀或变稠都与时间有着密切的关系。因为牛顿流体没有触变性，它既无剪切变稀，更无依时性。所以，触变性流体是属于非牛顿流体。

触稠性流体又称震凝性流体或反触变性流体。这种流体具有与触变性流体相反的性质。这种凝胶在剪切应力作用下变稠，在恒定的剪切速率下，其表观粘度随剪切时间的延长而增大，并达到最大值。剪切作用停止，静置后，又恢复到最初的粘度。

优质的涂料应具备塑性流体、假塑性流体和触变性流体的流变特性。具有触变性且有屈服值的涂料必定有良好的工艺性能。当刷子从涂料桶里蘸取涂料时，涂料因受剪切力作用变稀，易进入刷子，取出后粘度又迅速回升，阻碍涂料往下滴淌，饱蘸性好。涂刷时，涂料在剪切力作用下其表观粘度减小，涂料变稀，易于涂刷。涂刷停止后，由于没有剪切力作用，涂料又恢复最初的粘度，使涂料不会往下滴淌，又有利于消除刷痕，涂料的流平性好。

§ 6-2 涂料的组成

涂料一般是由耐火材料、粘结剂、载体和悬浮剂组成。有时，为了改善涂料的某些性能，还可能加入某些附加材料。

一、耐火材料

耐火材料的加入，对防止液态金属与铸型材料相互间发生热作用、机械作用和物理化学作用具有重要的作用。涂料中使用的耐火材料有两种：耐火型和烧结剥离型。前者具有高的耐火度和热化学稳定性，从而能保证获得表面质量高的铸件；后者是由耐火度高的粉料和烧结点较低的粉料或助熔物质组合而成，与液态金属接触后，使涂料表面局部烧结熔化而形成一烧结层，并且此烧结层易与铸件分离，以保证获得表面光洁的铸件。不同的铸造合金，所采用的耐火材料是不同的。铸钢件常采用石英粉、锆英粉、刚玉粉、铝矾土粉、莫来石粉、铬铁矿粉和镁砂粉等。铸铁件常采用石墨粉、石墨与铝矾土或锆英粉的混合物。土片状石墨粉的矿产丰富，价格低廉，不被铁水浸润，不与铁水发生化学反应。鳞片状石墨的耐火度高，价格比土片状石墨高；因此，大型铸铁件用的涂料，常将两种石墨混合使用。石墨涂料虽可防止铸件粘砂，但却往往在铸件表面上留下一层黑灰。对于某些通水、油、气的铸件内腔，这种黑灰的存在将给机器运转带来危害。因此，有的采用石英粉、铝矾土粉、长石粉或滑石粉作为铸铁用涂料的耐火材料，以改善劳动条件和环境卫生。铜合金铸件涂料常采用石墨粉和滑石粉。铝、镁合金铸件砂型铸造时常采用滑石粉，金属型铸造时常采用氧化锌、白垩粉、二氧化钛、滑石粉和石墨粉等。

二、粘结剂

加入粘结剂的目的是为了提高涂料层的强度，并使涂料能牢固地粘敷在铸型和砂芯表面上。粘结剂的种类很多，按化学性质可分为无机粘结剂和有机粘结剂；按其分解温度可分为高温型和低温型粘结剂。属于高温型的粘结剂有水玻璃、硅溶胶、硅酸乙酯、普通粘土、膨润土、聚合磷酸盐以及酚醛树脂和乳化沥青等。属于低温型的粘结剂有糊精、糖浆、纸浆废液、聚乙烯醇、聚醋酸乙烯乳液（乳白胶）、羧甲基纤维素钠（CMC）、干性植物油以及水溶性合成树脂等。

三、载体

载体的作用是分散、运载耐火材料，并使耐火材料悬浮在载体内，使涂料保持一定的粘度和密度，以便将涂料涂刷或喷涂在铸型和型芯表面上。载体的种类很多，一般分为水基和醇基两大类，如表 6-1 所示。表中的闪点是指液体表面上的蒸汽和空气混合物与火接触，开始产生蓝色闪光火焰的温度，它表示该物质着火爆炸的难易程度，闪点越低越容易爆炸。表中的允许最高浓度，表示载体毒性的大小，允许数值越小的，毒性越大。表中的蒸发数是以乙醚为基准比较其他载体的蒸发率，蒸发数越大，表示燃烧越慢。

水是一种很重要的载体，它无毒、无味、价廉，易于调节涂料的流变特性，但需烘干脱水。涂料用水的硬度不宜过高。

可燃溶剂型载体常用的有甲醇、乙醇、异丙醇等。甲醇的价格较低，但毒性大，会伤害操作者的眼睛，用者不多。

乙醇具有易挥发和易燃烧的特点，毒性小，无味，但吸水性强，当含水量大于5%时，涂料点燃较困难且燃烧不完全，残留的溶剂将留在铸型和砂芯中，浇注时铸件容易产生气孔等缺陷。有的工厂将乙醇掺入水溶性涂料中，以提高涂料的润湿性和流动性。当乙醇含量达到40~60%时，可作为湿型涂料的溶剂，使用这种涂料时，可采用热风或红外线快速烘干。

表 6-1 常用载体性能

项 载体目	分子式	沸点 (°C)	密度 (g/ml)	闪点 (°C)	大气中允许 最大浓度 (10 ⁻⁴)	蒸发数
水	H ₂ O	100	1.00	—	—	—
甲 醇	CH ₃ OH	64	0.79	6.5	200	6.3
乙 醇	C ₂ H ₅ OH	76	0.80	12	1 000	8.3
异丙醇	(CH ₃) ₂ CHOH	80~82	0.79	12	400	10.5
正丁醇	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH	115~117	0.80	28	100	2.5
二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂	39~41	1.33~1.34	—	200	1.8
氯 仿	CHCl ₃	61.2	1.49	—	100	0.56

异丙醇与乙醇性能相似，为无色透明液体，与水能形成共沸点物，其蒸气只与空气形成爆炸性混合物。异丙醇具有较好的燃烧特性，在适当的温度下它燃烧缓慢，温度较乙醇低，可防止铸型或砂芯表面的粘结剂及其他附加物被烧掉，能保证涂料中粘结剂的完整固化；而且其毒性比甲醇小，因此，在国外广泛采用。其缺点是有异味且价格昂贵，因此，在国内应用较少。

近年来，有的采用卤代烃如二氯甲烷 (CH₂Cl₂)、三氯乙烷 (C₂H₃Cl₂) 作为溶剂型载体，这种载体的特点是易挥发，能快速自干，但毒性较大。

四、悬浮剂

悬浮剂又称稠化剂，是赋予涂料一定粘稠度，借以阻缓耐火材料颗粒下沉，使耐火材料尽可能有效地悬浮，从而保持涂料有良好的均一稳定性的物质。涂料的悬浮性好坏是用涂料中耐火材料颗粒的沉降速度来衡量的，沉降速度小的悬浮性好；沉降速度大的悬浮性不好。耐火材料颗粒的沉降速度可由 Stocks 定律求得

$$v = \frac{2r^2(\rho_1 - \rho_2)g}{9\eta} \quad (6-1)$$

式中：
 v —— 耐火材料颗粒在载体中的沉降速度；
 r —— 耐火材料颗粒的半径；
 ρ_1, ρ_2 —— 耐火材料颗粒与载体的密度；
 η —— 载体的粘度；
 g —— 重力加速度。

由式(6-1)可知,欲提高涂料的悬浮性,应从以下几个方面入手:①减小耐火材料的颗粒半径;②减小耐火材料颗粒与载体的密度差;③增大载体的粘度。

悬浮剂近年来发展很快,种类很多。水基涂料常用的悬浮剂是膨润土和有机高分子化合物,如聚乙烯醇(PVA)、羧甲基纤维素钠(CMC)、海藻酸钠、糖浆等。醇基涂料常用的悬浮剂有松香、醇溶性树脂、硅酸乙酯、醇溶性高分子化合物和有机改性膨润土等。

(1)膨润土:膨润土是一种常用的悬浮剂,不论是钙基或钠基膨润土,都需进行阳离子交换处理。碳酸钠的加入量对钙基膨润土为5~7%(占膨润土重量);对钠基膨润土为3%左右。涂料中膨润土的加入量应适当,若加入量过少,涂料内部不能形成稳定的三维网状结构,悬浮稳定性和触变性差;加入量过多,涂料层在烘干时会由于粘土的收缩而产生开裂。膨润土的加入量一般控制在1~4%范围内。

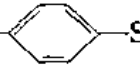
(2)羧甲基纤维素钠(CMC):CMC是一种应用较广的水基涂料悬浮剂,其分子式为 $[C_6H_7O_2(OH)_2O \cdot COONa]_n$,它无毒无味,白色粉末状的CMC易溶于水形成胶体溶液,使涂料增稠,从而保证涂料中的耐火材料不易沉淀。根据CMC的粘度不同,可将其分为高、中、低粘度三种。常用中等粘度的CMC配成2%的水溶液予以使用,这种溶液使用方便,成本较低。将膨润土与CMC配合使用,可明显地改善涂料的悬浮性能,这是因为CMC是一种高分子阴离子型电解质,其亲水的极性基团 $(CH_2O \cdot CH_2COO)^-$ 将与膨润土表的氧或氢氧根离子形成氢键或配合键,或借静电吸引的范德华力使膨润土被吸附在CMC分子链上,共同形成网状结构,提高涂料的屈服值。CMC在碱性溶液中有利于其链状分子的伸张,因此,将钠基膨润土与CMC配合使用,效果更佳。

(3)有机膨润土:有机膨润土又称有机皂土,它是醇基涂料较理想的悬浮剂。众所周知,膨润土颗粒表面吸附有多种阳离子,如果它所吸附的不是 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等阳离子,而是 NH_4^+ 离子,则它在有机憎水液体(统称为油)中也能发生膨胀。这种膨胀是由于胺基团将膨润土表面的阴离子和烃链连接起来,使醇类和脂肪类载体也能进入晶层内,这样的膨润土可在很多有机溶液中分散并具有亲油性质。目前我国的有机膨润土是用二甲基十八烷基氯化铵(季铵盐)处理钠基膨润土获得的。由于原膨润土中锂、镁离子较少,处理后的膨润土在苯液中的溶胀性比在酒精中强,故使用这种膨润土作为快干涂料的悬浮剂时,应先在少量的苯液(如二甲苯)中泡成膏状,然后再加入乙醇配成涂料。醇基有机膨润土涂料具有良好的悬浮性、涂刷性和流平性。但价格昂贵,在国内尚未广泛采用。为此,采用其他的代用材料,例如,采用先将钠基膨润土吸水充分膨胀,再用乙醇冲稀,作为醇基涂料的悬浮剂。用这种悬浮剂制成的涂料价格低廉,制备工艺简单;缺点是载体乙醇会很快渗入铸型和砂芯内部。有的采用钠基膨润土和有机膨润土配合使用,成本增加不多。还有的采用锂盐对钙基膨润土进行处理,作为醇基涂料的悬浮剂,其成本比有机膨润土便宜。

(4)聚乙烯醇缩丁醛(PVB):聚乙烯醇缩丁醛为热塑性线型高分子化合物,能溶解于酒精成为粘稠的液体,是一种比较理想的醇基涂料悬浮剂,但其加入量不宜过多,否则在点燃烘干涂料层时,PVB形成的连续网膜将会阻碍涂料层中的载体(溶剂)挥发,使涂料层表面产生气泡。因此,PVB只在自干涂料中使用。作为悬浮剂用的PVB应符合下列要求:

醋酸根 < 2%;	丁酰基 < 43~48%;
酸 值 < 0.5 mgKOH/g;	水 < 3%;
灰 分 < 0.25%。	

五、其他附加材料

(1) 表面活性剂：为了改善涂料对铸型及砂芯表面的浸润渗透能力，有时加入少量的表面活性剂以降低涂料的表面张力或涂料与基体材料之间的界面张力。涂料常用阴离子型的表面活性剂。例如，为了解决用粘土作为粘结剂，石墨作为耐火材料配制成的涂料对金属型的润湿性差的问题，常加入 1% 的洗衣粉。洗衣粉的主要成分为二烷基苯磺酸钠，其分子式为 $C_{12}H_{22}$  SO_3Na ，溶于水后电离成带负电的烷基苯磺酸根和带正电的钠离子，带正电的一端与金属型相互吸引定向排列，从而降低涂料与金属型之间的界面张力。

(2) 消泡剂：涂料中的气泡必须消除，否则会影响铸件的表面质量。为此，有时滴入微量的醇，如正丁醇、正戊醇和正辛醇等，不仅可有效地消除气泡，同时也可改善涂料的润湿性。

(3) 防腐剂：涂料中的淀粉、糖浆、海藻酸钠以及纤维素衍生物等多糖有机物质容易遭受霉菌或衍生物的浸蚀而发酵变质。为此，可在涂料中加入微量的防腐剂，如百里酚、五氯酚、氯酚钠或甲醛液等。这些物质具有凝固蛋白质的作用，能消灭霉菌或抑止其生长，防止涂料变质。

(4) 防潮剂：含有水溶性粘结剂和悬浮剂的涂料，容易吸收空气中的水分而变质。为此，可在涂料中加入少量的硅烷或某些表面活性剂，待涂料干燥后，能形成一层憎水膜，防止涂料吸潮。

(5) 特殊附加物：在金属型铸造时，为防止镁合金氧化，在涂料中加硼酸；为防止铸铁件表面产生白口层，可加入硅铁粉。黑色金属铸造时，涂料中加入某些合金元素，可使铸件表面合金化。

砂型铸造、金属型铸造和压力铸造用涂料见表 6-2~表 6-5 所示。

表 6-2 有色合金砂型铸造用涂料

序号	成 分 (%)										适用范围
	石墨粉	滑石粉	膨润土	纸浆	糖浆	水玻璃	T99-1	氟化物	硼酸	水	
1		7~10						18~20		70~75	镁铸件砂芯
2		7~10							3~10	80~90	镁铸件砂芯
3							20		3~5	75~77	镁铸件砂芯
4	2	96	2							100 (外加)	铝铸件砂芯
5		6.8				2.4			2.4	88.4	铝、镁铸件砂芯
6	45	46	4.5		4.5					适量	铜铸件砂芯
7		88.3	9.8	1.9						适量	铜铸件砂芯

表 6-3 黑色合金砂型铸造用涂料

序号	成分(%)																	适用范围	
	片状石墨	土状石墨	石英粉	镁砂粉	铅砂粉	铬铁矿粉	膨润土	白泥	水玻璃	糖浆	纸浆	糊精	桐油	松香	工业酒精	汽油	漆片水		水
1	42	42						16										适量	中小型铸铁件干型
2	8	60	20					6					6					适量	大中型铸铁件干型
3		88					6			3	3							适量	铸铁件干型
4	35	45					4	16										适量	铸铁件表面干型
5	40	53					5		2									适量	铸铁件表面干型
6	12	23					3							7	55				铸铁件快干型
7	24	70												6	100 (外加)				铸铁件快干型
8			100				4	4	4	3								适量	碳钢件干型
9				90			5				5							适量	厚大碳钢件干型
10					100		2			7								适量	不锈钢件干型
11						100		3		5								适量	合金钢件干型
12				100				3		5								适量	高锰钢件干型
13			57									3		2	38				碳钢件快干型
14				50			3								42		5		高锰钢件快干型

表 6-4 金属型铸造用涂料

序号	成分(%)										适用范围
	氧化锌	白垩粉	二氧化钛	焙烧滑石粉	焙烧石棉粉	石墨粉	石英粉	机油	水玻璃	水	
1	8	6.5	4						6.5	余量	铝铸件厚壁工作面
2	6		12		12				10	余量	铝铸件薄壁工作面
3						22			4.5	余量	铝铸件的小斜度大型芯
4	5								2	余量	铝铸件要求光洁的工作面
5		9			14				8	余量	铝铸件浇冒口型腔
6		10		5					2.7	100	大型镁铸件工作面
7		5		10					2.7	100	中小型镁铸件工作面
8	10			5					3	100	镁铸件要求较光洁的工作面
9		2			30				5	100	镁铸件的浇冒口型腔
10						4		96			铜铸件型腔
11							10		5	100	中小铸铁件型腔

注：① 水玻璃模数为 2.56~3.0，密度为 1.45~1.55；

② 白垩粉可用轻质碳酸钙代替；

③ 铸造镁合金时，金属型喷涂料后，在每次浇注前应喷一次硼酸水（10~15%硼酸）；

④ 金属型摩擦部位用润滑剂，70%石墨粉+30%黄油或机械油。也可用 5~10%胶体石墨的水溶液。

表 6-5 压力铸造用涂料

序号	成分(%)													适用范围
	蜂蜡	石墨	机械油	胶体石墨	硅橡胶	汽油	铝粉	无水肥皂	滑石粉	二硫化钼	氧化锌	水玻璃	水	
1	75	25												冲头
1		5 ~10	90 ~95											铝铸件、铜铸件、冲头及滑动摩擦部分
3				100										铝铸件
4					3 ~5	92 ~96	1~3							铝铸件
5											5	1~2	93 ~94	大型铝铸件
6								0.7	0.18				余量	铝铸件、锌合金铸件
7	70									30				铜铸件
8			95								5			镁铸件

注：目前国内出现不少新型白涂料，用于铝铸件压铸效果很好。因系商品没有列入，使用时可以选用。

§ 6-3 涂料的配制

配制涂料时,应事先将原材料准备好。石棉、滑石粉(组成为 $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 至 $4\text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)应经过 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 焙烧 $2\sim 3\text{h}$,以除去结晶水,这对用于铸造镁合金特别重要,石棉还要磨碎。

涂料中的耐火材料,一般都以粉状供应。颗粒愈细,则铸件表面愈光洁。对于铸造镁合金应采用较粗的颗粒,这样能改善涂层的排气作用,并且利于扯破氧化膜。同理,对变质硅铝明也是如此。

配制涂料时,先将可溶性组分(粘结剂)溶入载体中(载体为水时有时需加热到 60°C 以上),同时不断搅拌,然后将粉状耐火材料、悬浮剂、附加材料等逐次加入,搅拌均匀即可。当配制含有硼酸的涂料时,应先将其溶入热水中,在搅拌下加入粉状物,冷却到室温后再加入经稀释的水玻璃,同时搅拌均匀。

近年来国外在水基涂料配制中,已普遍采用了“熟化工艺”。所谓熟化工艺即将耐火材料、粘结剂、水(此时为稀释剂)按比例加入球磨机或碾轮式涂料混碾机中,经过长达 24h 以上的研磨处理,制成涂膏。使用时,只需将涂膏加水稀释至合适的密度即可使用。熟化处理的实质是将固、液、气三相共存体系中的气相释放出去,使颗粒表面形成一层均匀的粘结剂膜,从而保证涂料性能均匀、稳定。

涂料经过熟化处理后将发生以下变化:

- (1) 使耐火材料、粘结剂、悬浮剂和载体混合得更均匀;
- (2) 粗大颗粒变细,有利于悬浮稳定性及涂层表面光洁度的提高;
- (3) 形状不规则,表面粗糙的耐火材料表面吸附有气体,单靠水对耐火材料的润湿作用是难以将其全部排除的,而熟化处理过程中,由于耐火材料的粗糙表面被磨平,因此,吸附的气体就可以消除干净。这就有效地解决了耐火材料颗粒表面的粘结剂膜被气体隔离的问题,粘结剂的粘结能力得到了正常的发挥;
- (4) 耐火材料破碎中,由于化学键的断裂,使耐火材料表面带有电荷,从而能有效地提高涂料的悬浮稳定性,防止颗粒之间相互聚结。

§ 6-4 铸造用胶合剂及涂膏

一、铸造用胶合剂

胶合剂主要用来粘合砂芯和修补砂芯破裂、缺肉、掉角处。在生产中,砂芯、特别是一些复杂的砂芯,为了便于制造和烘干,常采用分块或沿对称轴分成两半制造,待烘干后再用胶合剂将其粘合在一起,成为整体砂芯。

在壳型铸造生产中,也有采用胶合剂将两半铸型胶合起来浇注的。

为了提高胶合剂的内聚强度和附着强度,一般都制成膏状粘稠物,其含水量比涂料低;为了使胶合剂能渗透到砂粒的孔隙中去,硬化后能将分块制造的砂芯块牢固地连接在一起,胶合剂的浓度不宜过大。胶合剂应具有低的发气性,不能因使用胶合剂而导致铸件产生气孔等

缺陷。

常用铸造胶合剂参见表 6-6。

表 6-6 铸造用胶合剂

序号	成分(%)										应用范围
	滑石粉	石墨	膨润土	粘土	粘土砂	糊精	纸浆	硼酸	盐酸	水	
1	50	8			5	2				35	修饰铸铝用铸型
2	66				30	2	2			30 (外加)	
3	54	33		13						适量	修饰铸铝用砂芯
4	94	4				2				适量	
5	54	30		13				3		40 (外加)	修饰铸镁用砂芯
6	87			8				5		25 (外加)	
7			29.9				70		0.1	适量	修饰铸造黑色合金的铸型及砂芯
8			55			45				58 (外加)	
9						12	88			适量	

注：盐酸浓度为 20%。

二、铸造用涂膏

涂膏主要用来修补砂芯的缝隙和砂芯表面凹陷不平的地方，或涂抹砂芯表面以改善其表面质量。要求涂膏有好的粘结性能，能牢固地粘附在砂芯的表面上；涂抹后，砂芯表面光洁细腻，烘干后不开裂、不剥落；发气量少；不与液态金属发生化学反应；配制后便于储存。

铸造用的涂膏参见表 6-7。

表 6-7 铸造用涂膏

序号	成分(%)											应用范围
	滑石粉	粘土	膨润土	石英粉	原 ^① 砂	原 ^② 砂	糊精	纸浆	亚麻油	水玻璃	水	
1	30	35						35			25 (外加)	修饰铸造有色合金的铸型及砂芯
2		30					17	30			23	
3		40					60				适量	
4			43							57	适量	
5			5	87			5		3		适量	修饰铸造黑色合金的铸型及砂芯
6			24.4			48.8		14.6	2.4		9.8	

注：① 粒度分组代号为 10 的原砂；

② 粒度分组代号为 21 的原砂。

复习思考题

1. 试述砂型与金属型涂料的作用及组成有何区别。
2. 试述涂料应具备哪些流变特性，为什么？
3. 试述有机膨润土的特点及应用。
4. 试述醇基涂料的特点及应用。

第二篇 铸造工艺过程

第七章 砂型铸造

§ 7-1 概 述

以型砂为材料制备铸型的铸造方法叫砂型铸造。有别于砂型铸造的其它铸造方法，称为特种铸造。

砂型铸造和特种铸造比较，其缺点是：劳动条件较差，铸件质量欠佳，铸型只能使用一次，生产率也较低。优点是：不受零件的形状、大小、复杂程度及合金种类的限制；造型材料来源较广，生产准备周期短，成本低。因此砂型铸造是铸造生产中应用最广泛的一种方法，世界各国用砂型铸造生产的铸件约占铸件总产量的80~90%。

一、砂型的种类

常用的砂型有湿型、干型、表面干型和各种化学硬化砂型（自硬砂型）。

(1) 湿型：向石英砂中加入适量的粘土和水分，混制而成的型砂称为湿型砂。用湿型砂舂实，浇注前不烘干的砂型称为湿型。铝合金、镁合金铸件、小型铸铁件的生产常使用湿型。

湿型可使铸件生产周期缩短，生产率高，经济；由于不必烘干及不需要相应的烘干装置，故节省投资及能源消耗；易于实现机械化和自动化；比干型生产劳动条件好。

湿型水分高，强度低，因此对于质量要求高和厚壁中、大型铸件不宜采用。特别适合于机械化、自动化生产。

(2) 干型：经过烘干的砂型称为干型。烘干后增加了强度和透气性，显著降低发气性，大大减少了由于铸型方面的原因而产生的气孔、砂眼、胀砂、夹砂等缺陷。干型的缺点是生产周期长，需要烘干设备，增加燃料消耗，恶化劳动条件，难于实现机械化和自动化。主要用于质量要求高，结构复杂，单件、小批生产的中大型铸件上。

(3) 表面干型：铸型表面仅有一层很薄的型砂被干燥（干燥层一般为15~20 mm厚），铸型其余部分仍然是湿的，故称表面干型。表面干型介于湿型和干型之间，既有湿型的优点，又有湿型达不到的性能。表面干型常用于生产中、大型铝铸件和铸铁件。

(4) 化学硬化砂型（自硬砂型）：铸型靠型砂自身的化学反应而硬化，一般不需烘干，或只经低温烘烤。优点是强度高，节约能源、效率高。但成本较高，有的易产生粘砂等缺陷。自硬砂型目前用得较多的有用水玻璃作粘结剂的水玻璃砂型以及用合成树脂作粘结剂的树脂砂

型等。自硬砂型对于各种铸件均可采用。

二、砂型铸造的工艺流程

根据砂型铸造工艺过程各工序的相互关系，可绘制如图 7-1 所示的铸造工艺流程图。其中包括工艺方案选择和工艺文件制订的铸造工艺设计过程。

砂型铸造生产过程复杂多样，工序繁多，必须加强工艺技术控制和生产管理，保证得到高质量铸件。

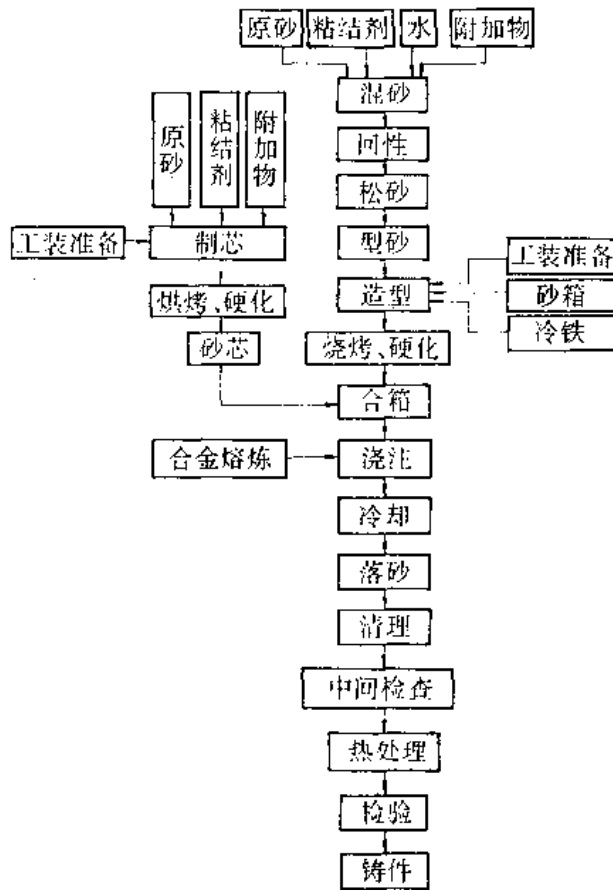


图 7-1 砂型铸造工艺流程图

§ 7-2 造型(芯)

制造砂型的工艺过程叫做造型；制造砂芯的工艺过程叫做制芯，也叫造芯。造型和造芯是铸造生产中最重要工艺过程之一。选择合适的造型（芯）方法和正确地进行造型（芯）工艺操作，对提高铸件质量、降低成本，提高生产率有极重要的意义。

一、造型(芯)方法

造型（芯）方法按机械化程度可分为手工造型（芯）和机器造型（芯）两大类。

(一) 手工造型(芯)

手工造型是指用手工完成紧砂、起模、修整及合箱等主要操作的造型（芯）过程。手工

造型(芯)是一种最基本的造型方法,这种造型工艺适应范围广泛,不需要什么复杂设备,而且造型质量一般能够满足工艺要求,所以到目前为止,在单件、小批生产的铸造车间,手工造型(芯)仍占很大比重。当前航空工厂由于产品多变、生产批量小,因而手工造型(芯)仍是大量存在。

手工造型(芯)需要工人有较高的技术水平,劳动强度大,生产率低,铸件质量在很大程度上决定于工人的技术水平和熟练程度,不易稳定。

手工造型方法很多,如模样造型、刮板造型、地坑造型等,各种造型方法有不同的特点和应用范围。这些造型方法及其特点,在《铸造概论》中已作了详细介绍,这里不再一一赘述。

(二) 机器造型(芯)

用机器全部地完成或至少完成紧砂操作的造型工序,称为机器造型。和手工造型相比,机器造型的生产率高,质量稳定,工人劳动强度低,对工人操作的技术要求不像手工造型那样高。但设备和工艺装备费用高,生产准备时间长,一般只适用于一个分型面的两箱造型。机器造型(芯)适用于大量和批量生产。

机器造型按紧实方法分为震实、压实、震压、微震压实、射砂紧实、抛砂紧实等。在压实紧实中,常用砂型表面上单位面积所受的压力来评定压实力的大小,称为压实比压(q)。根据比压大小,机器造型方法可分为:

高压造型—— $q \geq 0.7$ MPa;

中压造型—— $q = 0.4 \sim 0.7$ MPa;

低压造型—— $q = 0.13 \sim 0.4$ MPa。

二、型(芯)砂的紧实方法

(一) 对型(芯)砂紧实度的要求与测量

(1) 紧实度对铸型性能的影响:型砂需要紧实才能成为整体的砂型。型砂的紧实程度常用紧实度(密度)和孔隙度表示。铸型的紧实度影响着铸型的强度和透气性。紧实度越大,铸型强度越大,透气性越差。铸型的紧实度高,蓄热系数也高,加快了金属的凝固冷却速度,改善了铸件的内在质量,组织更为致密,力学性能有所提高。对高压造型法的研究证明,铸型紧实度高,浇注时型壁移动量小,铸件尺寸精确,表面光洁。由于精度高可以减少加工余量,不仅节约了金属也节约了工时,铸件可以做得更薄。为减轻机器重量提供了条件。

(2) 对型砂紧实度的要求:由于紧实度对铸型性能的影响及对铸件质量的影响很大,故铸造生产中对铸型的紧实度提出了较高的要求。一是要求铸型紧实度均匀,二是要努力提高紧实度。高压造型法由于铸型紧实度大,其铸型性能和铸件质量普遍好于中低压造型就是实例。不同的紧实方法形成的铸型的紧实度分布也不同。高压造型法的目的就在于制出均匀的高紧实度铸型。而理论研究和实验证明其压实方法和压头形式对紧实度有很大的影响。如图7-2表示用不同的压实方法时铸型的紧实度(用硬度表示)分布情况。不难看出双面压实法的紧实度最高、最均匀。上压法和下压法比较,从硬度分布曲线上看,下压法更好些。

(3) 紧实度的测量:铸型的紧实度应该用测量密度的方法来测量,而在实际生产中常用测量铸型硬度的方法来间接反映铸型的紧实度。如生产中常用B型硬度计来测定,在高压造型中认为,当B型硬度计最小读数超过85的铸型即谓之高紧实度铸型。

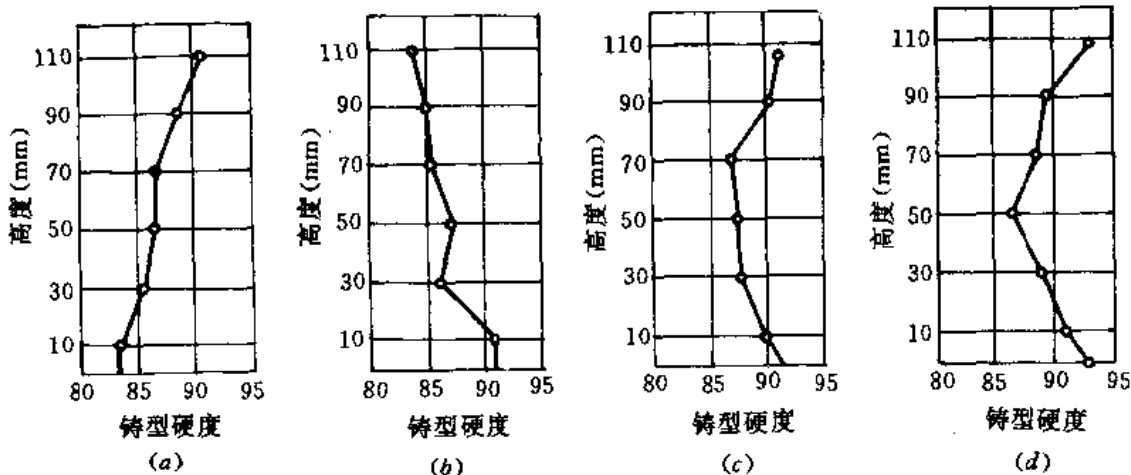


图 7-2 不同压实方法的硬度分布

(a) 上压法 (b) 下压法 (c) 上压、下压两次进行 (d) 双面压实法

(二) 震击紧实和震击附加压紧实

震击紧实用震击造型机来完成。多以压缩空气为动力，利用震击动能和惯性使型砂紧实。图 7-3 表示了震击紧实的详细过程。将砂箱 1 放在模板 2 上，型板固定于震击工作台与震击活塞 3 相连，4 为震击气缸。砂箱内装满型砂后，打开进气阀，使压缩空气进入震击气缸，推动活塞上升。当活塞升高超过排气孔时，压缩空气由排气孔逸出，气缸中的压力突然下降，此时震击活塞连同砂箱模板由于自重而下落与震击气缸发生撞击。砂箱中的型砂由于惯性力的作用而互相紧实。而后因出气孔堵住，进气孔进入的压缩空气压力又超过砂箱型板活塞等重量时，工作台又上升，如此连续震击，使型砂得以紧实。震击紧实的震击高度一般为 30~60 mm，震击次数以每分钟 30~50 次为宜，一般不超过 80 次。震击紧实适用于大砂箱，砂箱高度不低于 150 mm，否则紧实效果不好。其型砂紧实度沿砂箱高度方向是上松下紧、顶部型砂紧实度几乎与震前一样。

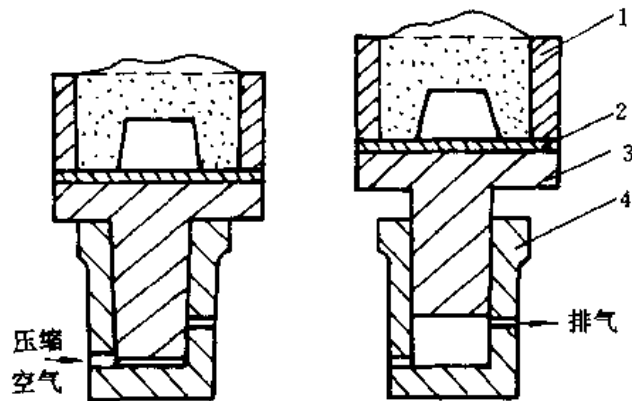


图 7-3 震击紧实示意图

1—砂箱 2—模板 3—震击工作台 4—震击气缸

为了克服震击紧实砂箱上部型砂紧实度太松的缺点，可以先震击使底部型砂紧实，再对顶部型砂补充压实。这种经震击后再加压的造型机叫做震压式造型机。震压紧实型砂紧实度分布很好，特别是在砂箱不太高的情况下，压实的影响可以达到分型面，这样可以大大减少震击次数，从而提高劳动生产率，节约动力消耗。但由于补加压实以压缩空气为动力，比压较低，故多用于中小尺寸的砂箱中型砂的紧实。

震击造型机和震压造型机的结构都比较简单，操作维修方便，生产适应性强，一般中小型铸件都适用。但是震击式造型机工作时噪音太大，使劳动条件恶化，强烈的震动也对厂房

— 130 —

建筑提出了较高的标准。

(三) 压实、微震压实和高压紧实

压实紧实是通过压实造型机来进行的，多以压缩空气为动力对型砂压实紧实。其工作原理如图 7-4 所示。打开进气阀、压缩空气由进气孔进入压实气缸 4，将活塞 3 举起，活塞不断上升，当砂箱 2 内的型砂碰到压头 1 时，就发生压实作用。型砂压实后，打开排气阀，使气缸中的压缩空气排出，活塞立即下降，压实工作即告完成。这种紧实较震击紧实工作效率高，噪音很小，机器结构也很简单。缺点是型砂紧实度亦不均匀，上紧下松，适用于砂箱高度不超过 150 mm 的较低的铸型，为使造型不致笨重，砂箱底面积大小一般不超过 800×600 mm。

微震压实造型是在型砂受压实的同时，模板、砂箱和型砂作高频率 (10~13 Hz，普通震击造型频率为 1.1~3.3 Hz)，小振幅 (3~8 mm，普通震击造型为 30~80 mm) 震动的一种造型方法。它的工作原理如图 7-5 所示。当压缩空气经过工作台的进气孔进入微震气缸后 (图 (a))，在压缩空气的压力作用下，微震活塞与固定在工作台上的模板、砂箱上升；同时压缩空气的压力还使微震气缸向下运动，压缩微震气缸下的弹簧 (图 (b))；

当微震活塞上升至打开排气孔时 (排气孔面积是进气孔的 6~7 倍)，缸内气压迅速降低，工作台等靠自重下落，而微震气缸受弹簧作用上升，使二者发生撞击 (图 (c))，使砂箱内型砂获得一次紧实。这样多次重复震击过程，型砂就能逐渐而又迅速地达到预定的紧实度要求。

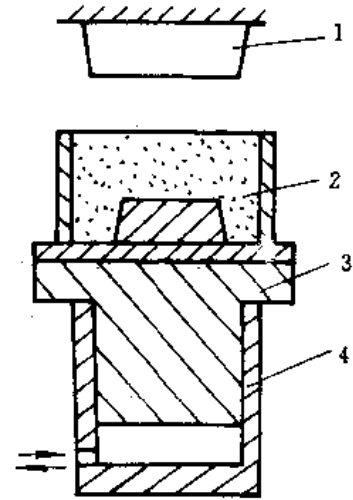


图 7-4 压实紧实示意图

- 1—压头 2—型砂
3—活塞 4—压实气缸

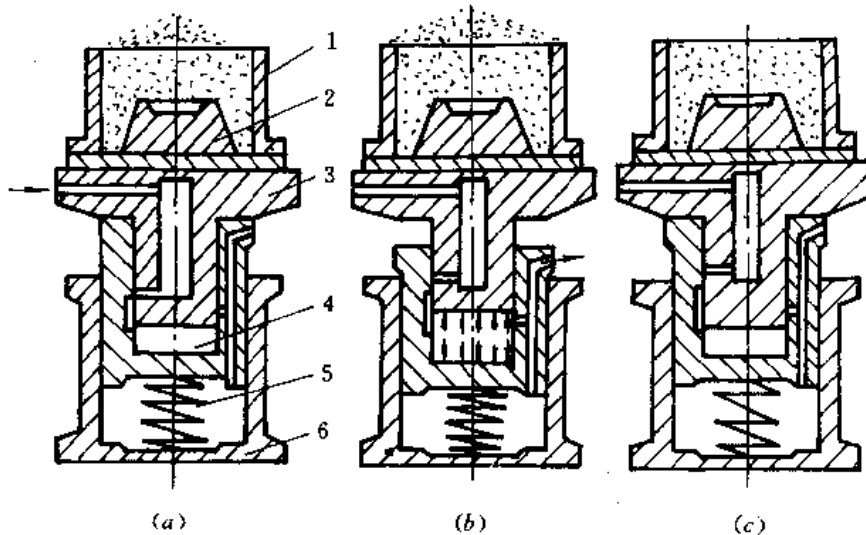


图 7-5 气动微震造型工作原理

(a) 填砂 (b) 工作台上升 (c) 震击

- 1—砂箱 2—模板 3—工作台及微震活塞 4—微震气缸 5—弹簧 6—机座

微震压实造型比单纯压实效果好，在相同压力下，能获得更高的紧实度，相当于提高比

压 30~50%，而且砂型的紧实度分布比较均匀；生产率高，每小时可达 120 箱以上，铸件质量较好；震击噪音小，劳动条件好，并可降低对厂房基础的要求；机器使用可靠，制造、维修方便，价格也比较低廉。其主要缺点是仍有一定的噪音。微震压实造型在中小铸件的生产中已得到较为广泛的应用。

上述的压实造型是中低压压实，其压实比压在 0.4 MPa 左右。近年来，在国内外大量发展和采用高压压实的造型机。用高压造型机造型时，由于提高了压实比压（一般大于 0.7 MPa）。砂型硬度、紧实度和强度都有很大提高，沿砂箱高度方向的紧实度分布有改善，砂型轮廓清晰，可以得到尺寸比较准确的铸件，铸件精度可达 CT7~8 级，表面粗糙度为 $R_{a\max} = 3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$ ；由于铸型紧实度高，蓄热系数也高，加快了金属凝固、冷却速度，改善了铸件内部质量，提高了力学性能；由于铸件精度高，可以减少加工余量，节约金属、加工工时及费用；压实紧砂工艺简单、生产率高，易于机械化，每小时可造 200~300 箱砂型；噪音小，劳动强度低，劳动条件好；适应性强，能制造复杂、较大的铸件。高压造型的缺点是机器结构复杂，生产线投资大；要求工艺装备精度高，刚性大，因而费用高；要求有较高的设备维修保养能力。高压造型适用于成批大量生产砂箱尺寸较大、铸件较复杂及要求较小的尺寸公差和表面粗糙度的铸件的生产。

(四) 抛砂、吹砂、射砂和射压紧实

有些工厂在生产大型铸件时，也使用抛砂机进行抛砂紧实造型，其工作原理如图 7-6 所示。利用高速旋转（1 000 r/min）的砂铲，将送入抛砂头的型砂以每秒 30~50 m 的速度抛入砂箱或芯盒中，可以使填砂和紧实同时进行。抛砂紧实的方法生产率高，噪音小，造型时不需要特别的模板、砂箱，所以这种方法不受生产批量的限制，特别适于大型铸件的砂箱造型。

在制造酚醛树脂壳芯时多采用吹砂法。这种方法也叫壳芯法。利用壳芯机将制备好的酚醛树脂砂吹入加热的芯盒内，并保持一定的结壳时间，使靠近芯盒壁的树脂受热熔融而粘成一薄层砂壳，然后将芯盒中未硬化的树脂砂倒回砂斗中；芯盒中的树脂砂继续受热，树脂固化，形成强度很高的薄壳砂芯。吹砂法制芯分为顶吹和底吹两种，其详细工作过程见于第三章，这里不再赘述。

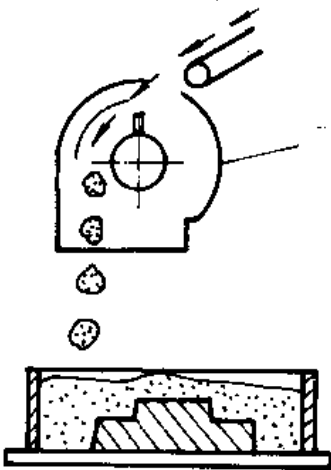


图 7-6 抛砂紧实示意图

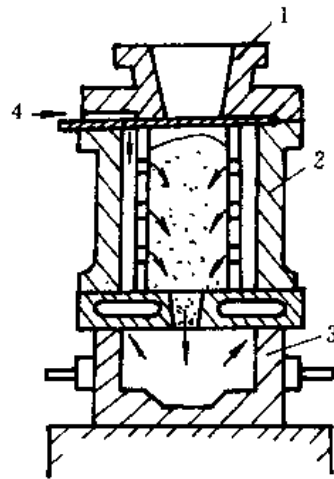


图 7-7 射砂紧实示意图

1—砂斗 2—射砂筒
3—芯盒 4—压缩空气入口

射砂（射芯）是将型砂或芯砂悬浮在压缩空气流中，以高速射入砂箱或芯盒中来完成紧实过程。其工作原理如图 7-7 所示。

射砂工作开始时，砂斗 1 中的型砂（芯砂）进入射砂筒 2 中，在压缩空气作用下将芯砂射入芯盒 3 中，完成填砂和紧实工作。而射入芯盒（或砂箱）中的气体从射头的排气孔排出。

射砂紧实的优点是：填砂和紧实过程同时完成，时间极短（不超过 1 s），因此生产率高；能形成比较复杂的砂芯，紧实度均匀，砂芯质量好；在密闭状态下射砂，砂耗少；操作简单，便于自动化，劳动强度低。射砂紧实在广泛应用于大批量造芯。

单纯射砂所得到的紧实度，对砂型来说还不够高，对于造型时往往需要补充加压压实。先射砂后加压压实的方法称射压紧实。射压紧实在高压造型中得到广泛应用。水平分型的射压有箱高压造型线在我国已有使用，且多是工厂自行设计制造的。而垂直分型的无箱高压造型，则多采用射砂和侧向压实紧实，由于采用射砂填砂又经高压压实，因而砂型硬度高而且均匀，铸件尺寸精确、表面光洁。该工艺适用于大量生产及中小批生产的中小铸件。

（五）气流冲砂紧实

气流冲击紧实造型是将压力为 0.4~0.6 MPa 的压缩空气储存在固定容器中，然后瞬时排出，以均匀的气流冲击型砂表面，使型砂紧实的方法。这是一种用气力压实造型的新方法。

气流冲击紧实的原理如图 7-8 所示。铸型的紧实机构采用脉冲发生器（或叫冲击头），结构似储气罐（图 7-8 (a)），内有一小室 3，室内压缩空气压力通常为 0.4~0.6 MPa，称为过剩压力。小室外部压缩空气压力通常比室内的空气压力低 0.1 MPa，称为储气罐压力。

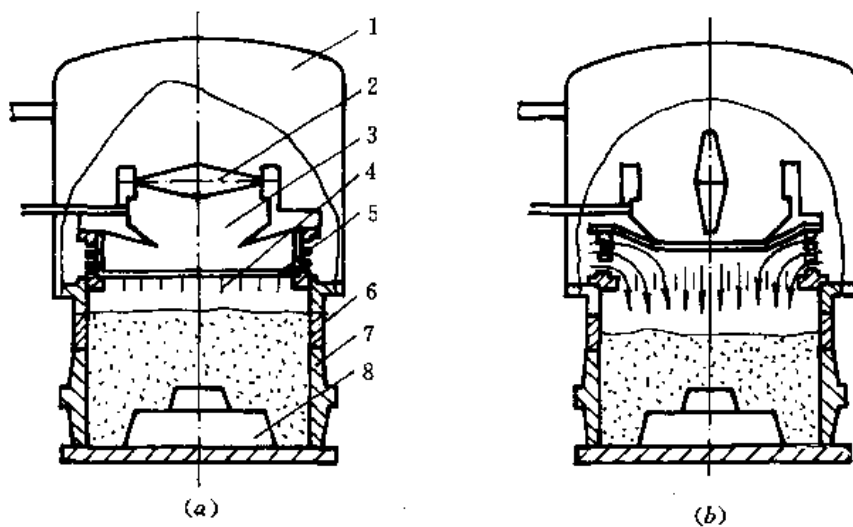


图 7-8 气流冲击造型原理

1—储气罐 2—单向快开阀 3—小室 4—分流器
5—隔膜阀 6—辅助框 7—砂箱 8—模样

当砂箱 7 和辅助框 6 充满型砂，移到冲击头下边并被压紧后，打开单向快开阀 2 时，室内压缩空气的过剩压力骤然下降，强制打开隔膜阀 5，使压缩空气迅速加速而产生气流冲击，继而由于空气急剧膨胀而形成压力波，其速度可达 800 m/s 以上；压力波在若干毫秒内穿透整个砂型，使型砂紧实。

气流冲击造型的主要优点是：砂型紧实度均匀，砂型硬度高，铸件尺寸精度和光洁程度

都得到提高；造型机结构简单，噪音小；生产率高，劳动条件好；砂型充填性好，吃砂量少，可节约型砂及混砂能耗；适应性强，既可利用高压造型型砂，也可利用普通机器造型型砂。缺点是仍有一定的噪音；砂箱或芯盒必须有足够的强度和刚度。

§ 7-3 砂型(芯)的烘干、合箱与浇注

一、砂型与砂芯的烘干

(一) 烘干的作用

大型、重型以及质量要求高的铸件，普通砂型和砂芯均需经过烘干，以除去其水分，提高其强度和透气性，减少发气量，使铸件不易产生气孔、砂眼、夹砂和粘砂等缺陷，从而保证铸件的质量。

不同粘结剂在烘干时发生不同的物理化学变化，故而其烘干实质也不同。其烘干过程的物理化学变化在粘结剂一章中已作了详细介绍，本章主要讨论烘干除水的原理及过程。

(二) 烘干原理

砂型和砂芯是多孔性物体，其水分的去除大致可分为两步进行：表面水分的蒸发和内部水分的迁移(扩散)。因此砂型或砂芯的干燥速度决定于表面层水分蒸发的速度和内部水分的扩散速度。表面水分蒸发速度与饱和水蒸气压力与炉气中水蒸气压力的差成正比。水分迁移的速度决定于砂型内外的湿度梯度和温度梯度。水分迁移速度(水汽流密度)可由下式表示：

$$i = -K\rho_0(\Delta u - \delta\Delta t) \quad (7-1)$$

式中： i ——水汽流密度；

K ——水汽扩散系数；

δ ——热湿度传导系数；

ρ_0 ——砂型(芯)的密度；

Δu ——湿度梯度；

Δt ——温度梯度。

式中负号表示水汽流密度的方向与湿度梯度的方向相反，即水汽向着湿度小的方向运动。

砂型(芯)在烘干炉内加热过程中，其内部湿度梯度与温度梯度方向相反。湿度梯度使水分由内向外迁移，而温度梯度迫使水分向内迁移。因此，为了达到快速干燥的目的，就必须分阶段合理地控制烘干过程，努力做到砂型(芯)内外湿度梯度大而温度梯度小。

(三) 烘干过程

根据上述烘干原理，烘干过程应大致分成三个阶段进行控制：

(1) 升温预(匀)热阶段：此阶段要求砂型(芯)内温度和湿度差小，保证能快速热透。开始时必须慢速升温，以免砂型中的温度梯度过大使水分向内部迁移；否则，不仅会降低干燥速度，而且还可能使砂型(芯)表层过烧、开裂、松散和脱落。在此阶段，干燥炉的烟道应尽量全部关闭，燃烧室也不进行剧烈燃烧。

(2) 高温加热，水分大量蒸发阶段：这个阶段炉温应迅速上升，达到规定的温度，并进行保温。为了使砂型(芯)内部的水分能够迅速排出，必须使含有水分的炉气排出炉外，加速

炉气循环。因此在这个阶段，应把排气烟道闸门全部打开。

(3) 炉内冷却阶段：此阶段，停止燃烧、烟道门半开。砂型（芯）缓慢冷却，本身蓄热继续排除残余水分，砂型得到彻底干燥。

(四) 烘干方法

(1) 表面烘干：为了缩短生产周期，减少燃料能源消耗，以及有利于组织流水作业，在能达到质量要求的条件下，应尽量应用表面烘干。表面烘干的方法主要有：

① 喷灯火焰表面烘干 适用于砂型（芯）局部修理后的烘干和上涂料后的二次烘干。这种方法温度高而集中，烘干速度快。

② 移动式焦炭炉或煤气炉表面烘干 它们多用于地坑造型表面烘干，也有作成通道式烘干机用于自动线生产的。

③ 远红外线辐射表面烘干 红外线具有很强的热辐射能力。分为近红外线与远红外线，波长在 $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}$ 以上者为远红外线，其波长因与大多数被加热物质的振动波长相同而被吸收，从而引起被加热物质的电子共振和分子共振，直接转变为热能。铸型表面烘干利用的就是远红外线的这种特性。

远红外烘干器的主要部分是热源和辐射器。热源有煤气燃烧器、电阻发热器等；辐射器由基体和外表的高辐射率涂层构成。辐射基体有碳化硅、锆石英、碳钢和不锈钢等的板、管和网；高辐射率涂层的作用是提高辐射能量，它是由 ZrO_2 、 Zr_2O_3 、 SiO_2 和 Fe_2O_3 等组成的混合物，它与基体烧结在一起，或者涂刷、熔射在基体上。远红外线加热器有平板状、管状和灯状三种。红外线干燥穿透能力强，热源稳定，装置结构简单，热效率高，生产率高，车间卫生条件好。所以是一种较好的表面烘干方法。

④ 高频干燥炉烘干和微波技术烘干等新方法也已在烘干中应用。

(2) 整体烘干：一般大型和较重要的砂型和砂芯都要进行整体烘干。一般在周期作业或连续作业的烘干炉中进行。周期式烘干炉有台车房间式烘干炉和抽屉式烘干炉。前者用于大中型砂型或砂芯的烘干；后者用于较小砂芯的烘干。连续式烘干炉用在大量生产的铸造车间。它是用传送链将砂芯沿烘干炉的一端送入炉中，而由另一端送出。这种烘干炉有卧式和立式两种，后者占地面积小。炉内各部位按烘干规范的要求保持确定的温度和运行时间，使砂芯逐渐升温、保温和降温冷却。所以烘干操作可连续不断地进行，利用率高于周期式烘干炉。

二、合 箱

合箱就是把砂型和砂芯按要求组合在一起成为铸型的过程。习惯上也称拼箱、配箱或扣箱。

铸型的合箱是制备铸型的最后工序，也是铸造生产的重要环节。如果合箱质量不高，铸件的形状、尺寸和表面质量就得不到保证；甚至还会由于编芯、错箱、抬箱跑火等原因而使铸件报废。

合箱工作一般按以下步骤进行：

(1) 全面检查、清扫、修理所有砂型和砂芯，特别要注意检查砂芯的烘干程度和通气道是否通畅。不符合要求者，应进行返修或废弃。

(2) 按下芯次序依次将砂芯装入砂型，并严格检查和保证铸件壁厚、砂芯固定、芯头排气和填补接缝处的间隙。无牢固支承的砂芯，要用芯撑在上下和四周加固，以防砂芯在浇注时

移动、漂浮。装在上箱的砂芯，要插栓吊紧。砂芯与砂芯之间接缝较大时，须使用填补料修平，并用喷灯烘干。

(3) 仔细清除型内散砂，全面检查下芯质量，在分型面上沿型腔外围放上一圈泥条或石棉绳，以保证合箱后分型面密合，避免液态金属从分型面间隙流出。随后即可正式合上箱。

(4) 放上压铁或用螺栓、金属卡子固紧铸型。放好浇口杯、冒口圈。在分型面四周接缝处抹上砂泥以防止跑火。最后全面清理场地，以便安全方便地浇注。

三、浇 注

(一) 浇注前的准备工作

铸型合箱紧固后浇注前应做好下述浇注准备工作：

- (1) 了解浇注合金的种类、牌号、待浇注铸型的数量和估算所需金属液的重量。
- (2) 检查浇包的修理质量、烘干预热情况及其运输与倾转机构的灵活性和可靠性。
- (3) 熟悉各种铸型在车间所处的位置，以确定浇注次序。
- (4) 检查浇口、冒口圈的安放及铸型的紧固情况。
- (5) 清理浇注场地，保证浇注安全。

(二) 浇注工艺

为了获得合格铸件，必须控制浇注温度、浇注速度，严格遵守浇注操作规程。

(1) 浇注温度：浇注温度对铸件质量影响很大，因此应根据合金种类、铸件结构和铸型特点确定合理的浇注温度范围。

金属液由炉中注入浇包时，温度都会降低。为了减少包内降温，应从如下几方面着手：

- ① 修好的包一定要充分烘干，浇注前须预热，使用浇包的温度应不低于 650~850℃。
- ② 尽量避免倒包，减少金属液在包中的停留时间和缩短运输距离。
- ③ 浇包壁可采用高效保温材料，金属液出炉后，在包内液面加保温集渣覆盖剂。
- ④ 加强测温，严格监控金属液在包内的降温情况和浇注温度。

(2) 浇注操作要点

① 浇注之前需除去浇包中金属液面上的熔渣。

② 依规定的浇注速度和时间范围进行浇注。浇注时应避免金属液流的飞溅和中断；开始慢浇，且不能直冲直浇口，以免冲毁砂型；中间快浇（规定的浇注速度），以充满浇注系统；浇口杯中应始终保持一定数量的金属液，以防渣、气进入铸型；快充满时应慢浇，以防溢出和减小抬箱力。

③ 有冒口的铸型，浇注后期应按工艺规范进行点注和补注。浇注后应注意引燃从铸型排出的气体。

④ 浇注后待铸件凝固完毕，要及时卸除压铁和箱卡，以减少铸件收缩阻力，避免裂纹。

§ 7-4 铸件的落砂与清理

浇注完毕，铸件凝固以后，还必须进行落砂、清理、表面处理等工作，才能得到合格铸件。

一、铸件的落砂

铸件凝固冷却到一定温度后，把铸件从砂箱中取出，去掉铸件表面及内腔中的型砂和芯砂的工艺流程称为落砂，落砂通常分为人工落砂和机械落砂两种。

(一) 人工落砂

在非机械化铸工车间，一般是在浇注场地人工就地落砂。人工用大锤、钢钎或者风锤敲击砂箱和捅落型砂，不得用锤子直接敲击砂箱中部和铸件本体，免得损坏砂箱和铸件。落砂后把冷铁、芯骨、铁钉等收集放好，以便再用。就地落砂劳动条件差，生产率低，用于单件小批生产的非机械化铸工车间。

(二) 机械落砂

在机械化生产线上，通常采用机械化落砂。机械落砂是把铸件放在震动落砂机上进行震动，使砂子下落。对于无箱档砂箱的落砂，可将砂箱和铸件一同吊至震动落砂机上进行。若在流水线上浇注，可利用气动推杆将砂箱和铸件一同推到落砂栅格上。对于有箱档砂箱中的铸件落砂，通常是先将上箱吊起，取出铸件，然后将上下箱吊至震动落砂机上进行落砂。机械落砂效率高，但机械易损坏，维修调整困难，而且噪音大。

(三) 清除砂芯的方法

从铸件中清除砂芯是一项繁重的工作，采用手工清砂时，劳动强度大、灰尘多，卫生条件差，故生产中常采用下述有效的清砂除芯方法：

(1) 水力清砂除芯：水力清除砂芯是利用高压水的高速射流来切割、冲刷铸件上残留的芯砂与粘砂的一种有效方法。水力清砂除芯法无粉尘，改善了劳动条件；生产率高，为手工清砂的5~10倍。缺点是需要庞大的沉淀池和湿砂干燥设备。

为了提高清砂效果，特别是在清理铸钢件芯砂时，可在高压水射流中加入砂子，这种方法还可部分地用来清理铸件表面的粘砂，称为水砂清砂法。

(2) 水爆清砂除芯：浇注后的铸件待冷却到适当温度，从铸型中取出立即浸入水中，水迅速进入砂芯，急剧汽化膨胀，当水汽达到一定压力后便产生爆炸，使砂芯爆裂而脱离铸件，以达到清砂除芯的目的。这种方法叫水爆清砂除芯法。

水爆清砂设备主要是水爆池和吊车，设备简单。这种方法不仅可以防止硅尘危害，提高清砂效果，而且可以节省能耗和免除工人强体力劳动，许多工厂用以清理铸钢件。

二、铸件的清理

为了提高铸件表面质量，还需进一步对铸件进行清理，切除浇冒口，打磨毛刺并进行吹砂。

(一) 浇冒口的切除

铸件在清理前后，必须除去浇注系统和冒口。中小型铸铁件可以用锤打掉浇冒口。铸钢件一般用氧气切割或电弧切割来去掉浇冒口。不能用气割法切除浇冒口的铸钢件和大部分铝、镁合金铸件，是用车床、圆盘锯及带锯等进行机械切割以去除浇冒口。

(二) 铸件的表面清理

铸件的表面清理包括去除铸件内外表面的粘砂、分型面和芯头处的披缝、毛刺、浇冒口痕迹等。其方法有：

(1) 手工清理：用钢丝刷、凿子、锉刀等工具进行清理。劳动强度大，卫生条件差，效率低。但形状复杂的铸件，用手工清理仍是合适的。

(2) 滚筒表面清理：将铸件装入滚筒，利用铸件之间以及铸件与附加角铁之间的摩擦、碰撞来去除铸件表面粘砂、毛刺和氧化铁皮。其设备结构简单，易于制造，清理效果尚好；缺点是生产率低，噪音大。适于中小型铸造车间。

(3) 喷、抛丸表面清理：喷丸清理是用 4.90~5.88 MPa 的压缩空气，使弹丸从喷嘴以 50~70 m/s 的高速喷到铸件表面上，将粘附在铸件表面的型砂、氧化皮等清除掉。

抛丸清理是用高速旋转的叶轮将弹丸以 60~80 m/s 的速度，呈扇形扩散角抛射到铸件表面上，将粘附在铸件表面的型砂、氧化皮等去除掉。

弹丸材料、形状、粒度对清理效果影响较大。以铁制圆形最好，最常用。由于喷丸、抛丸两种方法各具特点，故出现了喷抛联合清理设备，先抛后喷，用抛丸法清理大面，以喷丸法清理死角、内腔，互相补充，从而大大提高清理效率。

三、铸件表面处理

有些铸件经过上述处理以后，还需进行表面处理。如镁合金铸件在吹砂后需进行表面氧化处理，在表面生成一层致密而又有保护作用的薄膜，防止或减轻镁合金在使用过程中产生腐蚀。其氧化处理工艺为：

(1) 先在含有 20~50 g/l 的硝酸槽液中腐蚀 15 min，再用冷水清洗。

(2) 将铸件在氧化槽液中处理 15 s 至 2 min，槽液温度为 70~80℃，成分为：重铬酸钾或重铬酸钠 46~55 g/l，硝酸 90~120 g/l，氯化铵或氯化钠 0.75~1.25 g/l。

氧化处理后，用冷水清洗，再用 50~70℃ 热水清洗，最后用压缩空气吹干。经氧化后的铸件表面呈亮黄色，耐蚀性可有明显增加。

铸铁件、铸钢件在检验合格入库前，还须涂上底漆，以防生锈，并作为进一步油漆的基底。

§ 7-5 铸件质量检验与缺陷修补

铸件质量包括铸件内在质量、外在质量、使用质量等几个方面。铸件质量的具体要求，一般在零件图和有关技术文件中都有明确规定。为了保证铸件质量，铸造生产各个环节，特别是清理后，都要进行质量检验。凡是有缺陷的铸件，经修补后能满足要求，不影响使用者均应进行修补。

一、铸件缺陷的检验方法

(一) 外观缺陷的检验

外观缺陷的检验是一种最简单的方法。检查时用肉眼或借助放大镜及尖嘴锤等工具，观察寻找暴露在铸件外表的缺陷，如裂纹、表面气孔和缩孔、粘砂等缺陷；利用卡钳、直尺、千分尺、样板和工作平台等来检验铸件尺寸是否符合图纸要求和尺寸偏差是否在允差范围内；借助各种称量工具来检验铸件重量是否在允许的偏差范围内。

(二) 表面缺陷检验

(1) 荧光探伤法：把铸件浸泡在荧光液中；由于毛细现象，荧光液渗入铸件表面缺陷处，然后取出铸件并擦净，置于紫外线（水银石英灯）照射下。利用荧光液经紫外线照射发光的原理，可判断表面裂纹等缺陷的部位，如图 7-9 所示。

(2) 着色法：利用液体的渗透性质，在被检的铸件表面涂上一层渗透性很好的着色液（如煤油、丙酮、颜料等的混合物），待液体渗入表面的缺陷处，擦去面上着色液，喷上一层锌白等白色显示粉液，这时残留在缺陷孔隙处的着色剂又被吸到表面显示粉上来，呈现出缺陷的形状。

(三) 内部缺陷检验

(1) 射线检验：射线检验可发现铸件内部缺陷如气孔、缩孔、裂纹、夹杂等。图 7-10 所示为射线检验示意图。对重要铸件如航空发动机涡轮叶片等要 100% 进行射线检验。射线检验中常用的射线有两种：即 X 射线和 γ 射线，前者的穿透力不如后者但灵敏度高于后者，这些射线能穿透金属使底片感光。

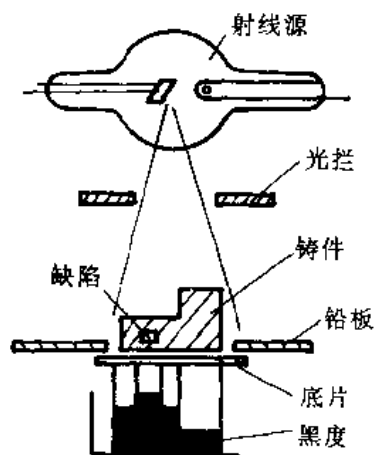


图 7-10 射线检验示意图

射线穿透物体时与物体中的原子相互作用，射线的能量不断地被吸收和散射而逐渐衰减。物体的密度越大，能量衰减亦越快，铸件中的孔洞，夹渣等其密度远低于金属密度，射线经过与这些缺陷作用衰减较小，在底片上的能量比无缺陷处来得大，因而能在底片上显示出缺陷图形。

(2) 超声波检验：超声波检验亦可发现铸件内部缺陷如气孔、裂纹、夹渣、缩松等。对铸钢件来说，用此法可探测的铸件壁厚达 10 000 mm。为探测壁厚最大的一种方法。

超声波检验用的工作频率常在 1 MHz 以上。超声波从一种介质传播到另一种介质时在界面上会产生反射，特别当超声由金属传向空气时差不多有 99% 从界面上反射回去。超声波检验就是应用这一特性来发现铸件内部缺陷的。当探头在铸件上缓慢移动时，如铸件无缺陷则在示波屏上只出现探测面上反射形成的 T 波和底面上反射形成的 B 波；如铸件上某部位有缺陷则还出现因缺陷反射的 F 波如图 7-11 所示，缺陷越大，F 波的高度也越大，从而可确定铸件中缺陷的位置及严重程度。

(3) 压力试验：对高压、真空用的铸件如泵体，阀门等须作压力试验，以检查铸件是否存在孔洞缺陷。试验时将有一定压力的空气（或水、油等）通入被密封的铸件内腔中，如铸件有穿透的裂纹，孔洞等就会出现渗漏，从而发现缺陷的位置。压力试验的压力通常要超过铸件工作压力 30~50%，这对铸件也是一种强度考核。

当铸件不易构成密封空腔无法进行压力试验时，可用倒入煤油检验铸件的致密性。因煤油粘度小、渗透性好，有缺陷存在时煤油就会往外渗漏。

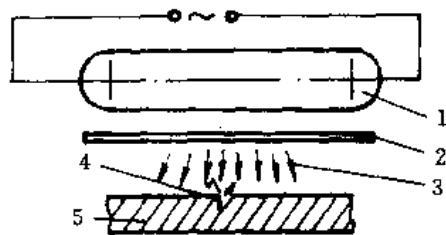


图 7-9 荧光探伤示意图

1—光源 2—滤光片 3—紫外线
4—充满荧光物质的缺陷 5—铸件

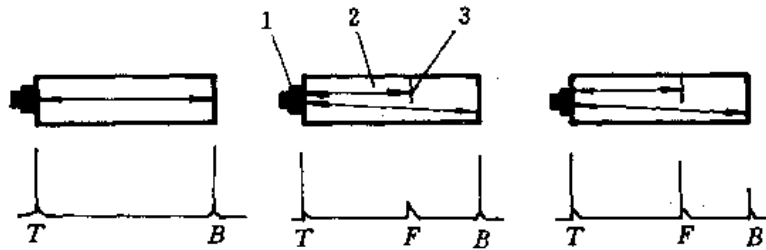


图 7-11 超声波检验示意图

1—探头 2—铸件 3—缺陷

二、铸件缺陷的修补

(一) 用腻子 and 环氧树脂修补

对铸件不甚重要但又有装饰意义的部位上，发现的孔眼类缺陷，可根据铸件的颜色来配制腻子予以修补，常用的腻子配方为铁粉 75%，水玻璃 20% 和水泥 5%。

对于铸件的非加工面、静止面和非主要位置导轨上的缺陷，以及油池、油箱的漏油缺陷等，均可用环氧树脂粘补剂粘补。

(二) 焊接修补

电弧焊主要用以焊补铸钢件铸造缺陷或机械加工时产生的缺陷。一般不需预热即可焊补，但铸件重要部位或结构很复杂需焊补较多金属时，为防止和消除内应力，提高堆焊金属的塑性和降低硬度，也需在焊前预热和焊后退火。

气焊大多数用来焊补未经机械加工的铸铁和有色金属铸件。铸铁性脆，为防止焊补时产生内应力和裂纹，往往需缓慢预热至 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ ，焊后缓冷至 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，形状复杂的铸铁件，焊后还需在 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 下退火。铝合金铸件焊补，为了防止氧化，常采用氩弧焊，用还原弧予以保护。

(三) 浸渗修补

浸渗是解决铸件渗漏问题的新技术。它是将呈胶状的浸渗剂渗入铸件的孔隙，然后使浸渗剂硬化与铸件孔隙内壁联成一体，从而达到堵漏的目的。常用的浸渗剂有水玻璃型和合成树脂型两类。目前国内一般应用真空加压法对铸件进行整体渗补。铸件装入专用的笼子内后放入浸渗罐内，抽真空 $1.5\sim 2\text{ min}$ （压力低于 5 kPa ）注入浸渗液淹没铸件，使浸渗剂渗入到缺陷孔隙中。然后通入 $0.5\sim 0.7\text{ MPa}$ 的压缩空气，保压 20 min 进一步加强浸渗效果。取出铸件清洗净，待浸渗液固化即可。

复习思考题

1. 砂型铸造常用的铸型有哪几类？各有何特点？如何根据铸件结构特点、技术要求和生产性质等选择铸型种类？

2. 常用手工与机器造型方法有哪些？各有何特点？如何根据铸件特点与生产性质等选择造型方法？

3. 对型砂紧实度有什么要求？各种紧实方法对紧实度有何影响？

4. 砂型和砂芯在什么情况下需烘干？烘干有何作用？烘干原理是怎样的？如何控制烘干

过程?

5. 砂型和砂芯有哪些烘干方法?各自的特点和应用范围如何?
6. 为什么说合箱是铸造生产的重要环节?合箱的基本工艺操作是怎样的?
7. 浇注前应作哪些准备工作?浇注时为什么要控制铸件的浇注温度?如何保证浇注温度?
8. 浇注操作时应注意什么问题?
9. 铸件落砂、清理要完成哪些任务?使用哪些方法?它们的工作原理、特点、工艺参数以及应用范围如何?
10. 清除砂芯常用哪些方法?如何提高清砂效果?
11. 镁合金铸件表面处理的目的是什么?工艺过程是什么?
12. 应从哪几方面检验铸件缺陷?采用哪些检验方法和手段?
13. 在什么情况下对铸件缺陷进行修补?修补的方法有哪些?它们的特点和应用范围如何?

第八章 熔模铸造

§ 8-1 模 料

一、概 述

熔模的尺寸精度和表面质量直接影响型壳以及铸件的尺寸精度和表面质量。为了获得高质量的铸件，就必须采用优质模料和合适的制模工艺制作高质量的熔模。

(一) 模料性能的基本要求

对熔模模料性能的基本要求概括为热物理性能、力学性能和工艺性能等三方面。热物理性能方面的要求，主要指有合适的熔化温度和凝固区间，较小的热膨胀和收缩，较高的耐热性（软化点）；模料在液态时应无析出物，固态时无相变。力学性能方面的要求主要有强度、硬度、塑性、柔韧性等。工艺性能方面的要求主要有粘度（或流动性）、灰分、涂挂性等。

1. 模料的熔点和热稳定性

为了使配制模料、制造熔模和脱模的工艺简单方便，模料的熔点不宜太高或太低，通常应在 50~80℃ 之间。模料凝固区间的宽度一般以 5~10℃ 为宜，太窄则模料凝固时二相区内固、液相比比例变化快，压注时模料稠度不便掌握；太宽时又会使软化点降低。

熔模模料系由多种原材料混合而成，模料中既有晶质，又有非晶质或微晶质。由于非晶质材料固-液态的转变是一个由软化进而熔融的渐变过程，没有一个确定的转变温度，通常用“软化点”来表示非晶态物质固-液态转变的临界温度。这种临界温度的表示方法以特制试样在温度变化时力学状态的相应变化为依据，因此，软化点的温度与具体的测试方式有关。模料的软化点一般指悬臂试样伸出端下垂 2 mm 时的温度。所以软化点表征了模料抗热变形的能力，是模料热稳定性的主要指标。航空部标准 HB5350.2—86《熔模铸造模料热变形量测定方法》中提出，模料热变形量以 H_{34-2} 不超过 2 mm 为好，此标准相当于软化点不低于 35℃。生产实践中一般要求模料的软化点比制模及制壳工作地的室温高 10~15℃。

2. 模料的热膨胀和收缩特性

模料热胀冷缩小，可以提高熔模的尺寸精度，也有利于减少熔模的表面缺陷，减少脱蜡时胀裂型壳的可能性。所以收缩率小是模料最重要的性能要求之一，一般应小于 1%，目前国内较好的模料收缩率达 0.5% 左右。

3. 模料的流动性和成型性

模料应具有良好的流动性和成型性，以保证压制时充填良好、准确清晰地复制出压型型腔表面以及脱模容易。由于要准确测出模料的流动性相当困难，一般多以粘度来反映流动性。粘度低易于充满型腔，也有利于脱蜡和回收模料。粘度过小又易导致模料注入型腔时形成紊流、飞溅，在熔模表面产生流痕、气泡等缺陷。模料粘度可按 HB5350.5—86《熔模铸造模料粘度测定方法》测定。

4. 模料的强度和表面硬度

熔模应具有足够的强度、表面硬度以及韧性，确保在操作过程中不至损坏、变形或划伤。

测量模料强度可按 HB5350.3—86《熔模铸造模料抗弯强度测定方法》进行。模料强度一般不应低于 2.0 MPa，最好为 5.0~8.0 MPa。

表面硬度测试可按 HB5350.4—86《熔模铸造模料表面硬度测定方法》进行。优质模料的表面硬度多在 4°~6°范围，硬度太高则模料容易发脆。

5. 模料的涂挂性

熔模表面和耐火涂料之间应能良好润湿，不发生化学反应，以保证涂料层具有一定厚度，而且完整均匀，能复制出清晰的熔模表面。模料的涂挂性可以用熔模表面与粘结剂的接触角来测量，测试方法见 HB5350.7—86《熔模铸造熔模-粘结剂接触角测定方法》。

6. 模料的灰分

脱模后残存在型壳中的模料经焙烧后形成灰分，灰分很难清除，对铸件的表面质量和内部质量都会产生不良影响。通常要求模料的灰分 $<0.05\%$ 。其测量方法见 HB5350.5—86《熔模铸造灰分测定方法》。

实际上，生产中对模料的要求还不止以上六项，模料配制的难易、回收方便与否、复用性好坏、货源与价格及有无公害等都是在选用和研制模料时必须加以考虑的。

(二) 模料的分类

随着熔模铸造工艺的发展，模料的种类日益繁多，组成各不相同。因此，模料的分类比较复杂，公认的分类方法有两种：

第一种分类方法是根据模料的熔点来确定的。通常按模料熔点的高低将其分为高温、中温和低温模料。低温模料的熔点低于 60℃，我国目前广泛应用的石蜡-硬脂酸各 50%的模料属于这一类；高温模料的熔点高于 120℃，组成为松香（50%）、地蜡（20%）、聚苯乙烯（30%）的模料即比较典型的高温模料。中温模料的熔点介于上述两类模料之间，现用的中温模料基本上可分为松香基和蜡基模料两种。

模料的第二种分类是按照模料基体材料的成分确定的。根据近年来模料发展的状况，可将其分为蜡基模料、松香基模料、塑料模料、水溶性模料以及填充模料等五类。

二、模料原材料的性能与分子结构的关系

(一) 模料原材料的分类

模料组成中原材料的种类很多，通常可按化学结构分为下列三类：

1. 脂肪族化合物（蜡类）

主要有烷烃、脂肪酸和酯三种。

(1) 烷烃蜡：在脂肪族的分子中，如果碳原子都是以单键 C—C 相连，其余价键都被氢原子所饱和，这样的烃称为饱和烃，亦即烷烃，其化学通式为 C_nH_{2n-2} 。烷烃蜡则是一种固体烷烃，其碳原子数 $n > 17$ 。普通石蜡是 $n = 17 \sim 36$ 的烷烃蜡；地蜡是 $n = 37 \sim 53$ 的正构烷烃和长链异构烷烃的混合物；呈微晶型结构的微晶蜡是 $n = 50 \sim 60$ 的高级烷烃混合物。

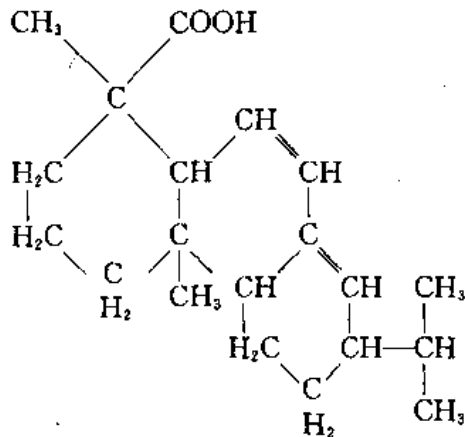
(2) 脂肪酸蜡：酸蜡的主要组成物是高级饱和一元酸，其分子通式为 $RCOOH$ ，式中 R 为烃基 C_nH_{2n+1} 。熔模铸造中使用的酸蜡主要有硬脂酸和精制褐煤蜡两种。常用的硬脂酸含碳原子数 $n = 16 \sim 18$ ，漂白褐煤蜡碳原子数 $n = 24 \sim 30$ 。

(3) 酯蜡 它是高级脂肪酸和高级饱和一元醇进行酯化反应所生成的酯的混合物，分子通式为 RCOOR' ，式中 R 和 R' 都表示烃基。熔模铸造中使用的川蜡、蜂蜡和棕榈蜡都属于这一类，川蜡的主要成分是 26 酸 26 醇酯 ($\text{C}_{25}\text{H}_{51}\text{COOC}_{26}\text{H}_{52}$)；蜂蜡的主要成分是 16 酸 30 醇 ($\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOC}_{30}\text{H}_{61}$)；棕榈蜡的主要成分是 26 酸 30 醇 ($\text{C}_{25}\text{H}_{51}\text{COOC}_{30}\text{H}_{61}$)。

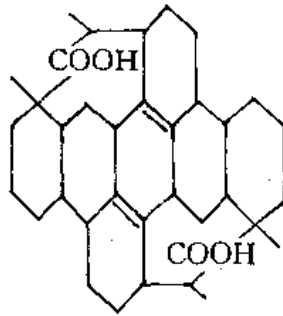
2. 脂环族化合物 (松香类)

松香、聚合松香以及改性松香均属于脂环族化合物。

(1) 松香的基本化学组成是多种同分异构树脂酸的混合物，约占 90%。其余 10% 是这些树脂酸的酯类和氧化物。在树脂酸的混合物中又以松香酸的含量居多，因此一般以它的分子式来代表松香，即 $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$ ，分子量为 302，分子中带一个羧基，两个双键以共轭位置分别处于两个相邻的环内，其分子结构简式可写作：



(2) 聚合松香：使用烷基、金属卤化物或无机酸为催化剂，在室温下常时间作用于松香，使松香酸分子结构中的双键打开，互相聚合而成聚合松香。在聚合松香中二聚体约占 40% 以上，其分子结构式为：



(3) 改性松香：改性松香属松香酯。由松香和顺丁烯二酸酐起加成反应，然后用多元醇酯化即得顺丁烯二酸酐松香酯。模料中常用的此类产品是牌号为 424 号树脂的顺丁烯二酸酐松香季戊四醇酯 (俗名苹果酸酐树脂)。

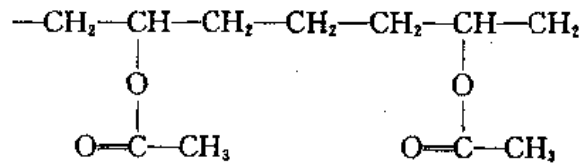
3. 热塑性高聚物

主要有聚乙烯、EVA 以及聚苯乙烯等。

(1) 低分子和高分子聚乙烯：它是一种热塑性高分子化合物，由许多乙烯分子在一定条件下聚合而成，其化学式为 $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ ，式中 $n > 1000$ 。按分子量大小，聚乙烯可分为高分子和低分子两种，前者分子量为 3000~5000，呈蜡状；后者分子量大于 60000，常温下为白色晶型结构。高分子聚乙烯按聚合时压力大小不同，可分为低压、中压和高压三种，制模

时通常用高压聚乙烯。

(2) 乙烯-醋酸乙烯酯共聚物 简称EVA, 是乙烯和醋酸乙烯酯的共聚物, 其分子结构与聚乙烯相似, 所不同的是在主链中引入了乙酸基团的支链:



(3) 聚苯乙烯: 由单体苯乙烯在加热条件下聚合而成, 其分子式可表示为 $(\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_5)$ 。由于聚合方法不同, 聚苯乙烯可分为本体聚合(颗粒状)和乳液聚合(乳状)两种。模料中使用的是含杂质较少的颗粒状聚苯乙烯。

(二) 模料原材料的熔点、热稳定性、强度、收缩率与分子结构的关系

由结构化学的基本原理可知, 模料原材料的熔点、热稳定性、强度、收缩率等物理性能与其微观分子结构有密切联系。材料分子链节数量、链型与分子链上的极性基团对这些物理性能的影响尤为直接和明显。

蜡类的分子链由十几个至七十几个碳氢链节 $(\text{---CH}_2\text{---})$ 组成。分子链愈长即链节愈多(意味着所含碳原子数愈多或分子量愈大), 则分子间的引力愈大。因此随着分子中所含碳原子数(平均值)增加, 蜡类的熔点、软化点、强度、硬度、粘度和收缩率增高。模料中常用石蜡的熔点是 $52\sim 64^\circ\text{C}$, 相应的碳原子数(平均值)为 $n=24\sim 30$, 它们具有一定的强度和良好的塑性, 但软化点低, 表面收缩较大。地蜡的熔点、软化点、强度和收缩率都比石蜡高。酸蜡中的硬脂酸分子含有 18 个碳原子, 熔点为 $58\sim 60^\circ\text{C}$ 。精制褐煤蜡分子中含有 $26\sim 30$ 个碳原子, 其熔点为 $80\sim 83^\circ\text{C}$, 硬度也比硬脂酸高。酯蜡分子中含有较多的碳原子, 其熔点和软化点比相应的烷烃(指与脂肪酸基部分相同碳原子数的烷烃)要高, 酯蜡的熔点不仅随脂肪酸的碳原子数增加而升高, 而且也随饱和一元醇的碳原子数的增加而升高。例如, 存在于石蜡中的 26 烷的熔点为 57°C , 存在于川蜡中的 26 酸 26 醇的熔点为 81°C , 存在于棕榈蜡中的 26 酸 30 醇酯的熔点为 87°C , 而蜂蜡(主要成分为 16 酸 30 醇酯)的熔点为 $62\sim 66^\circ\text{C}$ 。同时也应指出, 酯蜡分子中的 C—O 链节增加分子链的韧性, 因此酯蜡的熔点比相同碳原子数的烷烃蜡或酸蜡要低。例如, 26 酸 26 醇酯的熔点为 81°C , 而具有相同碳原子数的 52 烷的熔点为 94°C 。此外还应指出, 若蜡料中存在低分子化合物的组分, 将会降低上述性能。

分子中存在极性基团时, 增强了分子间作用力, 因此, 熔点、软化点、强度、硬度和粘度都增大, 但收缩率减小, 这是由于极性基团材料在液态时就有分子的紧密排列。分子的极性愈强, 上述影响愈明显。脂肪酸蜡的分子带有极性基, 其熔点、软化点、强度和硬度都比含相同碳原子数的烷烃蜡高, 例如, 十八酸(硬脂酸)的熔点为 $58\sim 60^\circ\text{C}$, 而十八烷的熔点为 28°C 。

分子链型结构影响材料的物理性能。直链分子中存在有支链时, 由于支链阻碍分子间的紧密排列, 降低分子间作用力, 因此, 材料的熔点、软化点、强度和收缩率都降低。当蜡料处于液态时, 由于支链的障碍, 使分子运动的内摩擦增大, 因而增大了粘度。例如, 与 90°C 石蜡碳原子数相同的微晶蜡的熔点为 83°C , 而收缩率仅为前者的 $1/4\sim 1/2$, 其原因是微晶蜡中含有甲基 (CH_3) 支链。又如, EVA 与聚乙烯相比, 由于 EVA 是在聚乙烯主链中引入乙酸基团的支链而成, 故 EVA 的熔点 (80°C) 比聚乙烯的熔点 ($105\sim 130^\circ\text{C}$) 低得多。EVA 的

收缩率为1%，而聚乙烯的收缩率大于2%。环链结构的分子间的作用力比直链的强，因而其熔点和强度高，由于环链结构紧密，因而收缩率较小。环链结构的链节活动性和柔顺性差，所以粘度大，性硬脆。

松香酸的分子结构中含有三个并联碳环，在环上带有极性羧基和碳氢支链，分子体积大而且不规则，分子间作用力强。松香酸分子结构的这些特点，决定了松香的物理性能：熔点高（89~93℃）、强度大和硬度大、脆性大、粘度大、流动性差以及收缩率小（0.09%），后者也因为松香是非晶态物质的缘故。

（三）模料原材料的结晶性与分子结构的关系

模料原材料的结晶性是指它在凝固时是否呈晶型排列以及是否有晶粒长大的可能性。除热力学条件外，材料的结晶能力取决于其分子结构和化学组成。

分子结构愈简单和愈规则，材料愈易结晶。化学组成愈纯，其结晶性也愈强。由前述可知，蜡类原材料是由脂肪族链状分子组成。其中组成较纯，具有不分支直链的蜡在凝固时排列规整，分子间内聚力大，其结晶性强。而成分较复杂、有支链结构的蜡由于支链妨碍分子组成一定的结晶序列，其结晶性也就较弱。例如，石蜡成分较纯，多数为正构烷烃，是一种典型的晶型蜡。石蜡晶体透明度较高，单个的石蜡晶体（单晶）呈多角形片状，石蜡凝固时由熔体中析出的单晶片先是重叠成沓，一沓晶片可称作一个“晶团”，石蜡块就是由许多这种晶团堆积而成的。微晶蜡分子中以支链居多，直链烃较少，其晶体形貌则跟石蜡大不相同，呈细小的针片状或不规则形状，大小处于微晶尺寸范围（即小于10 μm），所谓“微晶”，其实就是一种晶态与非晶态之间的一种过渡状态。地蜡的碳原子数介于石蜡与微晶蜡之间，而且也有异构烷烃，因此地蜡的晶体呈薄而细小的针片状，晶体尺寸比微晶稍大些。

具有极性基团的分子由于分子间引力大，凝固时容易整齐排列而易于结晶，例如，硬脂酸就是一种典型的晶态物质，其晶体粗大呈片状。分子链链节的柔顺性愈好，材料的结晶能力愈强，故酯蜡比烷烃蜡易于结晶。例如，蜂蜡也是一种结晶型蜡，晶体尺寸比石蜡小，但显著大于地蜡等微晶型蜡，一般为细长片状晶体，常聚集成菊花状晶团。

分子体积和分子量大的材料，由于凝固以前分子来不及整齐排列，所以不易结晶，例如，松香就是非晶态物质。体型高聚物也不可能发生结晶。线型高聚物聚乙烯具有一定的结晶性，但它们在开始固化时，由于分子链很长，粘度增大，很难完全排列成整齐的结晶。EVA可以看成是聚乙烯引入醋酸乙烯的改性产品。由于分子有支链，规整性差，其结晶度比聚乙烯更小。

（四）模料原材料的物态变化与其分子结构的关系

模料原材料的物态变化与其分子结构的关系在图8-1中表现得十分明显。由图中可以看出，单一有机材料（曲线1）在熔点温度时，由于晶格突然崩溃，膨胀骤然上升，体积突变，而曲线2描述的非晶体树脂（松香类原材料）在加热时则均匀膨胀。蜡类材料（曲线3）的热膨胀过程则与它们不同，加热时，蜡混合物中的高熔点和低熔点化合物（即高分子长链和低分子短链化合物）表现出不同的物理状态。在较低温度下，高分子长链化合物开始缓慢膨胀时，低分子短链部分刚开始软化，也即在同一温度下，两者的体积变化不相同。因此，膨胀曲线以较大的幅度逐渐上升，但无明显的体积突变。当蜡过渡到液态后，膨胀曲线又趋于平坦。

（五）原材料的互溶性

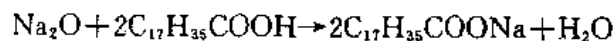
一定成分的模料由某几种原材料作为组元配制而成，它应是均质固溶体。因此，原料各个组元间的互溶性对模料的配制工艺和模料的性能十分重要。互溶性是指熔融状态的两种或两种以上组元之间，固体组元在溶体中能互相溶解的性质。按照相似相溶的原则，溶剂分子之间作用力如与溶剂和溶质分子间作用力相近似，则两者即可互溶。分子间作用力取决于分子结构，故互溶性与分子结构有关。

分子结构相近似的材料之间互溶性良好。各蜡类原料（低分子有机化合物——石蜡、地蜡、硬脂酸和川蜡等）之间能良好互溶；酸蜡和普通松香之间由于两者都有羧基存在而良好互溶；低分子聚乙烯分子结构与烷烃蜡相似，因而它与石蜡和地蜡的互溶性良好。分子结构相似而分子量差别大的两种材料可一定程度互溶。例如，高分子聚乙烯长链分子中碳原子的排列与石蜡和地蜡相同，但聚乙烯分子量大得多，因此它在温度超过 70℃ 时能少量溶解于烷烃蜡中。分子结构和分子量差异大的物质，例如改性松香和地蜡不互相溶解，高分子聚乙烯不溶于松香或硬脂酸。具有支链的高聚物由于本身分子间作用力减小，它与其他物质间的互溶性要比无支链的直链高聚物好，例如，EVA 与蜡类的互溶性要比聚乙烯与蜡的互溶性好。

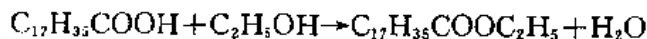
对于不能或难以互溶的物质，可通过助溶剂作为媒介而使其互溶。聚乙烯不溶于松香和硬脂酸，但含有聚乙烯的石蜡、地蜡或川蜡可良好的溶解在硬脂酸和松香中，因而石蜡等材料可作为聚乙烯的助溶剂。改性松香与蜡的互溶性不好，但相对说来，各种蜡中以褐煤蜡与改性松香的互溶性最好，故褐煤蜡可作为改性松香的助溶剂。

(六) 模料原材料的化学性质与分子结构的关系

烷烃是直链饱和碳氢化合物，化学性质稳定，在通常条件下它与酸（硝酸除外）及碱性溶液不起作用。具有极性基团和双键的有机化合物的化学活动性比烷烃大。酸蜡因其羧基中能部分地电离出 H^+ 而呈弱酸性，固态时酸性不明显，液态时有明显的酸性，随着温度提高，酸性更增大。因此，酸蜡能与化学活动性比氢强的金属起置换反应，与碱性物质发生中和反应，生成皂化物，例如，硬脂酸与水玻璃中的 Na_2O 起反应生成硬脂酸钠：



酸蜡与醇发生酯化反应生成脂肪酸，例如，硬脂酸与醇基涂料反应生成硬脂酸酯：



酯蜡的分子极性较小，其化学性质在常温下较稳定。松香的分子结构中存在双键，可进行氧化、加成和聚合反应。此外，松香分子碳环上还存在羧基，也可进行酯化反应。

熔模模料是碳氢化合物的混合物，加热时，尤其在长时间过热条件下，各种碳氢化合物会不同程度地发生氧化或热解，即分子中碳链发生分裂，生成分子量较小的烃类化合物和分子链较长的不饱和化合物和氧化基团，这些化合物不稳定，能互相聚合成更大的分子，大分子又能分裂和聚合，最后形成含碳量很高的化合物。这个过程称为模料的“树脂化”。由于树脂化的结果，模料中低分子量化合物不断挥发，而含碳量高的成分不断增加，从而改变了模料的成分和降低了模料的性能，导致模料熔点升高、脆性增大和收缩率增高。这种现象即为

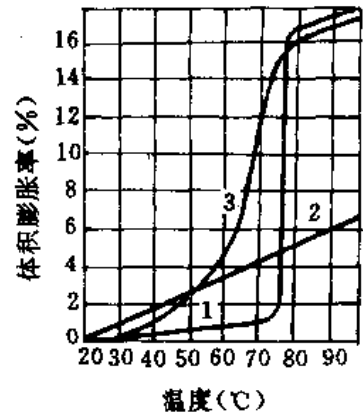


图 8-1 三种材料的热膨胀曲线

1—单一晶体有机材料

2—非晶体树脂 3—蜡

模料的老化变质。蜡类在高温时的老化变质，酯蜡比烷烃蜡和酸蜡更为显著，这是因为酯蜡分子中C—O键比C—C、C—H键容易断裂的缘故。松香的老化变质是由于松香酸分子的双键在过热条件下很易氧化，生成氧化松香，它是带羟基或环氧基的树脂酸，稳定性低，易裂解和聚合，而且粘度大。

三、模料中主要原材料的性能特点

(一) 蜡类的性能特点

石蜡和地蜡是蜡基模料中使用最多的基本成分。石蜡按照熔点高低分级，石蜡的号数就是指它的熔点。地蜡按滴点分级，号数即滴点。石蜡和地蜡熔点较低，化学稳定性好，具有良好的塑性；热稳定性不高，强度和硬度较低，收缩率较大，涂挂性较差，容易结晶。应用石蜡和地蜡可提高模料的流动性，降低模料的熔点，还可作为聚乙烯与松香、硬脂酸的助溶剂。某些高性能模料因此而选用了高度数的石蜡和地蜡。硬脂酸和精制褐煤蜡的热稳定性、强度和硬度都比烷烃蜡高，收缩率也较小。由于酸蜡分子中带有极性基，故对涂料的润湿性好，而化学稳定性差，比烷烃蜡更易结晶。模料中添加酸蜡可提高模料的热稳定性、强度和硬度，改善涂挂性。

酯蜡（主要是川蜡）的热稳定性、强度和硬度较高，收缩率较小。由于酯蜡分子带有极性基，故对涂料的润湿性较好。酯蜡的化学稳定性差，比酸蜡更易裂解。另一方面，分子链的柔顺性使酯蜡具有较强的结晶能力以及良好的熔融流动性。在蜡基模料中添加一定量的酯蜡能显著改善模料的性能，例如，提高模料的热稳定性、强度和硬度，并改善涂挂性。酯蜡中的蜂蜡熔点低、耐热性较差，收缩率偏大，强度也不高，其主要特点是质软而韧。为提高模料韧性常加入适量蜂蜡。

(二) 松香类的性能特点

普通松香、聚合松香和改性松香的共同优点是它们都是非晶型物质，收缩率极小，强度和硬度高，涂挂性好。它们的共同缺点是粘度大，流动性很差，性脆。普通松香的热稳定性和化学稳定性差，而聚合松香和改性松香在这两方面都较好，但改性松香和蜡的互溶性不好。添加这三种松香可降低模料的收缩率，增高强度和硬度。松香和改性松香可用作改性松香的助溶剂，而聚合松香和改性松香可取代模料中的普通松香，以提高模料的热稳定性。

(三) 热塑性高聚物的性能特点

高分子聚乙烯用作模料时强度极高，热稳定性很好，韧性也好，但其熔点太高，流动性极差，收缩率很大。在较高温度下可溶于石蜡及地蜡，但与松香和硬脂酸的互溶性不好。模料中添加高分子聚乙烯可提高模料的强度和硬度，也可提高模料的韧性。通常采用高压法制造的高分子聚乙烯作强化剂，因为其分子中支链较多、结晶度较小（65%左右为结晶结构，其余为无定形态）、熔点较低（105℃）以及在烷烃中的溶解度较大。

低分子聚乙烯的熔点较低，强度较高，收缩率较小，流动性较好，与烷烃蜡的互溶性良好，但其热稳定性和硬度都比高分子聚乙烯低。在石蜡-硬脂酸模料中，低分子聚乙烯可代替硬脂酸，降低成本，提高强度和韧性。

与高分子聚乙烯相比，EVA的结晶度较小，收缩率也较小，熔点低，但弹性和韧性较高，在烷烃中的溶解度较大，表面光泽。作为改善模料性能的添加成分，EVA胜过高分子聚乙烯。

聚苯乙烯的性能取决于其聚合程度。它的熔点高（160~170℃）、强度高，热稳定性好，

收缩率较小，宜作制模材料，也可用作添加成分。

四、国内外典型模料的组成

(一) 蜡基模料

1. 石蜡-硬脂酸模料

通过热分析法作出的石蜡（64℃精白石蜡）-硬脂酸（化学纯）二元系状态图（简要示意图）如图 8-2 所示。

石蜡硬脂酸属于液态完全互溶、固态部分互溶的二元系，类似于合金中的共晶二元系。固态下硬脂酸只能部分固溶于石蜡中形成石蜡基固溶体，同样石蜡也只能部分固溶于硬脂酸形成硬脂酸基固溶体。上述二元系的共晶转变温度约为 52℃，共晶成分偏向硬脂酸一侧，约含 25% 石蜡和 75% 硬脂酸。

在这样的二元系中模料成分以选择亚共晶成分为佳，即硬脂酸 20%~75%，余为石蜡。这样的成分可以较好地综合石蜡与硬脂酸的优点。生产中常用石蜡和硬脂

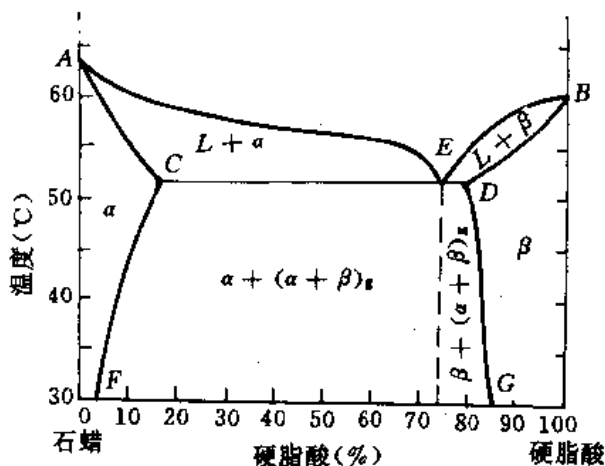


图 8-2 石蜡-硬脂酸二元系状态图

酸各 50% 的配比。它的凝固点低，模料冷却至凝固范围时，体系中保留有相当数量的液相，蜡膏在较低的压注温度下仍能保持良好的流动性，因此模料的压注工艺性良好。另外这种模料制备方便，回收处理简单，复用性好，因而使用十分广泛。这种模料采用糊状压制熔模时线收缩率为 0.8%，但强度和热稳定性不高（约为 31℃）。此外，还存在硬脂酸和水玻璃涂料发生反应生成皂化物，影响铸件质量，并易使模料变质等问题。

选用高熔点石蜡代替普通石蜡，可显著提高模料的强度和软化点；如（图 8-3）、（图 8-4）所示。而且采用高熔点石蜡搅成的蜡膏更显细腻，有利于提高蜡模的表面质量。

在此模料中添加少量蜂蜡可以提高其韧性，并稍提高其强度。但由于蜂蜡的收缩率较大。故添加量一般不超过 3%。添加 5~10% 地蜡后，模料的热稳定性有所提高，但增大模料的收缩率。

在石蜡-硬脂酸二元系中加入少量（1%）能与熔融石蜡互溶的结晶型聚合物，如聚乙烯、EVA 等，即可起到细化初生相的作用，从而提高模料的强度，并使蜡膏细腻。但加入量不宜过多，一般不超过 5%，否则模料收缩率明显增大。

2. 石蜡-聚烯烃系模料

几种石蜡-聚烯烃系的典型模料成分见表 8-1。

石蜡聚烯烃二元系在液态只是部分互溶，而且彼此的溶解度都不大。一般聚烯烃的分子量越小，结晶度越低，溶解度越大。所以低分子聚乙烯就比低密度聚乙烯易溶些。聚烯烃在石蜡中的溶解度随温度降低而急剧减小。冷却过程中原先溶入石蜡的聚烯烃便可能处于过饱和状态而从石蜡溶液中析出，形成细小而相互离散的固相质点，由于它们的分子结构和石蜡相似，可以起到结晶核心的作用，从而使石蜡的晶体显著系化。模料力学性能（如强度、硬

度、韧性等)提高,耐热性有所改善,搅成的蜡膏细腻。但加入量过多除使模料收缩率增大,压注温度上升之外,其他性能却改善不大。

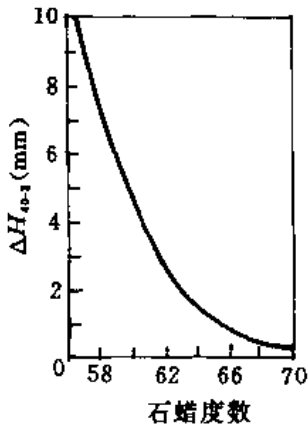


图 8-3 石蜡度数对石蜡-硬脂酸模料耐热性(ΔH_{60-2})的影响

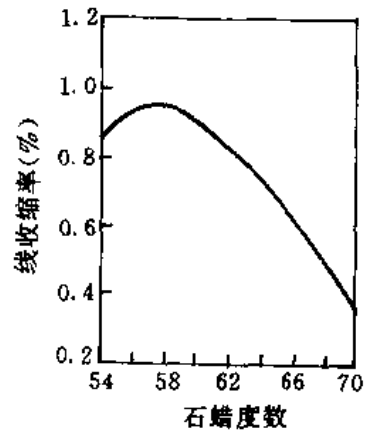


图 8-4 石蜡度数对石蜡-硬脂酸模料线收缩率的影响

聚烯烃加入石蜡后,模料的结晶温度间隔仍然较窄,故模料的压注工艺性差。成都化工研究所推出的 79 型、80 型模料(表 8-1)中,将不同度数的石蜡按一定比例配合,取得良好效果。

表 8-1 典型石蜡-聚烯烃系模料的成分

序号	成分(%)					性能				
	石蜡		褐煤蜡	低分子聚乙烯	EVA	熔点(°C)	软化点(°C)	线收缩率(%)	抗弯强度(MPa)	针入度(1/10 mm)
	62°C	64°C								
1		95		5		66	34	1.04	3.30	18
2	95		2	3				0.81	48.4	
3 (79型)	98.5				1.5	58	31	0.64	4.80	11
4 (80型)	98.5				1.5	62	38	0.85	4.80	

3. 石蜡-褐煤蜡和褐煤蜡-地蜡系模料

初步判明石蜡-褐煤蜡属完全互溶的共晶型二元系,共晶成分偏向石蜡一侧,共晶转变温度较高。所以此模料压注温度高、耐热性好,但收缩大。考虑到目前国内褐煤蜡价钱较贵,故一般将模料成分选择在石蜡占绝大多数(90%以上)的亚共晶成分范围。为细化初生相,常加入少量的(<5%)细化剂聚烯烃。由于褐煤蜡加入量较少,因而模料的结晶间隔窄,压注工艺性差。若在模料中加入一些松香或某些非晶态热塑性树脂,在冷却过程中这些非晶质组元逐渐从蜡液中析出,于压注温度下呈粘流态,因而有使蜡膏软化的作用,提高了模料的充型能力,改善了压铸工艺性。表 8-2 所列为几个这类模料的实例。

表 8-2 石蜡-褐煤蜡系模料的成分、性能

编号	成 分 (%)					性 能			
	石 蜡	褐煤蜡	低分子量 聚乙烯	松 香	地 蜡	熔 点 (°C)	软化点 (°C)	线收缩率 (%)	抗弯强度 (MPa)
1	95	2	3	—	—	62	36	0.82	4.7
2	92.5	3	0.5	4	—	56.8	36	0.66	2.0(抗拉)
3	92	3	2	3	—	62	36	0.79	4.9
4	85	5	5	5	—	69	>40	1.2	6.2
5 (F-01)	其余	2~10	0.5~4 (EVA)	3~20 (热塑性树脂)	2~15	70	36	0.6~0.7	5.0~6.0
6	70	15	—	—	15 (泥炭蜡)	60	40	0.75~0.8	—
7	60	25	—	15 (润滑脂)	—	80	33	0.6~1.0	2.4~4.0
8	70	13	—	5 (裂化渣油)	12	80	33	0.6~0.9	3.6~3.7
9	58	12	—	5 (裂化渣油)	25 (微晶蜡)	80	55	1.05	2.5~2.8

注：1~5号为国产模料；6~9号为前苏联模料；7号是 ПЕПсм60-25-15 (即 ППЛ-2)，
8号是 ППСКс70-12-13-5 (即 P-3)。

4. 石蜡-地蜡系模料与褐煤蜡-地蜡系模料

初步判明石蜡-地蜡系属液态完全互溶、固态也完全互溶的匀晶型二元系。日本对此系列研究较多。与石蜡-硬脂酸模料相比，此类模料特点并不突出，我国地蜡资源不算丰富，价钱也较贵，而且松香的化学性质又不太稳定，所以此类模料在国内仅个别厂家采用。其成分性能见表 8-3。

表 8-3 石蜡-地蜡系模料成分和性能

序 号	成 分 (%)				性 能			
	石 蜡	地 蜡	松 香	褐煤蜡	熔点 (°C)	软化点 (°C)	线收缩率 (%)	抗弯强度 (MPa)
1	40	20	40		60	33	0.5~0.7	2.0
2	62	25		13	75~85	32		3.4

用褐煤蜡取代石蜡而构成的褐煤蜡-地蜡系模料的组成和性能见表 8-4。从表中可以看出，这类模料的强度和热稳定性有显著提高。由于主要组元均为微晶型蜡，因而蜡膏细腻，无需再加聚烯烃的细化剂。加入松香是为了改善压注工艺性。此系列模料的收缩较大，为减小收缩常在这类模料中通入 5% (体积比) 左右的空气或加入 40% (重量比) 左右的固体粉末

作填料。这类系列模料在德国应用较多。

表 8-4 褐煤蜡-地蜡系模料的成分、性能

编号	成分 (%)					性能				
	褐煤蜡	地蜡	微晶蜡	松香	硬脂酸	熔点 (°C)	软化点 (°C)	线收缩率 (%)	抗弯强度 (MPa)	针入度 (1/10 mm)
1	53	40	—	7	—	86	>35	1.5	5.7	9
2	45	—	45	10	—	85	25~30	2.0	8.5	10
3	48	15	25	12	—	86	30	1.8	5.1	10
4	55	30	—	10	5	86	30~35	1.2	6.0	8.5

(二) 松香基模料

1. 松香-石蜡二元系

温度 160°C 以上时, 松香与石蜡是完全互溶的, 溶液清澈透明。当温度降至此 160°C 以下时, 二者只是部分互溶。温度降至 100°C 时, 石蜡在松香中的溶解度达 60% 左右, 固态下则仅为 6%。另一方面石蜡在松香中的溶解度却很小。二者的溶解平衡如图 8-5 所示。

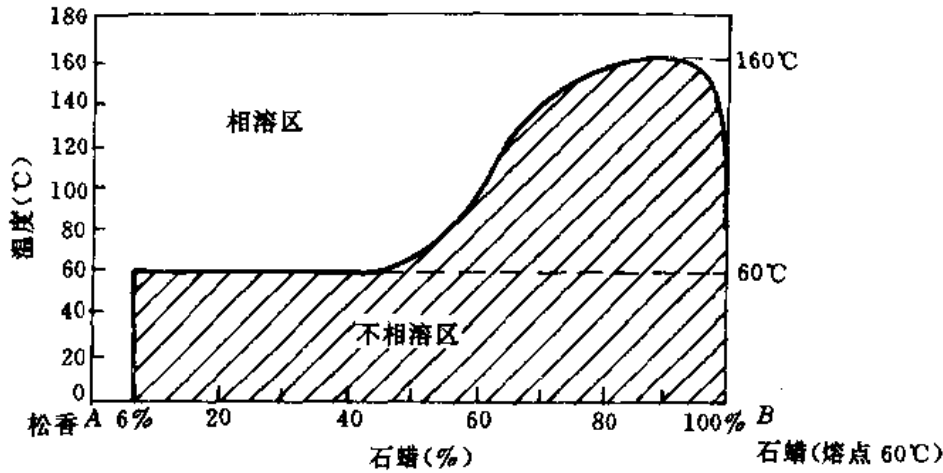


图 8-5 松香-石蜡二元系的溶解平衡图

固态下松香几乎不溶于石蜡, 液态下溶解的松香当温度降至 120°C 以下几乎全部从蜡液中析出。石蜡含量小于 6% 时, 凝固后得松香基固溶体。和松香一样, 也是黄色透明的脆性玻璃体, 性质与松香大同小异。石蜡含量 6%~50% 范围内, 除松香基固溶体外, 其余部分是从松香中析出的针状石蜡基固溶体相。由于凝固过程中溶体的粘度较大, 析出的相不会聚集成团, 而是均匀地分散在基体中, 具有这种成分比例的模料可兼得晶质与非晶质这两类组元的长处。即有收缩小, 表面光亮, 凝固过程无潜热释放等非晶质材料的长处。而质脆易碎, 熔点与软化点相差大等非晶质材料的短处又得到一定程度的克服。

松香与多数蜡质材料（如地蜡、虫白蜡、蜂蜡等）所构成二元系的溶解平衡图与松香-石蜡二元系大体上是相似的。由于石蜡的耐热性较差，而地蜡、虫白蜡的耐热性较好，所以在松香基模料中常以地蜡或虫白蜡作为晶质组元。

2. 典型松香基模料

几种典型的松香基模料成分与性能见表 8-5。

表 8-5 典型松香基模料

序号	成分 (%)					性能			
	松香	地蜡	虫白蜡	聚乙烯	210 树脂	H- (mm)	线收缩率 (%)	抗弯强度 (MPa)	滴点 (°C)
1	81	14.3		3.1	1.6	8.5	0.58	3.6	95
2	75	5	15	5		1.75	0.95	10.0	94
3	60	5	30	5		1.07	0.88	6.0	90

用非晶质材料松香作为模料的基体，可使模料收缩减小，表面粗糙度变细，此类模料于 60~70 年代曾广泛流行于我国许多航空、航天工厂，用来生产质量要求较高的精密铸件。但这些模料只适于糊膏状态下压注成型，而不适于在液态下压注成型。若采用液态压注，则压注温度应进一步提高，模料的线收缩率也会相应增大，蜡模表面还容易产生缩陷。

3. 改性松香基模料

为了进一步提高松香基模料的性能，必须首先改善基体的性能。改性松香的化学性质稳定，力学性能和耐热性也比松香有明显提高。经常用作模料的改性松香是聚合松香和顺丁烯二酸酐松香酯（如 424 号树脂）。

改性松香与石蜡构成的二元系的溶解平衡状态跟松香-石蜡二元系大体相似，只是石蜡在各种改性松香中的溶解度各不相同。424 号树脂被认为是改性松香中最好的一种，但以它为基时，石蜡在其中的溶解度仅为 35% 左右，因此 424 号树脂-石蜡二元系的液态不相溶区较宽，可供选择的模料成分范围不大，其中 424 号树脂的含量势必较高 (>65%)，模料性能的特点也一定偏向 424 号树脂，即液态粘而固态脆。为了改善这种情况，必须在此类二元系中引入第三组元，构成一个三元系。为使三元相溶区有足够大，第三组元应为能与改性松香在液态完全互溶的组元。而三元系的成分应保持晶质组元含量较多，在凝固时有一定数量的晶相从基体中呈均匀分散状态析出。

配制优质改性松香基模料一般原则可概括如下：

- (1) 模料组分中应包含非晶质和晶质（主要是蜡质材料），使之互相取长补短。
- (2) 这二类材料中必须以非晶质材料为基（溶剂）而不能相反。这样可以在非晶相的基体中均匀地分散着呈微晶结构的晶相。
- (3) 力求使晶质组元所占的比例过半达到 1/2~2/3。以便使模料熔融时有较小的粘度，较好的流动性，固态时有较低的脆性。

典型改性松香基模料的成分与性能见表 8-6 与表 8-7。

表 8-6 改性松香基模料的成分 (%)

序号	非晶质组元(溶剂)				晶质组元			
	424 树脂	140 聚合松香	115 聚合松香	萜烯树脂	石蜡	虫白蜡	地蜡	EVA
1	25	30	—	—	30	5	5	5
2	—	32	20	—	34	—	10	4
3	40	17	—	—	30	—	10	3
4	—	50	—	5	30	10	3	2

表 8-7 改性松香基模料的性能

序号	滴点 (°C)	H— (mm)	线收缩率 (%)	抗弯强度 (MPa)	针入度 (1/10 mm)
1	80	1.07	0.55	6.4	2.6
2	78	0.45	0.70	5.3	1.7
3	81	0.55	0.76	5.4	4.8
4	68	0.77	0.45	4.9	—

究竟采用何种非晶质和晶质材料(蜡质材料),还需要考虑资源情况。结合我国资源特点,非晶质材料常选用松香或改性松香,晶质材料常选用石蜡、地蜡、虫白蜡等。国外则常选用达玛树脂等天然树脂或多氯联苯、乙烯基甲苯-甲基苯乙烯共聚树脂等作为较理想的非晶质组元;晶质组元除石蜡外,常选用微晶蜡、卡那巴蜡、褐煤蜡等。国外优质模料中,晶质组元所占比例大多过半。几个有代表性的实例是:

英RR5号模料:达玛树脂45%,石蜡10%,巴西棕榈蜡25%,氢化硬脂5%,余为微晶蜡。

英A71模料:季戊四醇酯10%~30%,甘油松香酯10%~30%,小烛树蜡5%~15%,微晶蜡10%~20%,余为石蜡。

美3880790专利模料:乙烯基甲苯-甲基苯乙烯共聚物30%~60%,褐煤蜡10%,余为石蜡。

日本模料:石油树脂32%,坎特利拉蜡58%,石蜡10%。

日本模料:树脂40%~60%,饱和脂肪酸30%~50%,乙基纤维素2%~15%,余为石蜡。

(三) 其他模料

1. 塑料模料

熔模铸造中制模用的塑料模料主要使用聚苯乙烯、泡沫聚苯乙烯或其他合成树脂。聚苯乙烯是一种热塑性材料,其化学结构和性能前已论及。使用低分子聚苯乙烯制模比较容易,加热时它易变成粘性液体。使用高分子聚苯乙烯制模时,必须应用高温和高压。用泡沫聚苯乙烯制模的原材料是可发性聚苯乙烯,应用发泡成型的方法制模。泡沫聚苯乙烯模料与蜡料相

比，其优点是：密度小，强度高，并可根据需要调整发泡条件而加以改变；该材料热稳定性高，模型在室温下不变形，线收缩率小，约为0.2~0.4%。其主要缺点是制模工艺复杂，模组组合不便。

2. 可溶性模料

可溶性模料用来制造可溶型芯，早期应用尿素。尿素是一种有机化合物，分子式为 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 。其特点是易溶于水；熔点为 $130\sim 132^\circ\text{C}$ ；加热时无软化阶段， 100°C 以下使用不发生变形；熔融状态流动性很好，不需要加压便能充满压型型腔；在压型中凝固很快，强度高，收缩率很小。尿素的缺点是吸湿性大，加入3%工业硼酸(H_3BO_3)可减小脆性。为有效地防止尿素模料的吸湿性和降低脆性，可采用一种特制的可塑性尿素树脂粉（其中添加有如煤油、硅油等憎水剂以及多聚乙烯乙二醇等合成材料），在熔点以下高压注射成型，所制成的尿素模尺寸精确、稳定、表面光洁。采用聚乙二醇可溶性模料（聚乙二醇50%、碳酸钠20%、滑石粉30%）代替尿素模料制造可溶型芯，可克服尿素模料的缺点。

3. 充填模料

这一类模料中用得最多的是固体粉末状充填模料。所添加的固体粉末一般有聚乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯醇、合成树脂、多聚乙烯乙二醇、橡胶、尿素粉和炭黑等。固体粉末状填料必须具有较高的熔点、良好的亲和性、适中的密度和颗粒度（满足均匀分布的要求）以及焙烧后填料的残留灰分含量要小。固体充填模料的特点是在工作温度下填料粉本身并不熔化，而在模料中形成均匀分布的细小固态质点，它们在模料中起骨料作用，加快模料的冷却，减小模的收缩，提高模料的强度和热稳定性。更重要的是可明显改善液态压注工艺性能。这是由于加入填料后，模料的粘度、稠度增加，压注时产生紊流，飞溅的可能性减小。有利于消除表面缺陷，稳定熔模质量。

五、模料的制备和制模工艺

（一）模料的制备

制备模料主要是按照模料的规定成分和配比，将各种原材料熔融成液态，混和并搅拌均匀，滤去杂质浇制成锭块，或调制成糊状模料，以待压制熔模。

由于模料是由两种或两种以上的化合物组成的固溶体，在制备模料过程中，要求所有组元能溶和均匀。为此，应依据模料中各个组元的分子间的互溶关系来确定熔融时加料的先后次序。

在配制含有高分子聚乙烯和松香的模料时，一般先将蜡料（石蜡、地蜡、川蜡、硬脂酸蜡或褐煤蜡）混合熔化，作为基料，其中某些蜡起助溶作用，然后加入高分子聚乙烯，待它完全溶化后，加入松香（由于松香的粘性大，又易挥发，也宜最后加入）。整个过程均需不断搅拌，使各个组元溶合均匀。

在制备模料过程中一个重要问题是严格控制温度的中升限，尽可能减小各组元的烧损和变质。一般石蜡-硬脂酸模料通常采用电热水浴式熔化装置。对于松香基中温模料，最好采用工频化蜡炉。无论是制备低温模料，还是制备中温模料，严格遵守温度规范是十分重要的。

搅拌也是配制模料的一个重要环节。搅拌方式应视模料性质（尤其是模料粘度）而定。对于石蜡基糊状压注模料，由于模料的粘度小，一般采用快速搅拌，将模料中的固、液、气三相搅匀而得细腻的膏体。对于液态压注模料，搅拌的目的仅仅是使成分和温度均匀一致，故

宜慢速搅拌。快速搅拌极易卷入气泡，影响蜡模质量。

(二) 制模工艺

熔模制造工艺普遍采用压制成型的方法。该方法允许使用液态、半液态（糊状）以及固态、半固态模料。以液态或半液态模料在低的压力下压制成型，称为压注成型；以半固态或固态模料在高的压力下压制成型，称为挤压成型。无论是压注成型还是挤压成型，都必须考虑其在充填和凝固时的优缺点。

1. 压注成型

压注成型的注蜡温度多在熔点以下，此时模料已不完全是液态，而是液、固两相共存的浆状或糊状。呈浆状的模料中，液相量显著超过固相量，所以仍保留着液体才具有的流动性。在这种状态下压注，熔模表面具有细的粗糙度，而且不易出现由于紊流、飞溅带来的表面缺陷。这是因为大多数模料在熔点以下是带屈服值的假塑性流体，在压注过程中，蜡液流经注蜡口时，随剪切速率增大表观粘度减小，由于这种剪切稀释效应，即使在较低的温度下模料也能很好地充填压型型腔，熔模棱角清晰，同时蜡流前端不易造成梗阻，也不易产生紊流或喷溅。糊状模料的温度比浆状模料更低，已失去流动性，虽少有表面缺陷，但却具有较粗的表面粗糙度。

注蜡温度对熔模表面粗糙度影响很大，注蜡温度越高，熔模的表面粗糙度越细，注蜡温度越低，则表面粗糙度越高。这主要是由于在不同温度下模料所处的状态和析出相不同所致。模料处于较高温度的浆状时，固体析出相是微晶相，此时熔模表面粗糙度最细可达 $Rz1.8 \sim 4.0 \mu\text{m}$ 。温度稍低时，模料虽仍处于浆状，但有较粗大的晶相析出，因而粗糙度变粗。如果注蜡温度更低，模料转变成糊膏状，其中固相比比例渐占优势，由于晶界处产生的凹陷、孔隙及气泡的卷入，熔模粗糙度进一步变粗。

模料处于浆状时，压注压力和压型温度对熔模表面粗糙度的影响很小。处于糊膏状时，增大压注压力或提高压型温度有利于将糊膏中的液相挤入由晶界形成的凹陷中去，从而使熔模表面粗糙度有所细化，但效果有限。

由于多数模料的热导率比金属小得多，所以模料注入型腔后通常都是层状凝固，紧靠压型的表面首先形成一层凝固层，而这层凝固层在熔模成型后的相当长一段时间内仍保持着高塑性状态。由于压注压力作用将一直持续到保压时间结束或注蜡口因模料完全凝固而封闭为止，在此之前压注压力可以通过凝固层内的蜡液迅速传递到整个熔模内各个部分，从而在凝固层内形成一种内压力。如果这种内压力超过凝固蜡层的屈服极限，就会使凝固层产生塑性变形而阻止熔模收缩。所以熔模收缩率的大小在很大程度上取决于凝固层内压力消失的温度和内压力的大小。一般说来，内压力越大，线收缩率越小；而压成熔模内压力消失时的温度越高，收缩率越大。所以，注蜡温度高或铸型温度高，甚至熔模厚度大时，由于内压力消失时熔模温度高，都将不同程度地导致收缩率增大。而保压时间长，内压力消失时熔模温度低，就可能减少收缩。

根据以上分析，模料压注成型时，在保证良好充填情况下应尽量采用最低的模料温度和压型工作温度。压注压力的选择却要慎重，并不是越大越好，虽然压力大熔模收缩率小，但压力和压注速度过大，会使熔模表面不光，产生“鼓泡”（熔模表皮下气泡膨胀），同时，使模料飞溅出现冷隔缺陷。生产实践中，石蜡-硬脂酸模料的压注压力为 $100 \sim 300 \text{ kPa}$ （压注气缸的压力），保压时间为 $0.5 \sim 3 \text{ min}$ 。松香基模料的压注压力为 $300 \sim 400 \text{ kPa}$ ，保压时间为

0.5~3min。国外使用的最佳压注压力对于上述两种模料分别为350~400kPa和700~1200kPa。

在制模过程中，为了避免模料粘附压型，提高熔模表面光度，应使用分型剂，特别是对松香基模料。一般用变压器油或酒精和蓖麻油的混合液；而钾皂液和有机硅油的混合液（乳化硅油）是质量较高的分型剂。在压型上涂抹分型剂时，要力求稀薄而均匀，否则，适得其反，会恶化熔模表面质量。

2. 挤压成型

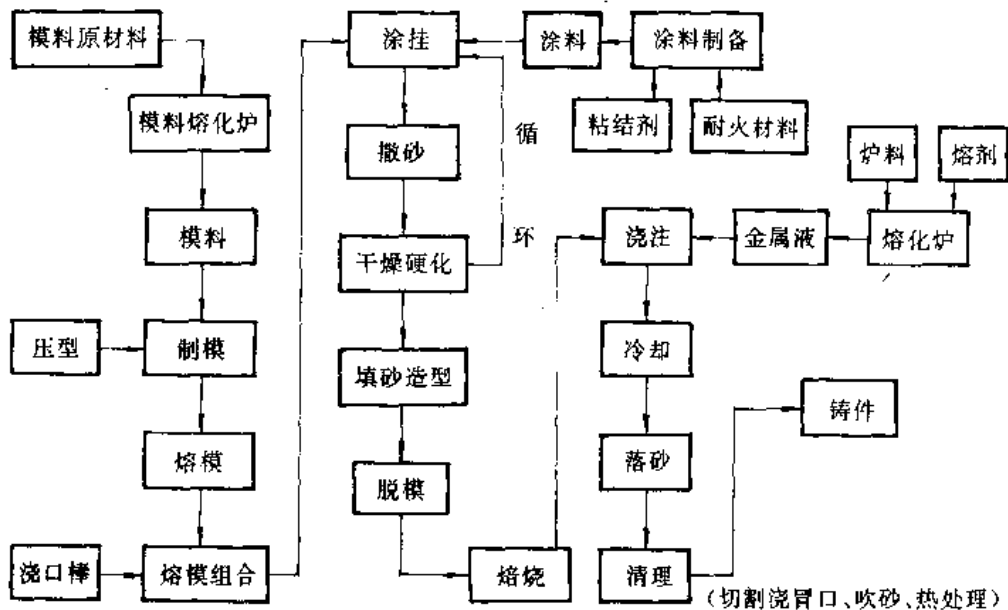
挤压成型把模料在低温塑性状态下挤压入型腔，在高压下成型，以减小和防止熔模收缩。挤压成型时的模料处于半固态或固态，半固态或固态模料在正常条件下比较硬，但在高压下它像液体一样能流动，其特点是粘度大。因此挤压成型时压力的大小取决于模料的粘度以及阻碍模料的注料孔和型腔中流动的摩擦阻力。模料的粘度愈大，注料孔径愈小，型腔尺寸愈大而横截面积愈小以及模料行程愈长，则模料流动时的阻力愈大，因而需要愈高的挤压压力。采用半固态模料挤压成型，熔模的凝固时间缩短，因而生产率增高，特别适用于生产具有厚大截面的熔模。

国外采用挤压成型时的比压可达1000kPa以上，保压的比压在7000~50000kPa的范围。另外，还有一种“液体浇注、固体充填”的新工艺，即把未凝固的模料倾（吹）出后，将粉状固态模料或一种等膨胀材料用高压挤入压型，可获得不易变形的熔模。

使用半固态或固态模料的挤压成型方法要求使用一种新的制模设备——油压式的挤压机，以提高挤压力和合型力。

§ 8-2 熔模铸造工艺流程图

熔模铸造的基本方法是在熔模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。其工艺流程图如下：



总的说来，整个熔模铸造工艺可分为制模、制壳与浇注三个主要阶段。制模工艺前面已作了详细的讨论。制壳工艺中，涂挂、撒砂和干燥硬化是影响型壳质量乃至铸件质量的重要环节。

在涂挂涂料前，熔模需经脱油脂处理。涂挂时主要采用浸涂法。涂挂操作时应保持熔模表面各处都能良好地涂挂上涂料，避免空白；要使涂料均匀分布，避免局部堆积；焊合处、圆角、棱角和凹槽等应用毛笔或特制工具涂刷均匀，避免气泡；涂挂每层加固层涂料前应清理掉前一层上的浮砂；在涂挂过程中要定时搅拌涂料，掌握和调整涂料的粘度。

涂挂后进行撒砂。最常用的撒砂方法是流态化撒砂和雨淋式撒砂。通常熔模自涂料槽中取出后，待其上剩余的涂料流动均匀而不再连续下滴时，表示涂料流动终止，冻凝开始，即可撒砂。过早撒砂易造成涂料堆积；过迟撒砂造成砂粒粘附不上或粘附不牢。撒砂时熔模要不断回转和上下倒置。

撒砂的目的是用砂粒固定涂料层；增加型壳厚度，获得必要的强度；提高型壳的透气性和退让性；防止型壳硬化时产生裂纹。撒砂的粒度按涂料层次选择，并与涂料的粘度相适应。面层涂料的粘度小，撒砂粒度要细些，才能获得表面光洁的型腔，一般面层撒砂粒度可选择粒度组别为30或21的砂；加固层撒砂采用较粗的砂粒（粒度组别为60或85），最好逐层加粗。

制壳时，每涂挂和撒砂一层后，必须进行充分干燥和硬化。

§ 8-3 型壳干燥过程的控制

一、硅溶胶型壳干燥的控制

（一）硅溶胶型壳干燥的特点

硅溶胶型壳中的水大部分在干燥过程中排除，干燥的过程实质上就是硅溶胶的胶凝过程，但水分蒸发在先，胶凝在后。在浸涂和撒砂后，涂料层中的耐火材料颗粒被一层连续的水膜所包围和覆盖。干燥初期，型壳表面的水分首先蒸发，型壳内部的水分借毛细作用向表面迁移。当干燥继续进行时，型壳内部水分逐渐减少，造成了水分由内部向外表迁移的困难，导致蒸发速度超过迁移速度，使型壳表面的水分消失。在此种情况下，表面张力的作用迫使耐火材料颗粒互相紧密靠近，并在其接触面形成硅胶膜，这就阻碍了水分的迁移，并减小了蒸发速度。这时型壳内部的水分主要通过本身在内部蒸发，借毛细作用扩散至表面而消失，型壳的水分由此得到进一步排除。在干燥后期涂料层中粘结剂不断浓缩的结果使胶粒和胶粒相互靠近，粒子间距缩小，最终在胶粒的接触表面上发生硅醇缩聚反应，形成牢固的硅氧键而导致胶凝，生成三维网络的冻胶，以胶膜形态完整地覆盖在耐火材料颗粒的表面而将它们牢固地连接起来。随着凝胶进一步脱水收缩，耐火材料颗粒相互接近和胶凝的结果，使涂料层获得强度。

所以，硅溶胶粘结剂型壳的干燥过程实际上可分为以下几个阶段：（1）在粘结剂胶凝前，存在于型壳涂料层中的游离水在涂挂过程中和干燥阶段初期蒸发；（2）硅溶胶胶凝后，被包在冻胶网络中的物理吸附水在干燥期间逐渐蒸发；（3）硅溶胶胶粒吸附层中的化学吸附水在加热至100~200℃时失去；（4）胶粒表面残存的硅醇（Si—OH）在400~800℃范围内通过自缩

聚而脱水。

必须指出，干燥不良的型壳质量不好，因这类型壳的硅溶胶还未转变成凝胶，或刚胶凝尚含有较多溶剂（软冻胶），马上涂挂下一层，必然会发生冻胶回溶现象或吸收下层溶胶引起型壳溶胀、剥落、掉砂甚至使制壳工艺无法进行下去。在干燥过程中，随着溶剂的蒸发，型壳将发生收缩，如各部分干燥不均匀，收缩不一致，就会形成内应力而导致型壳开裂。

(二) 影响硅溶胶型壳干燥过程的因素

试验及生产实践表明，影响型壳干燥的因素很多，其中环境湿度的影响最大，其次是风速和环境温度。

图 8-6 是环境湿度对型壳干燥时间的影响。可以看出，当相对湿度大于 80% 时，型壳干燥时间将大大加长。

风速对型壳干燥影响见图 8-7。风速在 3 m/s 以内，随着风速增加，干燥时间明显缩短。

因为加速空气流动可以降低空气中溶剂的分压，促使溶剂蒸发。但风速超过 4 m/s 时，干燥速度已提高不多，风速过大，反而有涂料层和砂粒被吹掉的危险。

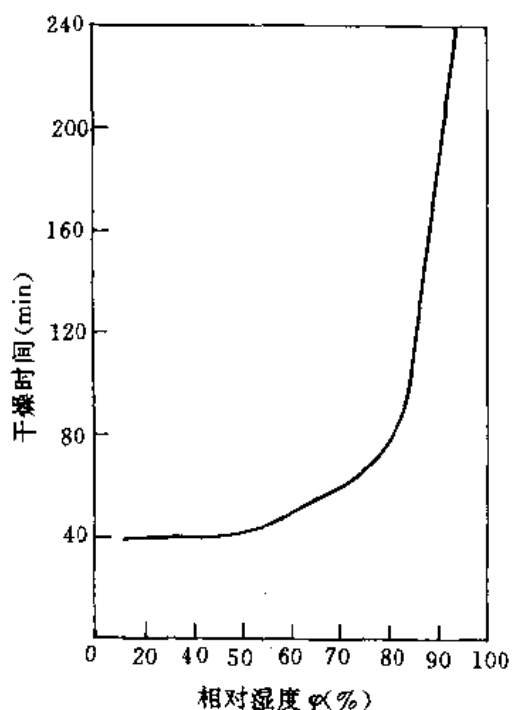


图 8-6 湿度对型壳干燥时间的影响

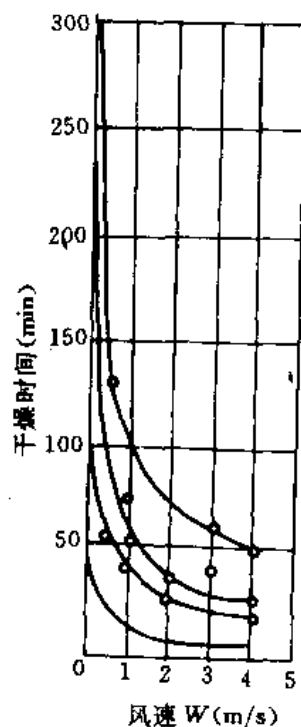


图 8-7 风速对型壳干燥时间的影响

图 8-8 是温度对型壳干燥时间的影响。温度升高时干燥时间缩短。但提高温度受模料热膨胀和热稳定性的限制，也不能过高。在铸件尺寸精度要求高的情况下，第一、二、三层温度不宜超过 25℃，后几层不要超过 30℃。温度对不同耐火材料型壳干燥时间的影响规律相同，但干燥时间并不完全相同。相比起来铝矾土型壳干燥得快些，刚玉型壳次之，锆英粉型壳得较慢。这可能是由于铝矾土中含有微量的 MgO 和 CaO（一般 $MgO + CaO < 1.20$ ），影响硅溶胶粘结剂的稳定性，故涂料层的干燥较快。也有人认为是由于铝矾土为多孔性材料，具有很大的比表面，吸附性强，能迅速吸附大量溶剂，促使硅溶胶浓度增加，胶凝加速的缘故。

国外有的工厂将涂挂好的模组放在 133.322×10^{-3} Pa 的真空中处理 2 h, 保证型壳充分干燥。这不仅可提高型壳的湿强度, 而且还可以防止型壳在高温焙烧时因残留水分蒸发过快而开裂。

二、水玻璃型壳干燥硬化控制

水玻璃粘结剂是含有少量胶体 SiO_2 粒子的硅酸盐离子溶液, 因此, 需要通过干燥和化学硬化两个环节才能完成水玻璃粘结剂型壳的干燥硬化。全过程顺序为: 自然干燥—化学硬化—硬化后干燥。

(一) 硬化前干燥

型壳化学硬化前自然干燥的作用是使水玻璃溶液不断脱水浓缩以及使粘结剂通过扩散和渗透而在型壳层中均匀分布。经 2 h 以上干燥后型壳的含水量可降低 30~60% 左右。在脱水过程中伴有脱水收缩, 但由于是自由脱水, 所以收缩进行得十分匀缓。由于石英粉砂表面与水玻璃有良好的界面结合能力, 所以脱水干燥后的硅酸钠薄膜与石英材料结合强度很高。水分的蒸发和脱水收缩会在型壳中留下微细孔道和裂纹, 有助于硬化剂能深入扩散, 加之硬化反应在脱水后的硅酸钠中进行, 故扩散速度快、硬化时间短。

(二) 硬化过程及影响因素

型壳硬化的主要物理化学过程是水玻璃胶凝, 由于型壳硬化时硬化剂与涂料只在有限的界面上接触, 硬化反应不会在整个涂料层内同时进行, 而是首先在界面上发生反应, 这个过程称之为界面硬化。接着硬化剂便透过界面硬化形成的凝胶膜, 通过型壳上的微裂纹, 由表及里地进行扩散, 这个过程称之为扩散硬化。整个涂料层的硬化过程是由界面硬化与扩散硬化这两个连续的过程组成的。由于界面硬化反应速度大大高于硬化剂在型壳中的扩散速度, 型壳的硬化速度主要由扩散硬化速度来决定。

不同的硬化剂, 由于它们的分子状态、表面张力和粘度等性质的不同, 扩散硬化能力差别很大。氯化铵是电解质真溶液, 具有良好的扩散硬化能力, 氯化铝和聚氯化铝则较差。从硬化产物看, 前者除硅凝胶外, 余为水溶性钠盐和氨气, 后者尚有铝凝胶生成, 所以胶膜较前者致密得多, 因而扩散能力不如前者。从涂料本身的性质来看, 低密度水玻璃涂料的扩散能力强, 因为随着水玻璃密度的增加硅酸钠的浓度也增大, 粘度大而离子扩散速度下降。密度一定时, 水玻璃模数高则硅凝胶析出速度快, 硬化也会快些。采用低密度高粉液比的面层涂料, 即使粘度较高仍具有良好的扩散硬化能力。此外涂料层硬化前干燥, 采用铝硅系耐火粉料和撒砂、提高硬化剂温度和浓度、采用表面活性剂等措施都有助于改善扩散硬化能力。但对铝盐硬化剂, 特别是聚氯化铝, 其分子呈聚合状态, 分子量较高, 提高其浓度对硬化速度的影响不像氯化铵那么显著, 浓度过高反而会降低硬化速度, 所以铝盐或镁盐硬化剂通常不采用高浓度, 这样还有助于防止型壳分层。

(三) 硬化后干燥

型壳硬化后需要在空气中干燥一段时间, 方可涂下一层涂料。这是因为型壳在硬化剂中硬化时, 仅能实现界面扩散硬化及部分扩散硬化, 初步建立湿强度。硬化后的干燥过程中, 型壳上的残留硬化剂将继续扩散, 使型壳硬化均匀而深透, 湿强度进一步提高。用氯化铝硬化

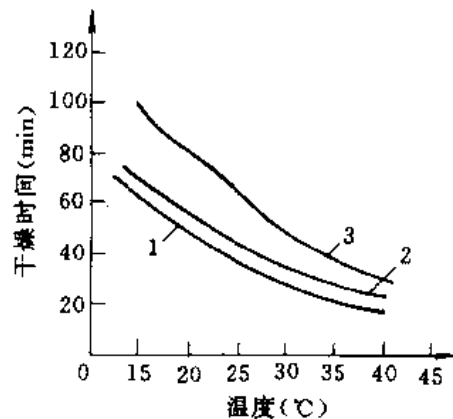


图 8-8 温度对型壳干燥时间的影响

1—铝矾土型壳 2—刚玉型壳
3—石英粉型壳

剂硬化时，这一环节尤为重要。

(四) 硬化工艺

硬化前自然干燥时间一般在 2 h 以上，为缩短干燥时间，可采用热风或其他电热方法。

采用氯化铵水溶液为硬化剂时，硬化工艺中应重点控制硬化剂的温度、浓度和硬化时间。如果是常温硬化，氯化铵水溶液的浓度不应低于 18~20%（制造高强度型壳时，浓度一般为 20~25%）温度为 25~30℃，时间为几分钟到 20~30 min。硬化后的干燥时间通常为 20~30 min。在氯化铵溶液中加入少量（一般为 0.05%）阴离子或非离子型表面活性剂如农乳、JFC、TX10 等，可使硬化时间缩短至 1 min，硬化后干燥时间也可相应缩短至 5~10 min。采用高温高浓快速硬化工艺时，主要使用浓度为 25~30%、温度为 30~65℃的氯化铵水溶液，硬化时间缩短至 10~20 s，硬化后的干燥时间也相应缩短。

使用聚氯化铝作硬化剂时，其工艺性能影响型壳硬化的质量。衡量聚氯化铝工艺性能的指标有 Al_2O_3 的含量（意味着其中 Al^{3+} 的浓度）、碱化度（聚氯化铝的羟基化的程度） $B\%$ 、比重和 pH 值。若 Al_2O_3 含量过低，由于溶液中 Al^{3+} 浓度太小，对水玻璃的胶凝作用弱，因而硬化后的型壳强度低，当 Al_2O_3 含量过高时，溶液的粘滞性和表面张力增大，因而降低其渗透能力，影响硬化速度和型壳强度。同时，型壳上残留聚氯化铝增多，不易与下一层涂料润湿结合，导致型壳分层，并提高浇注后型壳的残留强度，不利于清砂。因此，作硬化剂用的聚氯化铝，其中 Al_2O_3 的含量一般为 8~10%。聚氯化铝是一种胶体电解质，在硬化水玻璃过程中，它本身多少有铝胶析出，碱化度愈高，析出的铝胶愈多，溶液的粘度也随之提高，减弱了溶液的扩散硬化能力。因此，聚氯化铝的碱化度一般以 $B=30\sim50\%$ 为宜。由于扩散硬化速度低，湿强度形成缓慢，硬化时间为 4~7 min，硬化后干燥时间为 30~40 min，最好采用热风。为清除 1~2 层涂料层上残留硬化剂，硬化干燥后可用水淋洗型壳背面。在聚氯化铝溶液中加入少量表面活性剂以及提高溶液的温度，也能改善硬化剂对型壳的渗透能力，硬化时间可缩短至 3~5 min，将硬化剂温度提高至 30~50℃时，硬化速度可提高一倍左右，硬化后干燥时间相应缩短。

结晶氯化铝分子量小且不成聚合状态，溶液粘滞性低，杂质少，纯度较高，因而渗透扩散能力比聚氯化铝好。其性能也较后者更稳定，长期使用时代化度和 pH 值变化都很小。近几年来用结晶氯化铝作硬化剂比聚合氯化铝更普遍。

三、硅酸乙酯型壳的干燥硬化

硅酸乙酯粘结剂型壳的干燥硬化，实质上是涂料中的硅酸乙酯水解液继续水解缩聚最终胶凝以及溶剂挥发的过程。前者主要是化学变化，后者是物理过程，但彼此有密切联系。

(一) 硅酸乙酯水解液的继续水解缩聚

型壳涂挂后，涂料层中的硅酸乙酯水解液继续水解缩聚直至胶凝的过程可随型壳的硬化程度分为三个阶段：

第一阶段——回溶阶段。此时水解液中的有机硅聚合物仍保持着线型状态，分子间尚未交联或交联度很小（ $N<25\%$ ）。如果这时候就浸涂下一层涂料，则前一层涂料中的粘结剂将发生回溶，使模组上大片涂料脱落。

第二阶段——鼓胀阶段。此时水解液中分子虽有相当大的交连度，但仍残留有较多的 $-OR$ 。此时如果涂挂下一层涂料，将会发生由于溶剂渗入而使粘结剂溶胀，引起型壳鼓胀，严

重者甚至开裂、翘起或剥落。这种型壳焙烧后，粘结剂分子支链上的乙氧基被烧掉，变成毫无粘结能力的 SiO_2 粉末，使型壳强度大大降低。

第三阶段——稳定阶段。水解液中的有机硅聚合物基本上都转变成二氧化硅凝胶，交联度接近 100%。型壳硬化牢固，在涂挂下一层涂料时，不会产生溶胀现象。

pH 值对水解液的继续水解缩聚速度有重要的影响，增大涂料层中粘结剂的 pH 值可以大大加快硬化速度。通常，在型壳自然干燥以后进行氨干就是为了达到这一目的。当氨气自氨瓶通入到干燥箱后，氨气溶解于型壳上的水中，形成 NH_4OH ，它在涂料层中离解为 NH_4^+ 和 OH^- ，提高了粘结剂的 pH 值，从而加速胶凝。

(二) 溶剂蒸发速度与继续水解缩聚速度的关系

当溶剂的蒸发速度小于粘结剂的继续水解缩聚速度时，粘结剂已固化，而其中的溶剂还要继续蒸发，随着溶剂的蒸发，胶膜体积发生收缩，在固化了的胶膜内产生应力，这就可能使型壳层产生许多微小裂纹而降低其强度。所以，为了保证型壳的质量，应使溶剂的蒸发超前于粘结剂的继续水解和缩聚。在此情况下，胶膜的收缩过程主要发生在粘结剂还处于流动状态或弹性状态的阶段，收缩的结果使分布在耐火材料颗粒表面的胶膜变薄，而使颗粒相互靠得更近，有利于提高型壳的强度。干燥工艺中将型壳先在空气中干燥一段时间（自然干燥），而后再在氨气中干燥（氨干），就是为了在粘结剂发生凝胶化转变以前，使溶剂大部或全部蒸发掉。

(三) 干燥硬化工艺

生产中广泛应用空气-氨气干燥硬化法。模组撒砂完毕后先在空气中自然干燥 0.5~2 h，再放入氨气中硬化 5~15 min，最后排氨消味。为确保型壳表面质量，面层空气干燥的时间应当适当长些（例如 2 h），加固层则可短一些（0.5~1 h）。提高温度可加快溶剂蒸发和粘结剂的缩聚，但温度过高会影响熔模变形，一般要求干燥地点温度不低于 20~25℃。若温度过低，涂料层中溶剂蒸发缓慢，型壳将产生裂纹。合适的空气相对湿度有利于继续水解缩聚，一般以保持在 50~80% 为宜。

复习思考题

1. 试述模料性能的基本要求。
2. 试述模料原材料的熔点、热稳定性、强度、收缩率与分子结构的关系。
3. 试述下列模料组成，在制备模料时的加料次序，并简述其理由。（松香 30%，210 松香 27%，地蜡 5%，川蜡 35%，高压聚乙烯 3%）
4. 硅酸乙酯和水玻璃型壳中的“白霜”和“白毛”是如何形成的？
5. 试述模料热稳定性如何表示，并简述其测定方法。

第九章 金属型铸造

§ 9-1 金属型铸造工艺流程图

金属型铸造是利用重力将液态金属或合金浇入金属材质的铸型中，并在重力的作用下结晶凝固，制造成型铸件的一种铸造方法。其工艺流程如图 9-1 所示。

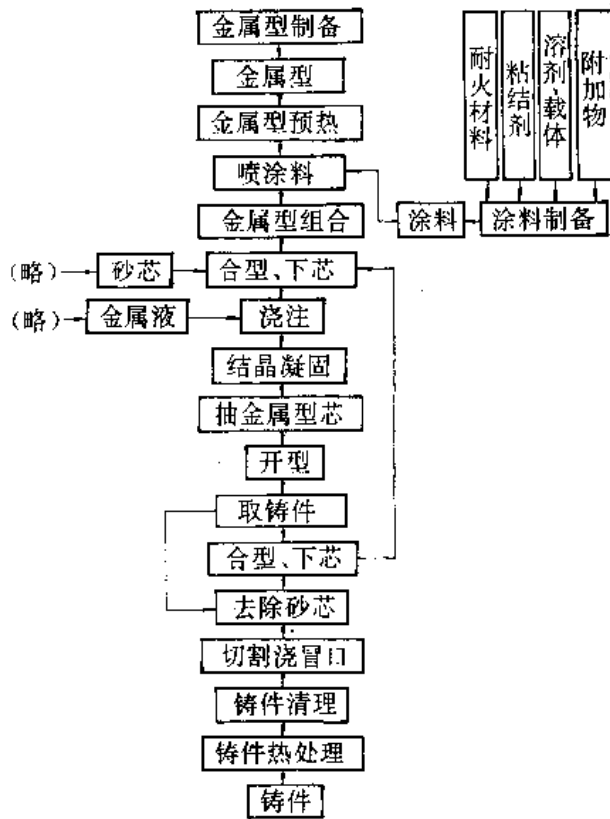


图 9-1 金属型铸造工艺流程图

§ 9-2 金属型铸造的热规范

一、金属型中铸件的凝固特点

一般铸件的凝固方式有三种：逐层凝固、体积凝固和中间凝固。从铸件的疏松倾向、热裂倾向、充型情况等方面来看，逐层凝固的性能最好，中间凝固的性能次之，体积凝固的性

能最差。影响凝固方式的主要因素是铸造合金的结晶温度间隔和凝固时铸件断面上的温度梯度。共晶型合金都是逐层凝固，而结晶温度间隔宽的合金则多是体积凝固。当合金成分确定之后，铸件的凝固方式就取决于冷却时在其断面上的温度梯度。温度梯度愈大，则凝固区域宽度就愈小，因而，可以使得结晶温度间隔较宽的合金也趋向于中间凝固甚至逐层凝固方式，这样就可改善补缩条件，得到密实的铸件。众所周知，和砂型比较起来，由于金属型的导热性能要高得多（热导率约高 150 倍，蓄热系数约高 20 倍，导温系数约高 65 倍），金属型能获得很大的温度梯度，使铸件的冷却速度很大。因此，用金属型铸造时，不仅共晶型合金，甚至结晶温度间隔较宽的合金，也能得到密实的铸件。同时，冷却速度大，可使铸件晶粒细化，还能减轻或消除有色合金铸件的针孔。为了得到更大的冷却速度，要求用较低的温度。

液态金属浇入金属型的型腔后，由于型壁的直接导热，金属液会很快冷却凝结成一层硬壳，以后散热则要通过硬壳与型壁间所形成的空气隙。在金属型中铸造厚大铸件时，浇入型中的金属液在充满型腔的一定时间之后才开始凝固，特别是在金属型预热温度高和有大的砂芯时，更是如此，这正是由于上述空气隙的存在，减缓了铸件的散热速度所致。所以在浇注厚大铸件时，应采用较低的温度和浇注温度。

在铸造不大的薄壁铸件时，金属液凝固得很快，在许多情况下，几乎在浇注完毕时，铸件凝固也就完成了。所以，对大而壁薄的铸件，为了能完好地充满型腔，获得轮廓清晰的铸件，就要有较高的金属型温度和浇注温度。同时，在型腔表面还必须覆以隔热层（涂料）。此外，提高金属液的浇注温度能改善铸件的补缩条件，因为这样能使金属液容易进入已被型壁很快冷却的下层金属中。当内浇口由下面导入型腔时，要求金属液有更高的温度，以使其在相当热的状态下达到型腔的上部，特别是当铸件上部有冒口时，更希望如此。但是，金属液的温度也不能太高，温度太高，会增大铸件的收缩量，并降低力学性能。

在金属型铸造中，铸件产生裂纹的可能性比砂型铸造时大得多。这主要是因为金属型和金属型芯没有退让性，阻碍铸件收缩；其次铸件凝固冷却不均匀也是产生裂纹的重要原因。

但是，假如能使铸件变形在比较高的温度下进行，这时合金的塑性又足够大，那么，裂纹将不会产生。所以，当确定温度规范时，应尽量使合金由塑性转变到弹性状态的过程中，铸件各部分的温差减到最小，并且尽量减小在合金结晶期间浇注的合金和金属型型壁之间的温度差。这时就要求铸型温度较高，而浇注温度较低。

从上面的一些分析可知，确定金属型铸造温度规范时，应考虑到以下三点原则：

- (1) 保证铸件全部表面能得到清晰的外形，没有冷隔和浇不足的现象，也就是希望冷却慢些，要求有较高的浇注温度和金属型温度；
- (2) 保证铸件变形小，不发生扭曲和裂纹，要求金属型温度高而浇注温度低；
- (3) 保证铸件组织细密，力学性能好，希望快速冷却，要求较低的温度和浇注温度。

二、金属型工作温度

金属型在喷涂料之前以及浇注之前，要均匀地加热到工作温度或接近工作温度，并且在工作过程中要保持已经选定的温度范围，这样才能得到内部质量和外形尺寸稳定的铸件。当确定金属型工作温度时，选择过高或过低的温度都会带来一些不良的后果。

金属型温度过低时会出现下列缺点：

- (1) 浇入型腔的液态金属会迅速降低流动性，使铸件容易产生冷隔、浇不足、裂纹、气孔

和轮廓不清晰等缺陷。

(2) 浇铸铸铁件时，表面容易产生白口层。

(3) 型腔表面受到液态金属的强烈加热，型壁内外温差大，金属型容易开裂损坏。浇注黑色合金时，这种现象尤为严重。

(4) 冷的金属型上往往凝结有水汽，浇入液态金属时会引起喷溅或爆炸。

(5) 有时会破坏顺序凝固的条件，此时，单靠涂料调整是不行的。

金属型温度过高时又会出现下列缺点：

(1) 使铸件结晶组织变粗，对有色合金还容易产生针孔和缩松；

(2) 延长铸件冷却时间，降低生产率；

(3) 因为金属型温度过高时，其强度和刚度低，容易产生扭曲变形，导致过早损坏；同时，也容易和浇注的合金发生熔焊现象。

金属型工作温度取决于浇注合金的种类和牌号（熔点、铸造性能）、铸件的结构形状、尺寸大小和壁厚，同时，也和合金的浇注温度有关。金属型工作温度参见表 9-1。

表 9-1 金属型工作温度

合金种类	铝合金		镁合金		铜合金	铅锡青铜	锡青铜	铸铁	铸钢
	一般铸件	薄壁复杂铸件、金属型芯	一般铸件	薄壁复杂铸件、金属型芯					
金属型工作温度(°C)	200~350	400~500	200~380	350~450	120~200	50~125	150~250	250~350	150~300

三、合金浇注温度

金属型铸造时，合金的浇注温度受下列因素的影响：

(1) 铸件结构：形状复杂、壁薄的大铸件，浇注温度应高些；形状简单的厚壁铸件或有较大砂芯的铸件，则浇注温度应低些。

(2) 铸型温度：金属型工作温度愈低，则浇注温度应愈高。为了完好地充填铸件的薄断面，提高合金浇注温度比提高铸型温度有更好的效果。

(3) 浇注速度：浇注速度快时，液态金属在铸型内流动过程中热量损失少，流动性的降低也就少，因而浇注温度可低些，若由于铸件结构的特性要求，需缓慢浇注时，则应将浇注温度提高。

(4) 浇注系统，采用上浇注系统时，应该用较低的浇注温度；采用下浇注系统时，应该用较高的浇注温度，以便合金在温度相当高时达到铸件的上部和冒口中。

(5) 合金的种类和牌号不同，其浇注温度也就不同。

常用的各种合金浇注温度参见表 9-2。

表 9-2 合金浇注温度

合金种类	铝硅合金	铝铜合金	铝镁合金	镁合金	锡青铜	黄铜	铸 铁	铸 钢
浇注温度 ^① (°C)	690 ~750	700 ~750	680 ~730	680 ~780	1 100 ~1 200	950 ~1 100	1 300 ~1 400	1 500 ~1 560

注：① 有色合金的浇注温度是指合金在保温炉中的温度。

四、浇注过程中金属型的热平衡

(一) 金属型热平衡的意义

金属型铸造时，生产量一般都很大，对铸件的质量要求很高。而且，要求铸件的质量是稳定的，也就是说同一付金属型中铸造出来的铸件，质量应该是一样的。欲达到上述目的，就要求金属型的工艺规范保持稳定，首先是热规范稳定。浇注温度一般可以很方便地由保温炉控制，因此，金属型的工作温度，就成了影响热规范稳定的主要因素。在一个浇注周期中，要想让金属型温度始终保持不变是不可能的，也不需要。当金属液浇入金属型后，金属型被加热，温度升高，当取出铸件后金属型温度就要降低，这样周而复始。但是，我们要求在每次浇注时，金属型温度能稳定在我们所选择的温度范围内。然后按其固有的规律从升温到降温变化，也就是必须使金属型在工作过程中，保持这个温度变化规律不变，这就是热平衡。只有保持金属型的热平衡，才能保证铸造出来的铸件内、外部质量稳定。

(二) 金属型热平衡计算

要想使金属型在每次浇注时的温度保持在一定的范围内，则需要衡量一下金属型在一个浇注周期中从铸件得到的热量($\Sigma Q_{\text{得}}$)与散入周围介质中的热量($\Sigma Q_{\text{失}}$)哪一项大。希望两者趋于相等。若不相等时， $\Sigma Q_{\text{得}}$ 大于 $\Sigma Q_{\text{失}}$ 就要进行冷却； $\Sigma Q_{\text{得}}$ 小于 $\Sigma Q_{\text{失}}$ 就要进行补充加热。

1. 金属型得到的热量可由下式计算

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{\text{得}} &= Q_{\text{液}} + Q_{\text{固}} + Q_{\text{出}} \\ &= G[C_{\text{液}}(t_{\text{液}} - t_{\text{液}}) + q_{\text{潜}} + \frac{1}{2}(C_{\text{液}} + C_{\text{固}}) \\ &\quad \times (t_{\text{液}} - t_{\text{固}}) + C_{\text{固}}(t_{\text{固}} - t_{\text{出}})] \end{aligned} \quad (9-1)$$

式中： $Q_{\text{液}}$ ——液态金属从浇注温度冷却到液相线温度放出的热量(kJ)；

$Q_{\text{固}}$ ——金属从液相线温度冷却到固相线温度放出的热量(kJ)；

$Q_{\text{出}}$ ——铸件从固相线温度冷却到出型温度放出的热量(kJ)；

G ——铸件(包括浇冒口)重量(kg)；

$C_{\text{液}}$ ——液态金属的比热(kJ/(kg·°C))；

$C_{\text{固}}$ ——固态金属的比热(kJ/(kg·°C))；

$q_{\text{潜}}$ ——单位重量结晶潜热(kJ/kg)；

$t_{\text{液}}$ ——液态金属的浇注温度(°C)；

$t_{\text{液}}$ ——液相线温度(°C)；

$t_{\text{固}}$ ——固相线温度(°C)；

$t_{出}$ —— 成型时的铸件温度(°C)。

计算 $\Sigma Q_{铸}$ 时常用的有关物理量见表 9-3。

表 9-3 常用的有关物理量

合金牌号	$t_{出}$ (°C)	$t_{铸}$ (°C)	$t_{固}$ (°C)	$t_{固}^{\text{中}}$ (°C)	$C_{铸}^{\text{中}}$ (kJ/(kg·°C))	$C_{固}$ (kJ/(kg·°C))	$G_{铸}$ (kJ/kg)	$Q_{铸}$ (kJ/kg)
ZL-101	≈ 730	610	575	≈ 500	1.05	1.05	410	652
ZL-104	≈ 730	600	575	≈ 500	1.05	0.92	418	648
ZL-105	≈ 730	627	570	≈ 500	1.05	1.13	389	638
ZM-5	≈ 730	602	470	≈ 380	1.25	1.17	373	798
灰铸铁	≈ 1 350	1 250	1 130	≈ 850	0.80	0.57	251	573

注：① $t_{出}$ 为现场测定平均值，薄壁小件比表中数据低数十度；

② 表中铝、镁合金的 $C_{铸}$ 为纯金属数据。

金属型内如果有较大的砂芯时，则 $\Sigma Q_{铸}$ 中应当减去砂芯所吸收的热量 $Q_{芯}$ 。

$$Q_{芯} = G_{芯} C_{砂} (t_{芯} - t_{分}) \quad (9-2)$$

式中： $Q_{芯}$ —— 砂芯所吸收的热量(kJ)；

$G_{芯}$ —— 砂芯重量(kg)；

$C_{砂}$ —— 干砂的比热(kJ/(kg·°C))；

(一般取 $C_{砂} = 0.79 \text{ kJ/(kg·°C)}$)

$t_{芯}$ —— 成型时砂芯的平均温度(°C)(经测定，铸铝件的较大砂芯，浇注后五分钟时的平均温度为 $80 \sim 180^\circ\text{C}$)；

$t_{分}$ —— 周围介质(大气)温度(°C)。

在 $\Sigma Q_{铸}$ 中，有一部分热量从浇冒口顶部散失掉了，但数量很少，可以忽略不计。

2. 金属型向周围介质中散失的热量 $\Sigma Q_{散}$ 可用下式计算

$$\Sigma Q_{散} = \alpha F \tau (t_{型} - t_{分}) \quad (9-3)$$

式中： α —— 总散热系数(W/(m²·°C)) (α 是计入热导率 λ 、对流传热系数 α_K 、辐射传热系数 α_r 三者影响的总散热系数)；

F —— 金属型散热表面积(m²)；

τ —— 浇注周期(s)；

$t_{型}$ —— 金属型的外表面温度(°C)；

$t_{分}$ —— 周围介质的平均温度(°C)。

金属型向周围介质的散热包括对流及辐射。对流中实际上还包含着热传导的因素。因此，总散热系数 α 为对流传热系数 α_K 与辐射传热系数 α_r 之和。即

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_r \quad (9-4)$$

$\Sigma Q_{散}$ 的计算是相当复杂的。首先，传热系数在不同的温度有着不同的数值，各种传热方式所起的作用，也会因温度不同而变化。低温时($< 142^\circ\text{C}$)对流传热强于辐射传热；高温时($> 142^\circ\text{C}$)辐射传热强于对流传热。其次，金属型的散热表面积几何形状又多是不规则的，很难

计算,且打开金属型取出铸件之前,只是金属型的外表面散热,而开型取件之后,却是金属型的内、外表面同时散热。为了简化计算,今假定金属型为平板件的稳定传热。

在自然对流条件下:

$$\alpha_K = C \sqrt[4]{t_{\text{型}} - t_{\text{介}}} \quad (9-5)$$

$$\alpha_r = \frac{C_0 \epsilon \left[\left(\frac{T_{\text{型}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{介}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{型}} - T_{\text{介}}} \quad (9-6)$$

式中: C —— 系数(上表面 $C = 2.15$, 垂直表面 $C = 1.7$, 下表面 $C = 1.13$);

$t_{\text{型}}$ —— 金属型的外表面温度($^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{介}}$ —— 周围介质的平均温度($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{型}}$ —— 金属型外表面的绝对温度(K);

$T_{\text{介}}$ —— 周围介质的绝对温度(K);

C_0 —— 绝对黑体的辐射系数($5.7\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$);

ϵ —— 材料的黑度(铸铁金属型取 $\epsilon = 0.82$)。

上面我们介绍了金属型热平衡的计算方法。为了简化计算,我们给出了金属型外表面向周围空气(20°C)的对流、辐射传热系数,总散热系数及单位面积的散热值(见表 9-4)。

表 9-4 金属型外壁对周围介质(大气)的对流(20°C 时的自然对流)、辐射传热系数及单位面积散热值

表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\alpha_1 + \alpha_K$ ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	α_1 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	α_K ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	$Q_{\text{表}}$ (kW/m^2)	表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\alpha_1 + \alpha_K$ ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	α_1 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	α_K ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)	$Q_{\text{表}}$ (kW/m^2)
25	8.61	4.80	3.81	0.043	140	16.89	8.42	8.47	2.03
30	9.47	4.92	4.55	0.094	160	18.03	9.23	8.80	2.53
40	10.59	5.18	5.41	0.212	180	19.20	10.11	9.09	3.07
50	11.44	5.45	5.99	0.343	200	20.41	11.04	9.37	3.67
60	12.16	5.73	6.43	0.486	250	23.61	13.64	9.97	5.43
70	12.82	6.02	6.80	0.641	300	27.16	16.69	10.47	7.60
80	13.45	6.33	7.12	0.807	350	31.11	20.20	10.91	10.27
90	14.05	6.64	7.41	0.983	400	35.51	24.21	11.30	13.50
100	14.62	6.97	7.65	1.170	450	40.41	28.76	11.65	17.36
120	15.75	7.66	8.09	1.58	500	45.86	33.88	11.98	22.01

经计算,1 kg 铝合金铸件(ZL-101),如果其浇注温度为 730°C , 成型温度为 500°C , $\Sigma Q_{\text{铸}} = 652\text{ kJ}$ 。根据工厂统计资料,一般金属型的重量是铝合金铸件重量的 30~40 倍。此热量可使金属型的温度升高 30~40 $^{\circ}\text{C}$ 。若金属型工作温度为 230°C , 金属型的平均壁厚为 20 mm, 欲使 $\Sigma Q_{\text{铸}} = \Sigma Q_{\text{失}}$, 保持下一次浇注时金属型的工作温度仍为 230°C , 需在空气中冷却 5~7 min。

计算如下:

由式(9-1)得

$$\begin{aligned}\Sigma Q_{\text{铸}} &= 1 \times [1.05 \times (730 - 610) + 410 + \frac{1}{2} \times (1.05 + 1.05) \\ &\quad \times (610 - 575) + 1.05 \times (575 - 500)] \\ &= 652 \text{ kJ}\end{aligned}$$

此热量可使金属型温度升高

$$\Delta t_1 = \frac{652}{30 \times 1 \times 0.57} \approx 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \frac{652}{40 \times 1 \times 0.57} \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

金属型工作温度 230°C , 由表 9-4 中用插值法求出 $\alpha_1 + \alpha_K = 22.33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 壁厚为 20 mm 的铸铁平板表面积为其重量的 1.8 倍。

$$F_1 = \frac{30 \times 1 \times 10^3}{2 \times 7.8} \times 1.8 = 0.3462 \text{ m}^2$$

$$F_2 = \frac{40 \times 1 \times 10^3}{2 \times 7.8} \times 1.8 = 0.4615 \text{ m}^2$$

由式(9-3)得

$$652 \times 10^3 = 22.33 \times 0.3462 \times (230 - 20)\tau_1$$

$$\tau_1 = 401 \text{ s} \approx 6.7 \text{ min}$$

$$652 \times 10^3 = 22.33 \times 0.4615 \times (230 - 20)\tau_2$$

$$\tau_2 = 30/\text{s} \approx 5 \text{ min}$$

同理, 1 kg 的镁合金铸件, 如果浇注温度为 730°C , 成型温度为 380°C , $\Sigma Q_{\text{铸}} = 730 \text{ kJ}$ 。根据工厂统计资料, 一般金属型的重量是镁合金铸件重量的 40 ~ 50 倍。此热量可使金属型的温度升高 26 ~ 32 $^\circ\text{C}$ 。若金属型的工作温度为 300°C , 金属型的平均壁厚为 20 mm, 欲保持下一次浇注时金属型的工作温度仍为 300°C , 需在空气中冷却 2.8 ~ 3.5 min。

通过浇注过程金属型热平衡的计算, 可知型壁愈薄, 则浇注后蓄热能力愈小, 型温升高愈多, 散热愈快。型壁厚度增加, 蓄热体积增大, 散热面积却增加很少, 型温升高也少, 散热就慢。所以足够的型壁厚度是保持金属型热平衡的基础。浇注铝、镁合金铸件时, 在一定范围内, 可用调整浇注周期的长短来保持金属型的热平衡。

金属型热平衡的概念, 在设计金属型对应予以足够的重视。在复杂的金属型铸造中, 有时会因砂芯组合的时间过长, 使铸型不能维持必要的温度, 或者因型壁太厚太薄而影响热平衡, 降低铸件质量。有的工厂曾发生过片面追求模具轻型化, 设计时不适当地减小型壁厚度, 引起热平衡失调, 导致金属型成批报废。金属型良好的热平衡, 对保证批生产中铸件冶金质量的稳定, 具有十分重要的意义。小铸件因浇注周期短, 容易调整热平衡, 计算的价值不大。一般认为 4 kg 以上的铝、镁合金铸件生产用的金属型设计, 热平衡的计算有较大的意义, 它为设计金属型壁厚提供了一定的依据, 同时, 可确定是否需要设置加热或冷却装置。

复习思考题

1. 浇注过程中为什么要保持金属型的热平衡?
2. 金属型的热平衡如何计算? 如何实现?

第十章 压力铸造

§ 10-1 压铸机简介

压铸机是压力铸造的基本设备，压铸过程只有通过压铸机才得以实现。同时，它又为压铸工艺提供了选择压铸工艺参数的条件。

压铸机共分两大类：热压室压铸机和冷压室压铸机。

一、热压室压铸机

热压室压铸机的压室与合金熔化炉多成一体，或压室浸入熔化的液态金属中，用杠杆机构或压缩空气产生压力。典型的热压室压铸机工作过程原理图如图 10-1 所示。

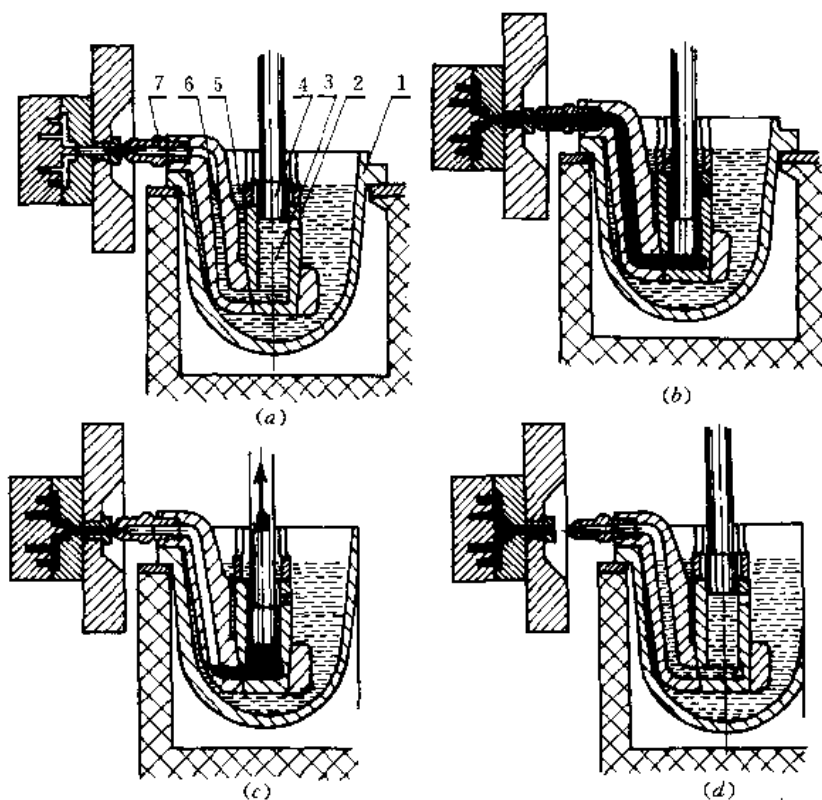


图 10-1 热压室压铸机工作过程原理图

1—坩锅 2—进口 3—压室 4—压射冲头 5—金属液 6—通道 7—喷嘴

由图 10-1 (a) 可知，压射冲头 4 居上部位置时，打开进口 2，于是金属液 5 从坩锅 1 通过进口 2 进入压室 3。当压射冲头向下压射时，关闭进口 2，金属液便沿着通道 6 经过喷嘴 7 而充填铸型（图 (b) 所示）。压射完毕，冲头上提将通道 6 中的剩余金属液抽回（图 (c) 所

示)。推开铸型准备取出铸件，压射冲头恢复到初始位置（图（d）所示）。

热压室压铸机一般仅适用于压铸铅、锡、锌等低熔点合金和镁合金。

二、冷压室压铸机

现代机械、仪器、仪表、航空、汽车上采用较多的铝合金、镁合金和铜合金压铸件，大多是在冷压室压铸机上生产的。冷压室压铸机的压室和熔化坩锅是分开的。压铸时，需要由熔化坩锅或保温炉中盛取液态金属，浇入压室，用压力（通过压射冲头）将其压入铸型型腔。根据压室与压铸型的相对位置不同，冷压室压铸机可以分为以下三种形式。

（一）立式冷压室压铸机

立式冷压室压铸机工作过程原理图，如图 10-2 所示。

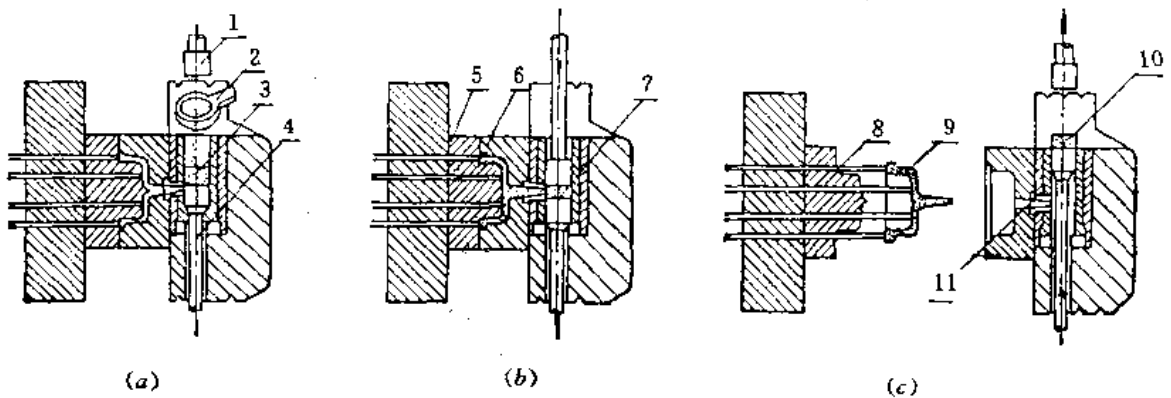


图 10-2 立式冷压室压铸机工作过程原理图

(a) 合型浇注 (b) 压射 (c) 推出余料，开型取件

1—压射冲头 2—浇勺 3—金属液 4—反料冲头 5—动型 6—静型

7—压室 8—推杆 9—铸件 10—余料 11—浇口套

压铸时，将金属液 3 浇入压室 7（见图 10-2 (a)），压射冲头 1 将金属液 3 压入铸型（见图 10-2 (b)）。为了使金属液在压射前不会自动流入铸型，必须保证反料冲头 4 在开始加压前堵住浇口套 11 的浇道孔，通常用弹簧或液压分配阀控制，将反料冲头 4 支持在所要求的高度，当压射冲头下压时，立即泄压，使反料冲头 4 落入锥形巢内，因此，打开了浇口套 11 的浇道孔，金属液被压入铸型型腔。经过一段时间保压，待铸件凝固后，压射冲头 1 回升（见图 10-2 (c)），同时反料冲头 4 上升，切断与铸件 9 相连的余料 10，并将它从压室 7 中顶出，此后开型并顶出铸件。铸型经清理后，喷涂料、合型待浇即完成一个压铸周期。

（二）卧式冷压室压铸机

卧式冷压室压铸机工作过程原理图，如图 10-3 所示。

在卧式压铸机上，压室 4 水平放置，其末端与静型 2 连结，在压室上部有一浇注孔 5，金属 10 从其中浇入压室 4，压射冲头 9 将金属液压入铸型（见图 10-3 (b)）。金属液被压入型腔以后，经过一段时间保压后开型，此时，铸件 7 与余料 8 一起由动型带走，并由顶出机构把铸件顶出。清理铸型，喷涂料后合型待浇即完成一个压铸周期。

（三）全立式冷压室压铸机

所谓全立式冷压室压铸机不仅其压室是垂直放置的，连铸型开合，也是采取动型作垂直

上下往复运动完成的。这时压铸型水平放置（水平分型），稳固可靠，分型面、浇注系统开设方便。压室垂直放置，金属液在压室内靠近压铸型的一端，热量损失少，带入型腔中的空气少，进入型腔时转折少，流程短，压力损耗小。全立式冷压室压铸机广泛用于压铸电机转子和活塞。

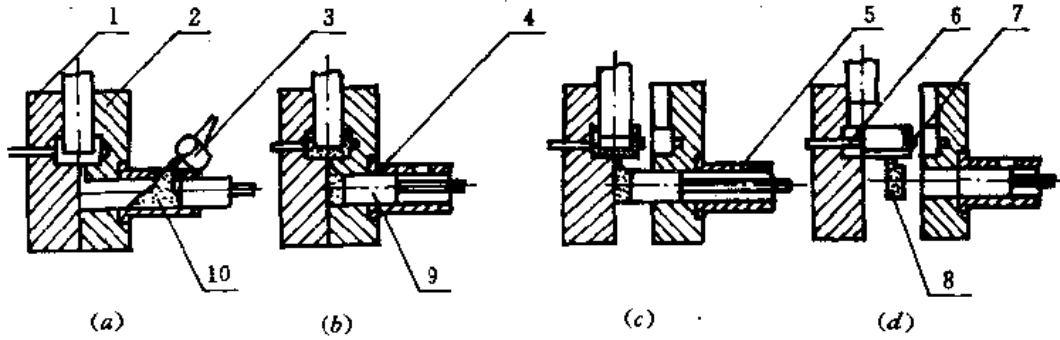


图 10-3 卧式冷压室压铸机工作过程原理图
 (a) 合型浇注 (b) 压射 (c) 开型 (d) 顶出铸件
 1—动型 2—静型 3—浇勺 4—压室 5—浇注孔 6—推杆
 7—铸件 8—余料 9—压射冲头 10—金属液

图 10-4 所示为一种全立式冷压室压铸机工作过程原理图。

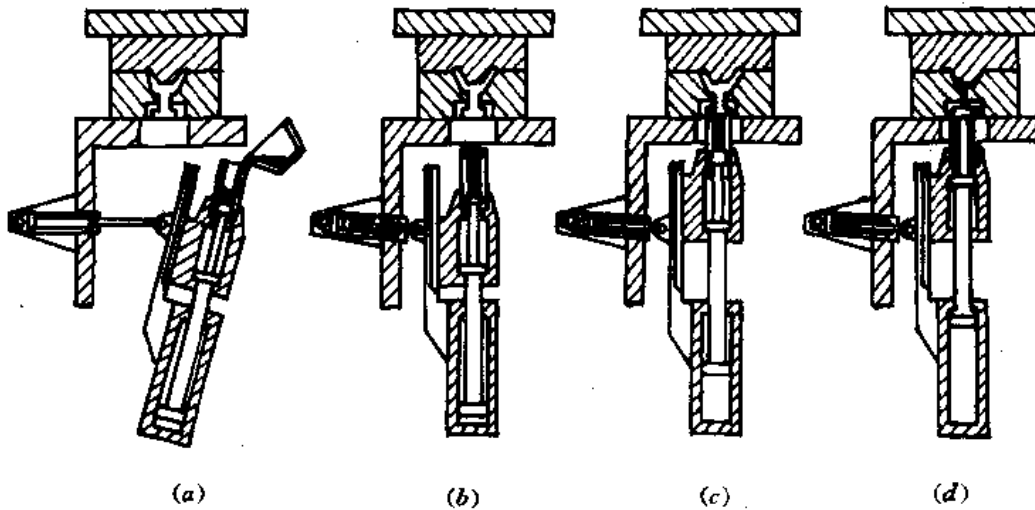


图 10-4 压室倾斜浇注的全立式冷压室压铸机工作过程原理图
 (a) 倾斜浇注 (b) 直立 (c) 压室升起 (d) 充填、压射

§ 10-2 压力铸造的工艺流程

压力铸造（简称压铸）是在压铸机的压室内，浇入液态或半液态的金属或合金，使它在高压和高速下充填型腔，并且在高压下成型和结晶而获得铸件的一种铸造方法。其工艺流程如图 10-5 所示。

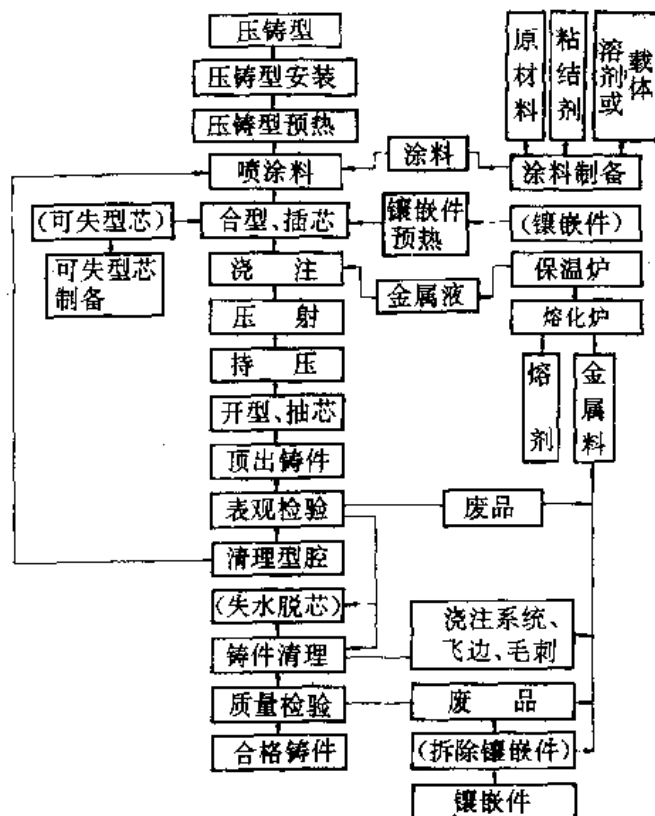


图 10-5 压力铸造工艺流程图

§ 10-3 压铸压力

压铸过程中的压力是由泵产生的，泵借蓄压器通过工作液体传递给压射活塞，然后由压射活塞经过压射冲头施加在压室内的金属液上。

作用于金属液上的压力是获得组织致密和轮廓清晰的铸件的主要因素，所以，必须了解并掌握压铸过程中作用在液态金属上的压力变化情况，以便正确地利用压铸过程中各阶段的压力，并合理地选择压力的数值。

一、比压

压铸的压力通常用比压表示。所谓比压是指压射过程中，压室内单位面积上液态金属所受到的静压力。即

$$p = \frac{P}{f} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (10-1)$$

式中： p ——比压(kPa)；

P ——压铸机的压射力(kN)；

f ——压铸机压室的截面积(m^2)；

d ——压铸机的压室直径(m)。

为了提高铸件的致密性，增大比压无疑是有效的，但是过高的比压会使铸型受到金属液的强烈冲刷和增加金属液粘模的可能性，从而降低铸型的使用寿命。因此，应根据不同合金

和不同特点的铸件，选择合适的比压。

一般常用比压可按表 10-1 选取。

表 10-1 各种压铸件常用的计算比压 (kPa)

合金种类	铸件壁厚 ≤ 3 mm		铸件壁厚 > 3~6 mm	
	铸件复杂程度		铸件复杂程度	
	简单的	复杂的	简单的	复杂的
锌合金	30 000	40 000	50 000	60 000
铝合金	35 000	45 000	45 000	60 000
镁合金	40 000	50 000	50 000	70 000
铜合金	50 000	60 000	70 000	80 000

现代压铸机改变比压的方法是：调节压铸机压射力的大小和更换不同直径的压室。

二、压力的变化及作用

在压铸过程中作用于液态金属的压力并非是一个常数，它随压铸阶段的不同而变化，其变化情况如图 10-6 所示。

由图 10-6 中可知：

t_1 ——将液态金属浇入压室后尚未加压，故无压力作用。

t_2 ——加压时液态金属进入浇道和型腔，由于型壁及型芯对液态金属流动的阻力，压力逐渐增加。液态金属在流动压力 P_f 的作用下产生运动，即冲头施于液态金属上的压力转变为使金属液流动的速度头。

t_3 ——当液态金属充满型腔时，金属液的流动突然停止，于型壁处形成冲击使压力剧增，流动压力 P_f 转变为流体动压力 P_d 。型腔中充满金属液的瞬时形成的 P_d 最大值（冲击波 H ）超过静压力 P_j 。此时液态金属的温度略有升高，有利于充型。

t_4 ——流体动压力 P_d 转变为静压力 P_j ，它在内浇口截面完成凝固后即不再起作用。

t_5 ——静压力 P_j 继续保持。

作用于液态金属上的压力在不同阶段转变为不同形式，起着不同的作用。 P_f 用以克服液态金属流动的阻力，使液态金属得到一定的速度，充填型腔。 P_d 及冲击波 H 起成型和压实作用，它使液态金属成型而得到轮廓清晰、外表光洁和尺寸精确的铸件，并使正在凝固的金属受

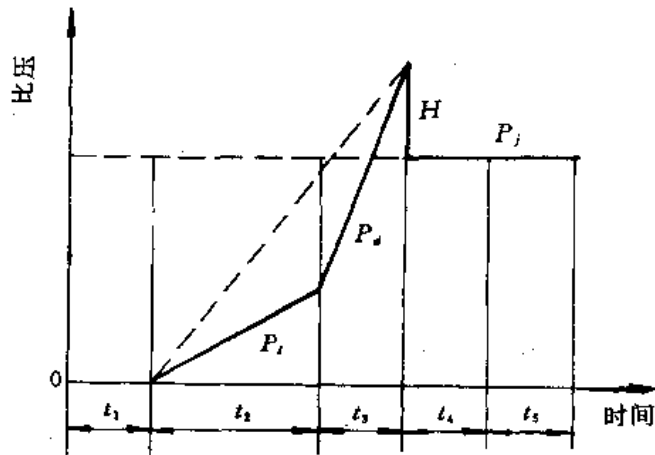


图 10-6 压铸周期中各阶段压力的转变
 P_f —流动压力 P_d —流体动压力 P_j —静压力
 t_1 —施压前阶段 t_2 —充填阶段 t_3 —成型阶段
 t_4 —结晶凝固阶段 t_5 —塑性变形阶段

压而提高铸件组织的致密度。 P_1 起最后压实金属的作用,但由于内浇口截面迅速凝固, P_1 实际上不能完全发挥作用,或仅在浇口截面有一定厚度时才对内浇口附近的金属起压实作用。

显然, P_2 在压铸过程中起着最重要的作用。所以,在压铸过程中压力的主要作用在一定程度上是为了获得速度,保证液态金属的流动性。使用较高的压力就可以用较低的浇注温度,这样有利于减少压铸件的缩孔和疏松,并且可以提高压铸型的使用寿命。

新型压铸机的压力曲线,可以根据生产的需要进行调节与控制,如图 10-7 所示。

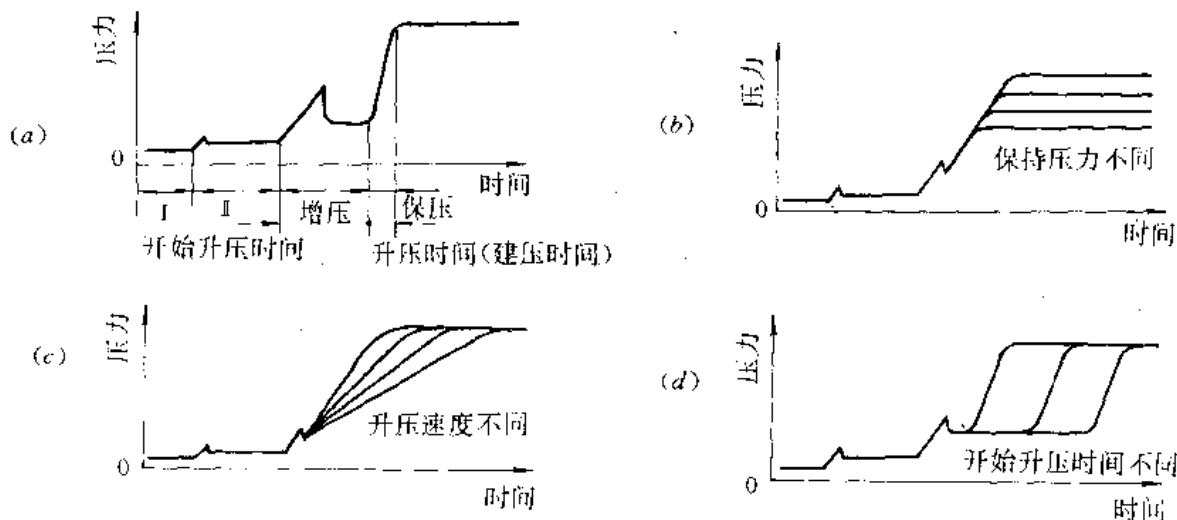


图 10-7 可调、控的压力曲线

(a) 正常压力曲线 (b) 保持压力不同 (c) 升压速度不同 (d) 开始升压时间不同

三、影响压力的因素

影响压力的因素很多,其中主要是:压铸机的结构和性能、蓄压器的工作状况、压铸机工作液的性质和温度、浇注系统的形状和尺寸等。由于上述诸因素对压力的影响,所以,生产中得到的实际比压比理论上的计算比压要小。即实际比压应等于计算比压乘以压力损失折算系数 K 。 K 值见表 10-2。

表 10-2 压力损失折算系数(K)

条 件	K 值		
	> 1	$= 1$	< 1
直浇道导入口截面积 F_1 与内浇口截面积 F_2 之比 (F_1/F_2)	> 1	$= 1$	< 1
立式冷压室压铸机	0.66 ~ 0.70	0.72 ~ 0.74	0.76 ~ 0.78
卧式冷压室压铸机	0.88		

§ 10-4 压射速度和充填速度

压射速度和充填速度是两个不同的概念。压射速度是指压射时压射冲头运动的线速度,一般为 0.2 ~ 0.3 m/s。压射速度可以通过压铸机上的压射速度调节阀进行无级调速。充填速度

是指金属液通过内浇口导入型腔时的线速度。充填速度的主要作用是将液态金属在凝固之前迅速输入型腔,是获得轮廓清晰、表面光洁的铸件的重要因素。此外,为了得到高的流体动压力 P_d ,也需要高的充填速度。当充填速度较高时,即使采用较低的比压也可以获得表面光洁的铸件;但是,过高的充填速度会引起许多工艺上的缺点,造成不利的压铸条件,主要有以下几点:

(1) 包住空气形成气泡。由于高速金属液流到空气的前面,堵塞排气通道,所以,空气被包在型腔内。

(2) 金属液呈雾状进入型腔,粘附于型壁上,随后进入的金属液不能与它熔合而形成表面缺陷(冷豆或冷隔),降低铸件表面质量。

(3) 高速金属流产生旋涡,包住空气和最先进入型腔的冷金属,使铸件产生气孔和氧化夹杂。

(4) 高速金属流冲刷型壁,加速压铸型的磨损。

在冷压室压铸机中,压室、浇道和铸型型腔相连,成为一个密闭系统,因而它们之间具有以下连续方程的关系:

$$\frac{\pi}{4}D^2v_1 = \frac{\pi}{4}d^2v_2 = f v \quad (10-2)$$

式中: D —— 压室直径(m);

v_1 —— 压射速度 (m/s);

d —— 直浇道的入口直径(m);

v_2 —— 金属液在直浇道入口处的流动速度(m/s);

f —— 内浇口的截面积(m²);

v —— 充填速度(m/s)。

式(10-2)表明了压室直径一定的前提下,压射速度与该系统各处金属液的流动速度的关系。因此,只要精确地测出压射速度,便可通过上式求得充填速度。由于工作液体不可压缩,在压铸机有过剩功率的条件下工作时,铸型中的各种阻力虽然会影响金属液在铸型中的流动速度,但实际上不会显著地影响压射速度,因而,在同一铸型的充填过程中金属液的充填速度是一定的。

由上述连续方程可知,内浇口截面积大小同样会影响充填速度。为了便于在需要时有可能改变内浇口的截面积,在设计压铸型时,内浇口的布置最好预留一定的位置。若内浇口截面积过小,则会因充填速度过大,液态金属呈喷射状进入铸型,导致压铸件表面质量不佳,内部多孔疏松,降低力学性能;同时,过大的充填速度还会加速铸型型腔的磨损而降低其使用寿命。相反,使用较大截面积的内浇口,既能保证一定的充填速度,又能延缓内浇口处金属的凝固,使静压力 P_s 起到压实作用。

此外,充填速度和比压有关,根据水力学原理可知,两者之间的关系式为:

$$v = \mu \sqrt{2g \frac{p}{\rho}} \quad (10-3)$$

式中: v —— 充填速度(m/s);

μ —— 阻力系数;

g —— 重力加速度 (m/s²);

p —— 比压(kPa);

ρ —— 金属液密度(kg/m³)。

由式(10-3)可知, 充填速度与比压的平方根成正比, 与金属液密度的平方根成反比。因而比压大, 充填速度高; 金属液密度大, 充填速度低。

与比压一样, 充填速度是压铸工艺的主要参数之一, 充填速度的高低直接影响铸件的内部或外部质量。充填速度的选择应视铸件大小、复杂程度、铸件的要求、合金种类、比压高低而异。例如, 对简单厚壁铸件, 以及对铸件内部组织要求高时, 应选择高比压、低充填速度、大浇口; 而对薄壁复杂铸件或对表面要求高时, 应采用高充填速度、高比压、因为这时铸件成型是主要矛盾。

生产中常用的充填速度见表 10-3。

表 10-3 各种压铸合金的充填速度 (m/s)

充填速度 合金种类	铸件类型	简单的厚壁 铸件	一般铸件	复杂的薄壁 铸件
锌合金、铜合金		10~15	15	15~20
镁合金		20~25	25~35	35~40
铝合金		10~15	15~25	25~30

§ 10-5 浇注温度

浇注温度是指金属液自压室进入型腔时的平均温度。由于对压室内的金属液的温度测量不方便, 一般用保温炉内的金属液温度表示。

保温炉内的金属液应保持比所需浇注温度较高的温度, 以保证浇入压室激冷(一般降低 15~20℃)后仍有足够的流动性。但是, 气体在金属液内的溶解度和金属氧化程度随温度升高而迅速增大, 因此, 金属液过热温度越小越好, 一般在保温炉内的温度, 以不超过该合金液相线以上 20~30℃为宜。

浇注温度低, 呈粘稠的“粥状”(半固态)金属液, 在压射过程中产生旋涡和卷入空气的可能性较小, 同时, 亦为增大排气槽的深度提供了可能, 因而, 可改善排气条件。此外, 采用较低的浇注温度, 可使金属液在凝固过程中体积收缩减小, 在铸件厚壁处产生缩松和缩孔的可能性减小。另外, 由于低的浇注温度使金属液对铸型的熔融和粘模情况显著减小, 因而延长了铸型的寿命。采用低的浇注温度也有不利的方面, 例如, 对于含硅量高的铝合金, 当采用“粥状”浇注时, 硅将大量析出, 以游离状态存在于铸件内, 使加工性变坏; 此外, 降低金属液的浇注温度时, 其流动性要降低, 不过, 对压铸来说, 由于是在高压下充填型腔, 金属液本身的流动性并不起决定性的作用。影响压铸时流动性的主要因素是压力和压射速度。

各种合金压铸件的浇注温度, 随其壁厚和结构的复杂程度不同而异, 在设计压铸工艺时, 可参考表 10-4 所推荐的数据确定之。

表 10-4 各种压铸合金的浇注温度 (°C)

合 金		铸件壁厚 ≤ 3 mm		铸件壁厚 > 3~6 mm	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	含铝的	420~440	430~450	410~430	420~440
	含铜的	526~560	530~550	510~530	520~540
铝合金	含硅的	610~650	640~700	590~630	610~650
	含铜的	620~650	640~720	600~640	620~650
	含镁的	640~680	660~700	620~660	640~680
镁合金		640~680	660~700	620~660	640~680
铜合金	普通黄铜	850~900	870~920	820~860	850~900
	硅黄铜	870~910	880~920	850~900	870~910

注：表中所列数据为金属液在保温炉内的温度。

§ 10-6 铸型温度

在压铸生产前必须将铸型预热到一定的温度，生产过程中应保持符合热平衡要求的温度范围。其作用首先是避免金属液激冷急剧，而很快失去流动性，使铸件不能成型，或即使能成型，但因激冷而增大线收缩，引起裂纹和开裂；此外，提高铸型的温度，还可降低型腔中空气的密度，有利于型腔中气体的排除，从而获得表面光洁、轮廓清晰及组织致密的铸件；再者，还可避免铸型因激热而胀裂，延长了铸型的寿命。

铸型工作温度不宜过高，过高时将导致金属液粘模、铸件顶出变形、铸型局部卡死甚至损坏、延长开型时间降低生产率等。因此，根据热平衡计算下来，当铸型温度过高时，应对它进行冷却；反之，应进行加热。应特别指出的是，冷却液应在铸型预热以前及时通入，否则，将因激冷而引起铸型产生裂纹甚至破裂。

铸型工作温度，可按式(10-4)计算：

$$t_{\text{型}} = \frac{1}{3}t_{\text{液}} \pm \Delta t \quad (10-4)$$

式中： $t_{\text{型}}$ ——铸型工作温度(°C)；

$t_{\text{液}}$ ——合金浇注温度(°C)；

Δt ——温度控制公差(一般取 25°C)。

对薄壁复杂件，铸型工作温度应比式(10-4)计算值高些，而对厚壁简单件则可低些。另外，也可参考选用表 10-5 所推荐的铸型工作温度。

表 10-5 压铸型工作温度 (°C)

合金种类	铸件壁厚 ≤ 3 mm		铸件壁厚 $> 3\sim 6$ mm	
	简单的	复杂的	简单的	复杂的
锌合金	130~180	150~200	100~150	170~180
铝合金	150~200	180~250	120~180	150~200
镁合金	170~250	250~300	140~200	170~250
铜合金	250~350	300~380	200~300	250~380

§ 10-7 充填时间与持压时间

一、充填时间

金属液自开始进入型腔到充满型腔的过程所需的时间称为充填时间。充填时间的长短取决于铸件的体积和复杂程度，体积大而形状简单的，充填时间应长些，反之，体积小而形状复杂的，则应取较短的充填时间。但是，不管铸件的体积大小和形状复杂与否，它们的充填时间都是很短的。试验结果表明，中小型的铝合金压铸件其充填时间仅为 0.1 s 左右。

当铸件的材质和尺寸大小确定后，充填时间与充填速度和内浇口截面积的乘积成反比。如当用大的充填速度时，若内浇口截面积很小，则仍需较长的充填时间。反之，当内浇口截面积较大时，即使用较小的充填速度，也可能缩短充填时间。因此，不能孤立地说，充填速度越大，其所需的充填时间越短。

当考虑内浇口的截面积对充填时间的影响时，必须与其厚度联系起来考虑，如内浇口截面积虽较大但很薄时，由于压铸时金属呈粘稠的“粥状”，粘度很大，因而通过这种薄的内浇口时的阻力很大，必将会延长其充填时间。

过薄的内浇口不仅会使充分时间延长，而且会使压力头过多地损失而转变成热能，引起内浇口处铸型局部过热，并可能导致粘模。

二、持压时间

金属液充满型腔到凝固之前，继续在压力作用下的持续时间称为持压时间。持压时间的作用是使压射冲头有足够的时间将压力传给未凝固的金属，使之在压力下结晶，以便获得组织致密的铸件。但由于对已凝固的铸件，持续加压的时间过长并不产生有效的作用，而且造成切断余料困难（对立式冷压室压铸机），故太长的持压时间也无必要。

持压时间的长短取决于铸件的材质和壁厚。对于熔点高、结晶温度范围大的合金的厚壁铸件 (> 4 mm)，持压时间应长些（一般为 5~7 s）；而对熔点低、结晶温度范围小的合金的薄壁铸件，持压时间可短一些，仅需 1~2 s。

有时铸件在去除浇口后常常发现连接处有孔穴，这并不完全是由于内浇口位置不恰当而形成的气孔，却往往是由于持压时间不够，使未完全凝固的金属液回抽而形成的缩孔。这种现象，对于壁厚而结晶温度范围大的合金的铸件，特别严重。

此外，如果持压时间不够，过早开型，则由于余料尚未凝固完毕，裹在余料中的气体压力过大有可能发生爆炸。

§ 10-8 压铸工艺参数的监测

近年来随着科学技术的迅速发展，压铸技术也得到了长足的发展。压铸机多年来一直使用按钮、机械式继电器、机械式定时器及行程开关，进行工作循环控制。近年来多采用固态控制器，它的集成电路结构保证了控制不受电干扰、振动、冲击和温度波动的影响。固态数字式定时器用数字调节值代替常见的仪表表面刻度，在总的定时范围内可按 0.1 s 或 0.01 s 的增量进行调节。固态电路组合件可以在压铸机上对每个要控制的动作设置反馈装置，这样可以使任何数量的受控运动的位置，在控制盘上调节，只需在控制盘上调节位置旋钮即可。而上述机械式控制装置的调整或复位操作确是很费时的。

进而采用可编程控制器，可实现压铸工艺参数监测和工艺过程控制，从而为进一步提高铸件质量和实现压铸生产自动化提供了条件。

目前监测技术在压铸生产中的应用有三种形式：

(1) 测量与记录：利用仪表或计算机将一付压铸型的最佳工作参数以曲线形式记录下来，作为基本的操作卡片。重复生产时，由工人调整机器，使新的记录带与最佳工作参数曲线完全一致，这样可以减少调整时间，加速重复生产。

(2) 压铸生产过程的经常监测：在重复生产时，压射过程用测量仪表按规定的控制时间和监测，并与工艺过程基准曲线对照，暴露不允许的偏差，及时校正压铸参数。上述过程可用荧光屏显示。对超过基准曲线而压铸出的铸件，则可进行附加检查，以鉴别质量好坏。

(3) 调节：将测量值与给定值（预选的最佳工艺参数）进行比较，并利用调节装置进行调节，使整个压铸过程参数始终处于最佳状态。

表 10-6 列出了一些测量的参数测试方式。

表 10-6 压铸工艺的参数测试方式

参 数	测 试 方 式
合 型 力	装于铸型安装板或大杠上的应变片
液 压 压 力	装于液压管路上各部位的压力传感器或半导体应变片
冲 头 速 度	由压射杆驱动传感器
冲 头 位 置	由压射杆驱动传感器
型腔中金属液 的压力与温度	温度-压力探测器
铸型与型腔温度	热电偶

复习思考题

1. 压铸机共分几类、几种形式？分析对比立式、卧式、全立式冷压室压铸机的优缺点。

2. 试述压铸过程中压力的变化及作用。
3. 生产中欲改变压铸机的比压可采取哪些措施？
4. 压铸生产中必须控制的工艺参数是什么？

第十一章 其他铸造方法简介

§ 11-1 低压铸造

低压铸造是将铸型置于密封的坩埚之上，坩埚内充气升压，金属液通过升液管，在预定的时间内完成升液、充型、增压、保压、放气等阶段，浇注成铸件。因其施加在坩埚内金属液面上的气体压力较低（15~84 kPa）故称低压铸造。图 11-1 是低压铸造机总体示意图。

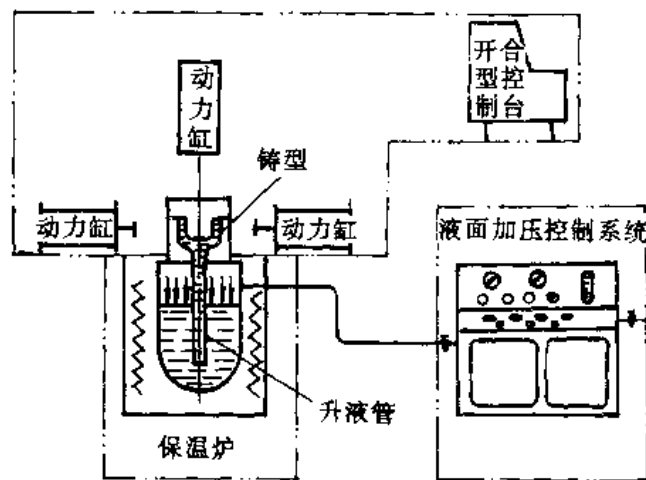


图 11-1 低压铸造机总体示意图

低压铸造的铸型可以是砂型、金属型、熔模型壳、石膏型、陶瓷型、石墨型等。铝、镁、铜合金以及黑色合金都可采用低压铸造，其中以铝合金使用更为广泛。

低压铸造机目前在我国的尚未标准化和系列化。按铸型与保温炉的连接方式，可分为顶铸式和侧铸式低压铸造机（见图 11-2）；按机架与炉体的相对运动方式，可分为机架活动式和炉体移动式两种。也有根据铸件特点设计的专用低压铸造机以及为提高生产率而使用的双工位或多工位低压铸造机。

一、工作过程原理

金属液在气体压力作用下，依压力大小，沿升液管上升至不同的高度。精确地控制气体压力，就能严格地控制进入型腔的金属液流。当压力一定时，金属液在升液管中上升的液柱高度也一定。根据巴斯葛原理，作用在金属液面上的气体压强应与升液管中金属液柱对液面产生的压强相等。即

$$P = 10HY \quad (11-1)$$

式中： P ——作用在金属液面上的气体压力(Pa)；

H ——金属液在升液管中上升高度(m)；

γ —— 金属液的密度 (kg/m^3)。

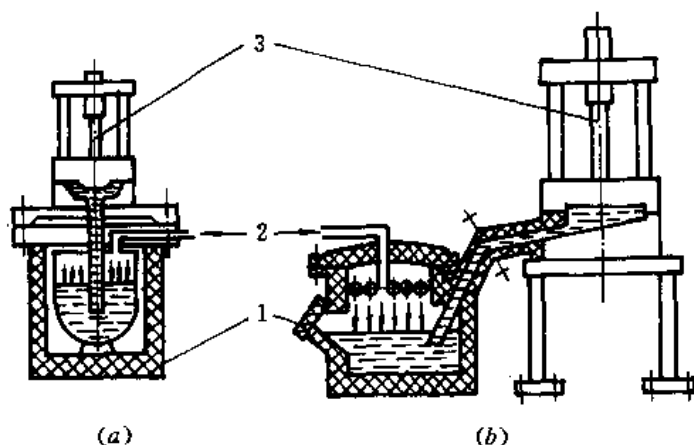


图 11-2 低压铸造机的类型

(a) 顶铸式; (b) 侧铸式

1—熔炉; 2—供气系统 3—开合型机构

由式(11-1)可知,控制气体压力 P ,好可控制液柱高度 H ;反之,根据所需液柱高度,即可确定加在金属液面上气体压力的大小。实际生产中,由于型腔排气不良或因金属液温度降低引起粘度的增加,金属液上升时会受到不同程度的阻力。因此,考虑到阻力对升液过程的影响,式(11-1)可改写为:

$$P = 10\mu H\gamma \quad (11-2)$$

式中: μ —— 充型阻力系数,一般取 $1 \sim 1.5$ (厚壁铸件取下限,薄壁铸件取上限)。

此外,低压铸造工艺还特别强调升压速度 $\frac{dP}{dt}$ 应保持常数,即

$$V = \frac{dH}{dt} = \frac{1}{10r} \frac{dP}{dt} \quad (11-3)$$

式中: V —— 金属液在升液管中上升速度 (m/s);

H —— 金属液在升液管中上升高度 (m);

t —— 金属液在升液管中上升时间 (s);

γ, P —— 与式(11-1)中的相同。

式(11-3)表明了压力与时间的线性关系。实际生产中,这一线性关系是通过采用各种较复杂的铸型以及随动式和继动式等液面加压控制系统来获得的。

在确定工艺参数时,必须考虑到如图 11-3 所示低压铸造浇注过程中各阶段的压力变化以及其他铸造工艺因素对铸造过程和铸件质量的影响。

(一) 升液压力和升液速度

升液压力 P_1 是指当金属液面上升至浇口(高度为 H_1) 时所需的气体压力,基值由式(11-2)确定,即 $P_1 = 10\mu H_1\gamma$ 。浇注过程中 H_1 将随着坩埚内金属液面的下降而增加,因此,对应的 P_1 也应随之增大。

升液速度反映了施加在金属液面上气体压力上升的快慢,决定着金属液在升液管中上升的速度。合适的升液速度应使金属液上升时顺利排出气体,又不在浇口处产生喷溅。升液速度

一般以控制在 150 mm/s 左右为宜,相应的加压速度为 1.4 kPa/s。

(二) 充型压力和充型速度

充型压力 P_2 是指在充型过程中,金属液上升到铸型型腔顶部(高度为 H_2) 时所需的气体压力,基值由式(11-2) 确定,即 $P_2 = 10\mu H_2\gamma$ 。充型压力与升液压力一样,也随坩埚内金属液面的下降而增加。

充型速度反映了充型过程中金属液的上升情况,对铸件质量有着直接影响。充型速度太快,型腔中的气体来不及排出,就会使铸件产生气孔、欠铸或轮廓不清晰等缺陷;充型速度太慢,金属液温度下降,粘度增大,也会使铸件产生冷隔和欠铸等缺陷。实际生产中采用的充型速度一般是通过试验来确定的。

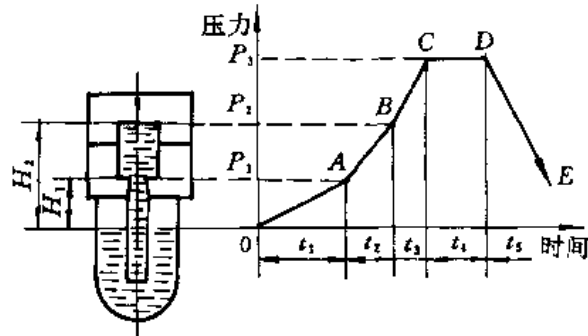


图 11-3 浇注过程中各阶段压力变化

充型速度反映了充型过程中金属液的上升情况,对铸件质量有着直接影响。充型速度太快,型腔中的气体来不及排出,就会使铸件产生气孔、欠铸或轮廓不清晰等缺陷;充型速度太慢,金属液温度下降,粘度增大,也会使铸件产生冷隔和欠铸等缺陷。实际生产中采用的充型速度一般是通过试验来确定的。

(三) 增压压力和增压速度

金属液充满型腔后,应迅速使坩埚内气体压力增加到铸件凝固时的保压压力(即凝固压力 P_3)。在凝固压力作用下,金属液向正在凝固的金属及时进行补缩,从而防止产生缩孔和缩松。实践证明,补缩压力愈高,铸件组织愈致密。然后,不加限制地提高凝固压力对于不同材料的铸型和不同结构的铸件,并不能收到预期的效果,甚至相反。例如,用砂芯砂型浇注厚大铝铸件时,若采用过高的凝固压力,将会产生胀箱和铸件粘砂,影响铸件尺寸精度和表面粗糙度;当用金属型浇注薄壁复杂铝铸件时,因铸型的热容量大、导热迅速,金属液进入型腔后很快就凝固,这时即使再增大凝固压力,也不能起到压力下凝固和加强补缩的作用,当然也就失去了增压的意义。因此,凝固压力的大小应根据铸件结构特点、铸型种类并通过生产实践来确定。砂型浇注时,凝固压力控制在 30~50 kPa,金属型浇注时取 50~70 kPa,对于特殊铸件,凝固压力可达 150~250 kPa,但最大不超过 300 kPa。

增压速度反映了当型腔被金属液充满以后,气体压力由充型压力增加到凝固压力的快慢程度。增压速度应根据铸型种类和铸件结构选定,对于金属型低压铸造时,增压速度一般取 10kPa 左右,而采用干砂型浇注厚壁铸件时,可取 5kPa 左右。若是湿型浇注,则应取较低值。

(四) 保压时间

保压时间是指当金属液面上的压力,升至凝固压力后,保持至铸件完全凝固所需的时间。保压时间的精确控制是保证获得优质铸件的重要工艺因素。如果保压时间过长,浇口残留部分增多,不仅降低金属利用率,而且造成铸件取出困难,甚至还要增加清理铸型及升液管的工作量;若保压时间过短,铸件中尚未凝固的金属液会在重力作用下流回坩埚,使铸件“放空”而报废。保压时间的确定,要考虑铸型种类、铸型温度、铸件结构和浇注温度等因素,通常以铸件内浇口处无缩孔或浇口残长 40 mm 左右所需的保压时间为宜。

二、铸造工艺设计

低压铸造工艺设计的内容、程序和方法与砂型铸造及金属型铸造相似。在进行工艺设计时,应针对低压铸造方法具有的金属液自下向上充填型腔、充填速度可以控制、铸件在压力下实现自上而下的顺序凝固以及由浇口代替冒口进行补缩等特点,着重考虑以下几个问题。

(一) 铸件在铸型中的位置

(1) 对于壁厚不均匀的铸件, 尽量将铸件厚大部位置于铸型底部, 当厚壁部位较多时, 应采用多道浇口, 以缩短补缩距离, 改善厚大部位对薄断面的冒口作用, 使金属液通过浇口进行有效的补缩。

(2) 对于有较大平面的铸件, 尽量避免平面呈水平安放, 以防注入的金属液分成多股流路充填, 合流时卷入气体。若不能避免水平安放, 则应分区安置通气塞, 使卷入的气体排出。

(3) 如果铸件铸造位置不能满足“顺序凝固”要求时, 可采取以下措施:

① 对于高度较大、壁厚均匀的铸件, 可在铸件高度方向上放大加工余量, 以便造成自下而上的厚薄差别 (见图 11-4);

② 对壁厚均匀而内外壁不加工的高大铸件, 可安置不同厚度的冷铁和改变金属型的壁厚 (见图 11-5), 以改善铸件的冷却条件;

③ 对于有局部厚大断面的铸件, 可以采用一些特殊方法, 例如, 在铸件厚壁处进行局部冷却以实现顺序凝固 (见图 11-6)。

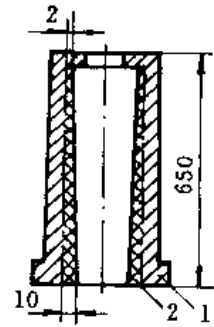


图 11-4 用加工余量调节顺序凝固
1—铸件 2—加工余量

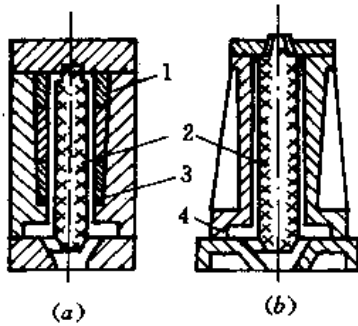


图 11-5 创造顺序凝固的措施
(a) 安置冷铁 (b) 改变金属型壁厚
1—厚冷铁 2—铸件型腔
3—薄冷铁 4—金属型

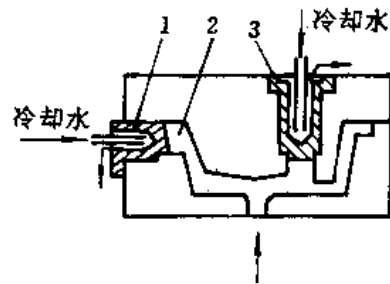


图 11-6 局部激冷创造顺序凝固条件
1、3—局部水冷装置
2—型腔

(二) 浇注系统设计

对于结构简单的铸件, 可以只设置直通式浇口 (即中心锥形浇口); 对于复杂铸件, 一般还要设置其他浇注系统单元以及集渣槽、冒口等。通常内浇口的位置选在铸型底部或铸件最厚断面处, 其断面积的大小可等于或稍大于金属液引入处铸件热节的断面积, 而小于升液管顶端断面积。浇注系统中各组成单元断面积比, 一般采用收缩式。

根据铸件的尺寸、形状和重量不同, 常用浇注系统形式如图 11-7 所示。

浇注系统最小截面积计算, 有人提出仍采用砂型铸造的计算方法。但实际上在低压铸造时, 浇注系统的作用不仅是解决铸型充填, 还要解决补缩。所以, 实际生产中, 直浇道的底部可能取成升液管直径。我国升液管直径一般取 $\phi 55 \sim 90 \text{ mm}$, 似偏大了些, 所以浇口附近铸

件常出现缩松等缺陷。日本升液管直径多取 $\phi 40 \sim 45 \text{ mm}$ ，直径明显小于我国所用升液管直径，但此时升液管出口处应设置加热装置，以防止金属液在出口处“冷冻”。

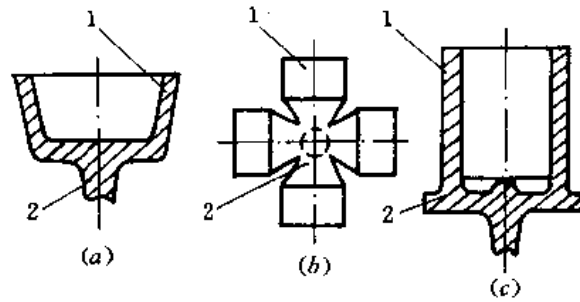


图 11-7 低压铸造常用浇注系统形式
(a) 直通式浇口 (b) 侧浇口 (c) 多道浇口
1—铸件 2—浇注系统

§ 11-2 石膏型熔模铸造

石膏型熔模铸造即采用熔模铸造方法所用的熔模制造模型，用石膏造型（灌浆法）代替用耐火材料制壳的一种铸造工艺方法。

应用石膏型熔模铸造方法可以铸造出薄壁、复杂、优质的整体精密铸件。由于石膏在 1300°C 左右发生热分解，其耐火度不高，因而这一方法通常用以制造铝合金铸件。其主要工艺过程如图 11-8 所示。

一、石膏及其特性

在石膏型熔模铸造中，石膏型的原材料是天然二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，这种石膏称为生石膏。二水石膏经破碎、煅烧和磨细等加工工序后，成为半水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)，亦称熟石膏。二水石膏经加热脱水形成半水石膏，脱水的主要条件是温度和压力。如果在高于 10^5 Pa 压力和 $125 \sim 150^\circ\text{C}$ 的容器内使石膏脱水，亦即在蒸汽或液体下脱水，所得半水石膏为结晶半水石膏 (α 型半水石膏)，反之，若在压力低于 10^5 Pa 和温度在 $120 \sim 180^\circ\text{C}$ 的容器内脱水，即在常压下脱水，二水石膏中的水，以干蒸汽状态蒸发，从而生成一种微晶型，结构较松散多孔的固体，即 β 型半水石膏。造型用的石膏是 α 型熟石膏，因为它的收缩率小，而且所需的混水量少。

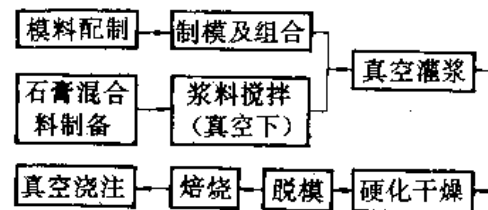
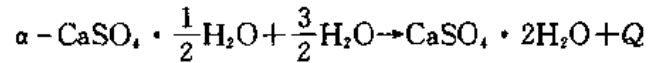


图 11-8 石膏型熔模铸造工艺过程

熟石膏呈白色，密度为 $2500 \sim 2750 \text{ kg/m}^3$ ，松散容重为 $800 \sim 1100 \text{ kg/m}^3$ ，紧密容重为 $1250 \sim 1650 \text{ kg/m}^3$ 。它是一种气硬性无机胶凝材料，与适量水分拌和后只能在空气中硬化，并在空气中继续增加和保持其强度。它在水中具有一定的溶解度。

α 熟石膏混水后，发生水化反应，成为可塑的浆料，随即失去塑性而凝结，并迅速硬化成为坚硬固体和产生强度。其化学反应为：

α 熟石膏混水后，发生水化反应，成为可塑的浆料，随即失去塑性而凝结，并迅速硬化成为坚硬固体和产生强度。其化学反应为：



造型用石膏的凝结硬化过程，可分三个阶段：

第一阶段为溶解阶段。半水石膏对水有较大的溶解度（常温下 10 g/min）和很大的亲和力。当半水石膏与适量的水拌和后，一部分很快溶于水中生成饱和溶液；一部分与水反应生成二水石膏。二水石膏的溶解度仅为半水石膏的 1/5，因此，所生成的二水石膏晶体自饱和溶液中析出。

第二阶段为凝结阶段。当溶解达到饱和后，尚未溶解的半水石膏，仍继续与水相作用，生成二水石膏微晶粒，并向饱和溶液中扩散，形成高分散度的不稳定的凝胶体，使石膏浆料具有可塑性。因此，石膏浆体中的水分逐渐减少，浆料变稠，微晶粒互相靠近而凝聚。石膏浆体逐渐失去可塑性并进入凝结阶段。

第三阶段为硬化阶段。不稳定的二水石膏微晶粒凝聚后，转变成稳定的二水石膏晶体。这些晶体与自饱和溶液中析出的晶体互相交错形成网状结构，从而产生强度并不断增长，直至完全干燥，强度停止增大。至此，石膏浆料已完全硬化。

因此，石膏在硬化过程中，仅有极小部分半水石膏经过溶解后生成二水石膏晶体，其大部

莫来石、高岭土、高铝矾土、工业氧化铝等。在石膏中加入填料能明显减小石膏型在高温焙烧时的收缩，增强抗裂纹能力，改善热传导性，同时在石膏中加入 50% 的廉价填料亦可降低石膏型的成本。但是只加入填料还不能满足石膏型（芯）的性能要求。如这种石膏型混合料经焙烧后的残留强度较低，凝结时间不合适，清理时石膏型（芯）的溃散性较差，线膨胀率变化尚不够理想，大、中型石膏型的裂纹倾向仍难消除。解决上述问题的主要措施是在石膏混合料中再加入一些无机物、有机物，对石膏型混合料进行改性。我们把除填料以外的各种添加物均称为添加剂。

添加剂的种类很多，有酸、碱、盐（有机盐、无机盐）、氧化物、复杂化合物等各种物质。其中应用最多的是可溶性无机盐，如硫酸盐、卤素盐等。

添加剂对石膏型混合料有多种作用，如增加强度，调节胶凝时间，改善溃散性，减小线量变化等。有些添加剂对石膏型混合料的改性作用是多方面的，而且随着加入量的不同，有时会起相反的作用。如硫酸镁既能促进石膏型浆体的凝结，又可增加石膏型的强度及溃散性。NaCl 加入量较少时起促凝作用，过量时则起缓凝作用。

配制石膏浆料时，加水量一般为石膏混合料重的 30~40%，水温以 40~50℃ 为最适宜，因为半水石膏在此温度范围容易溶解。将石膏混合料加入水中进行搅拌，为了消除搅拌时在浆料中产生气泡，可采用戊醇作消泡剂，其加入量为石膏粉重量的 0.05% 左右。

在石膏浆料中气体的来源之一是混合粉料颗粒间隙中的气体进入水中后以气泡形式滞留在浆体中；二是搅拌过程中卷入的气体。如果在真空下搅拌浆料和灌浆造型，能促使浆料中的气体排出，保证石膏型的质量。

图 11-9 为真空搅拌及灌浆装置示意图。

在搅拌浆料时，先加入适量水，再边加粉料边搅拌（亦可先将粉料与水混和再倒入搅拌室中），待粉料加完后，立即合上搅拌室顶盖抽真空，并继续搅拌，约在 30 s 内真空度应达到规定值。搅拌工艺参数见表 11-1。

表 11-1 搅拌浆料工艺参数

真空度 (MPa)	搅拌时间 (min)	搅拌转速 (r/min)
0.05~0.06	2~3	250~350

生产中常用的石膏混合料浆料的配比见表 11-2。

(二) 真空灌浆

真空灌浆是将制备好的石膏混料浆料及时灌入装有模组的箱框中，为提高浆料的充填能

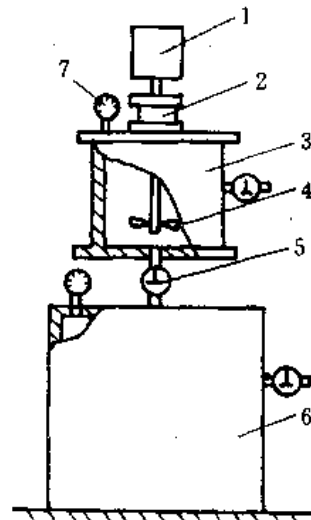


图 11-9 真空搅拌、灌浆装置简图

- 1—电动机 2—动密封装置
- 3—搅拌室 4—搅拌浆叶
- 5—二通阀 6—灌浆室
- 7—真空表

力,应在真空条件下灌注,真空度的大小视熔模的复杂程度、浆料的流动性而定。灌注时,搅拌室的真空度应和灌注室相等,亦可略低于灌注室(如搅拌室为 0.05 MPa,灌注室为 0.06 MPa),形成压力差以利浆料充填。但压差不宜过大,否则会引起浆料喷射,影响灌注效果。特别要注意的是灌注室的真空度不能低于搅拌室。否则浆料不仅不流向灌注室,还会在搅拌室内飞溅,甚至被挤到真空管道中去。

表 11-2 几种石膏混合料浆料的配比 (%)

序号	半水石膏		石英粉 (200~300目)	石英砂 (70~140目)	高岭土 (200~300目)	石英玻璃 (200~300目)	添加剂 (外加)	水 (外加)
	α型	β型						
1	30		70				1	50左右
2	30		50	20			1	40左右
3	30		35			35		45左右
4		40				60		55左右
5	35				65			40左右
6	30				70			38左右

灌注前,将有模组的箱框放入灌注室,然后抽真空,当达到规定的真空度(0.05~0.06 MPa)后,即可开启与搅拌室连接的二通阀,令浆料平稳地注入箱中。灌注时间取决于熔模的大小及复杂程度,一般不超过 1~1.5 min。

灌注时,浆料不能直接冲击熔模,应沿着箱边引入,令浆料从箱框底部逐渐上升,有利于滞留气体的上排。

灌注结束后应立即破除真空,取出箱框,迅速冲洗搅拌室,因清洗不净,残留的次生二水石膏,在下批浆料搅拌时有较强的成核能力,加速浆料的凝结,严重影响浆料的胶凝时间。

灌好浆的硬化体必须静置一段时间(1~1.5 h),使其有一定强度,在此时间内切忌震动和其他外加的载荷。否则会损害石膏型的强度、精度,甚至使石膏型破裂。

(三) 石膏型脱模和烘干

灌注后的石膏型,自干 24 h 以上,使水分大量散逸,石膏型具有足够强度即可脱模。

(1) 石膏型脱模:通常对不用聚苯乙烯填料模或水溶性石膏芯的石膏型,因其抗水性较好,可用蒸汽脱模,但蒸汽温度不宜高于 110℃,超过此温度,二水石膏开始脱水,易出现裂纹。考虑到石膏型壁较厚,热导率小的特点,脱模时应采用低蒸汽压、缓慢加热。石膏型不能浸在热水中脱模,因为水对石膏有一定溶解作用,会损害型的表面质量。

对有聚苯乙烯填料模的石膏型,脱模时气温不能高于 100℃,对有水溶性石膏芯的石膏型一般不能用蒸汽脱模,应用红外加热等方法来脱除。

(2) 烘干:石膏型在脱模后高温焙烧之前,必须进行长时间(10 h 以上)低温烘干,以去除型中的大量水分。石膏型最适宜在 80~90℃流动的空气中烘干,使内部所含的大量水分较快地排除。

石膏型烘干用设备可用一般电阻丝加热的干燥箱和远红外线加热的干燥器,在批量生产时亦可在温度恒定、有鼓风装置的烘干房中进行。

(四) 石膏型的焙烧

石膏型经烘干排除吸附水后即可进行焙烧，焙烧的主要目的是去除残留于石膏型中的模料、结晶水以及其他发气物质；完成石膏型中的一些组成物的相变过程，使石膏型体积稳定。

在制订焙烧工艺时必须注意石膏型下列一些特点：

(1) 石膏型在焙烧过程中随着温度升高要发生一系列相变，伴生体积的急剧变化。在温度高于 300℃ 时，收缩剧增。

(2) 石膏型的热导率小，里外温度差别较大，本身又属脆性材料，容易出现裂纹。

因此，加热时升温速度要慢，一般采用阶梯升温，尽可能使表里温度接近。降温时采用随炉冷却，在温度低于 300℃ 时才能出炉浇注。否则，升温过快或降温时出炉温度过高均会引起石膏型开裂、表层剥落等缺陷，严重影响铸件质量。

常用的焙烧工艺见图 11-10。

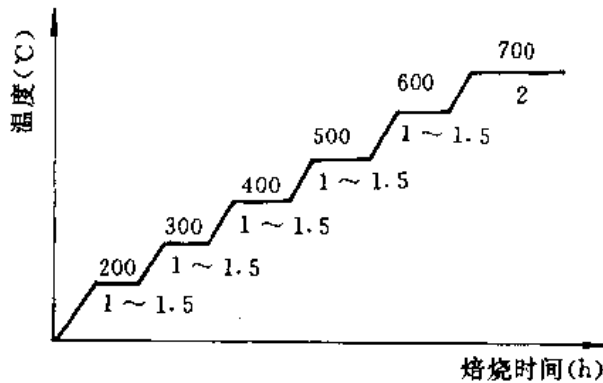


图 11-10 石膏型焙烧工艺参数

三、合金液充填及凝固

对复杂薄壁铸件来说，合金液在充填石膏型时必须克服型腔中气体的阻力和狭窄腔内的毛细管附加阻力。只有合金充填力大于这两种阻力的总和时，铸件才能成型。

常用的充填方法有两类：一类是重力浇注，利用合金液本身的重力进行充填；另一类是反重力浇注，用合金液与型腔间的压力差来进行浇注充填。铸件在凝固所受的压力不同，可分为常压凝固和增压凝固。

铝合金石膏型熔模铸造常用的充填及凝固方法有以下几种：

(1) 重力浇注，常压凝固。

(2) 真空下重力浇注、常压凝固。

(3) 真空下重力浇注、增压凝固。

(4) 调压铸造：西北工业大学发明的调压铸造法既能提高合金的充填能力，又对铸型没有高的透气性和强度要求，适宜于石膏型的充填和凝固。

调压铸造是利用差压铸造原理，通过改变铸件成型过程中的环境压力来适应复杂薄壁铸件的成型工艺特性(图 11-11)。它可按照铸件的形状特点、工艺要求等合理调整型腔内压力，使合金液在压差作用下有控制地进入型腔，并在石膏型受力状态不变的条件下及时提高铸件凝固时的环境压力。

在合金充填前，令石膏型腔内处于低真空状态(真空度为 $133.3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 左右)，以减小

型腔内的气体。然后利用经过干燥和过滤的气体，将铝液平稳地通过升液管压入腔型内。并可通过调节流量分配机构，使上、下密封室的压力变化满足规定的条件。

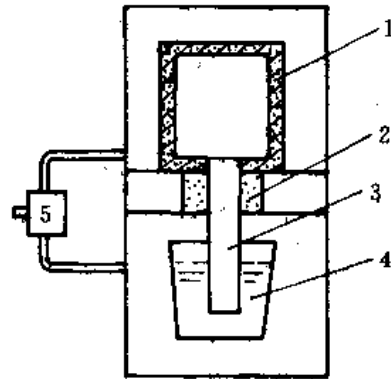


图 11-11 调压铸造设备示意图
1—石膏型 2—保温浇口 3—升液管
4—铝合金液 5—流量分配机构

复习思考题

1. 简述低压铸造的工艺流程及浇注过程中各阶段的压力变化。
2. 低压铸造时铸件在铸型中的位置应如何放置？
3. 低压铸造的浇注系统设计应如何进行？
4. 试简述造型用石膏的凝结硬化过程。
5. 试简述石膏型熔模铸造的工艺流程。

第三篇 铸造工艺设计

第十二章 铸件结构设计

§ 12-1 概 述

生产中铸件的结构是否合理,不仅会直接影响到铸件的力学性能、尺寸精度、重量要求和其他使用性能,同时,对铸造生产过程也有很大的影响。所谓铸造工艺性良好的铸件结构,应该是铸件的使用性能容易保证,生产工艺过程及其所使用的工艺装备简单和生产成本低。

航空产品零件设计定型后,其结构一般是不能更改的,在铸造工艺上必须采取各种措施,实现设计部门对零件提出的各项技术要求。只有当铸件质量得不到保证,或在不影响使用性能的条件下又可简化生产工艺,并已征得设计部门同意,才能更改铸件结构。

为此,产品设计员应该熟悉各种铸造合金及铸造工艺的特点,以求达到最佳铸件结构设计。

§ 12-2 铸件结构设计原则

(1) 设计铸件壁厚时应考虑到合金的流动性。

流动性越好的合金,充型能力越强,铸造时就不容易产生浇不足、冷隔等缺陷。因此,能铸造出的铸件最小壁厚尺寸也就越小。

(2) 铸型型腔的形状与尺寸大小,是根据铸件的形状与尺寸决定的。不同的型腔形状与尺寸大小对液态金属的流动阻力、散热情况是不同的,从而会导致液态金属在型腔内的流动与充填情况不同。因此,铸件结构上应尽量避免突变性的转弯、壁厚急剧的变化、细长结构、大的水平面、高度较大的凸台等。

(3) 一个铸件在生产过程中是否出现缩孔、缩松、变形、热裂与冷裂等收缩类铸造缺陷,出现在哪个部位,严重程度如何,都与铸件结构密切相关。由此可以得出以下指导铸件结构设计的原则:

① 对凝固收缩大,容易产生集中缩孔的合金,如铸钢、球墨铸铁、可锻铸铁、黄铜、无锡青铜、铝硅共晶合金等,倾向于采用顺序凝固方式铸造。这时在进行铸件结构设计时,应使铸件结构形式有利于顺序凝固(如使铸件壁厚按一定方向渐增),见图 12-1(a)。

② 对容易产生缩松的合金,如锡青铜、磷青铜等采用冒口补缩效果不大,常采用同时凝固

方式来使缩松更分散些;对收缩较小的合金,如铸铁更倾向于采用同时凝固方式铸造。这时,铸件的结构应是壁厚均匀,尽量减少金属的积聚与消除热节(见图 12-1(b))。对于一些结构形状复杂的大铸件,也可将其各部分分别按顺序凝固或同时凝固方式设计。

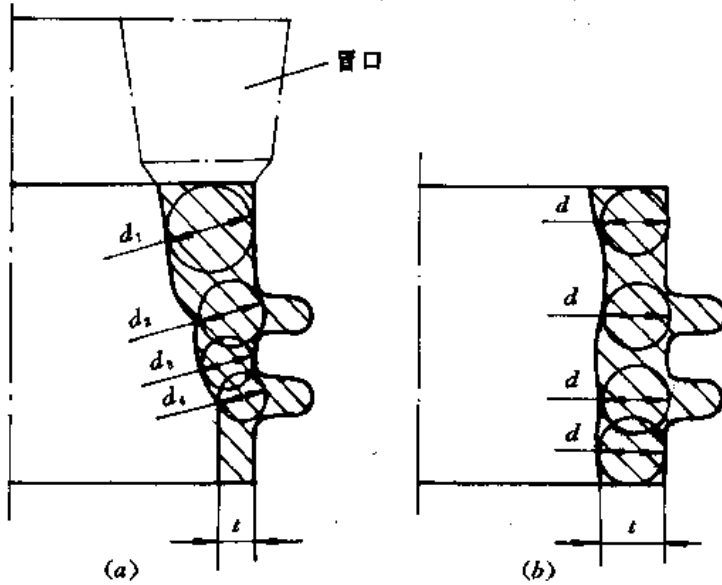


图 12-1 顺序凝固与同时凝固的铸件结构

③ 尽量使铸件结构有利于自由收缩,如尽量减小铸件的轮廓尺寸,减小突出部分,必要时可将一个铸件分成几个小铸件,然后用焊接或螺栓连接起来。

④ 尽量避免产生应力集中的形状,如不应有尖角,不同壁厚之间连接要平缓等。

(4) 应考虑到各种铸造方法的工艺过程、凝固特点、铸型和型芯的特点,尤其是使用金属铸型和型芯的铸造方法,如金属型铸造、压力铸造时,应便于铸件的抽芯和出型。这时,铸件的结构应尽量避免有内大外小的孔洞和阻碍开型的侧凹。如图 12-2、图 12-3 所示。



图 12-2 孔洞设计
(a) 不合理 (b) 合理

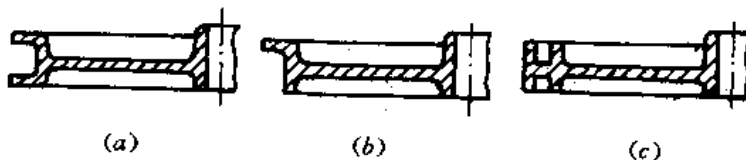


图 12-3 消除侧凹设计
(a) 不合理 (b) 合理 (c) 合理

§ 12-3 铸件结构要素

铸件结构要素与铸造合金的种类、铸件的大小、铸造方法和生产条件等密切相关。下面从保证铸件质量,简化铸造工艺和铸造合金特点等几方面阐述对铸件结构的要求。

一、铸件壁厚

在确定铸件壁厚时,一般应综合考虑以下三个方面:保证铸件达到所需要的强度和刚度;尽可能节约金属;铸造时没有多大困难。

(一) 砂型铸件壁厚

(1) 铸件最小壁厚:在各种铸造条件下,铸造合金能充满型腔的最小厚度称之为铸件的最小壁厚。最小壁厚的数值除与铸造合金的种类有关外,还与铸造方法、铸件形状和尺寸大小等因素有关。

各种铸造合金的砂型铸件的最小壁厚,见表 12-1

表 12-1 砂型铸件的最小壁厚

合金种类	最小壁厚 (mm)		
	小件	中件	大件
铸 钢	4~5	10~12	15~20
灰 铸 铁	3~5	8~10	12~15
孕育铸铁	2.5~4	6~8	10~12
青 铜	2~3	5~7	10~12
铝 合 金	2~3	4~6	8~10
镁 合 金 铝合金(ZL-201、ZL-301)	3~4	4~6	8~10

(2) 铸件的临界壁厚:在铸造厚壁铸件时,容易产生缩孔、缩松、结晶组织粗大、松软等缺陷,从而使铸件的力学性能下降。因此,设计铸件时,如果一味地采取增加壁厚的方法来提高铸件的强度,其结果可能势得其反。因为各种铸造合金都存在着一个临界壁厚。在最小壁厚和临界壁厚之间就是适宜的壁厚。

根据资料推荐,在砂型铸造条件下,各种铸造合金的临界壁厚可按其最小壁厚的三倍来确定。

(3) 铸件的内壁厚:由于铸件的内、外壁冷却条件不同,将铸件的内壁厚度设计得比外壁厚一些是比较合理的。各种铸造合金的砂型铸件内、外壁厚相差值可参考表 12-2 确定。

表 12-2 砂型铸件的内、外壁厚相差值

铸件种类	铸铁件	铸钢件	铸铝件	铸镁件	铸铜件
铸件内壁比外壁厚应减少的相对值(%)	10~20	20~30	10~20	10~20	15~20

(二) 熔模铸件壁厚

熔模铸件壁厚的确定原则和砂型铸件是一样的,但由于熔模铸件的尺寸小,所用型壳表面光洁、干燥,对金属液流动的阻力小,并且一般都采用热型浇注,即浇注时型壳具有一定的温度(200~800℃),因此,熔模铸件的壁厚允许设计得较薄。

各种铸造合金熔模铸件的最小壁厚,见表12-3。

表 12-3 熔模铸件的最小壁厚

铸件尺寸 (mm)	最 小 壁 厚 (mm)			
	碳 钢	高温合金	铝 合 金	铜 合 金
10~50	1.5~2.0	0.6~1.0	1.5~2.0	1.5~2.0
50~100	2.0~2.5	0.8~1.5	2.0~2.5	2.0~2.5
100~200	2.5~3.0	1.0~2.0	2.5~3.0	2.5~3.0
200~350	3.0~3.5	—	3.0~3.5	3.0~3.5
>350	4.0~5.0	—	3.5~4.0	3.5~4.0

(三) 金属型铸件壁厚

金属型铸件冷却凝固比砂型铸件快,其结晶组织比较细小,力学性能一般比砂型铸件要高10~15%。因此,金属型铸件壁厚在不小于最小壁厚的前提下,可比砂型铸件适当减薄。

各种铸造合金、不同大小的金属型铸件的最小壁厚,见表12-4。

表 12-4 金属型铸件的最小壁厚

铸件尺寸 (mm)	最 小 壁 厚 (mm)				
	铝硅合金	铝镁合金、镁合金	铜合金	灰铸铁	铸 钢
50×50	2.2	3	2.5	3	5
100×100	2.5	3	3	3	8
225×225	3	4	3.5	4	10
350×350	4	5	4	5	12

(四) 压铸件壁厚

压力铸造的特点之一是能铸造薄壁复杂零件。压铸件壁厚对铸件质量有很大的影响,由表12-5 可以看见,薄壁铸件比厚壁铸件具有更高的强度和致密性。

表 12-5 不同壁厚的铝合金压铸件的重量和强度

铸件壁厚 (mm)	密度 (kg/m ³)	铸件壁厚 (mm)	拉伸强度 (kPa)
2	2 860	2	2.7×10 ⁵
5	2 780	3	2.7×10 ⁵
7	2 740	6.5~8	1.75×10 ⁵

由图12-4中可以看出,铸件壁厚的增加,强度变化率反而下降。这是因为厚壁压铸件的内部容易产生气孔和缩孔等缺陷。所以,在设计压铸件结构时,单纯依靠采用增加壁厚的方法来提高强度的概念是错误的。在保证铸件有足够强度和刚度的条件下,应尽量减小其壁厚,并保持各截面壁厚均匀一致。如图12-5所示,图中(a)、(b)、(c)、(d)的右侧是正确的设计。

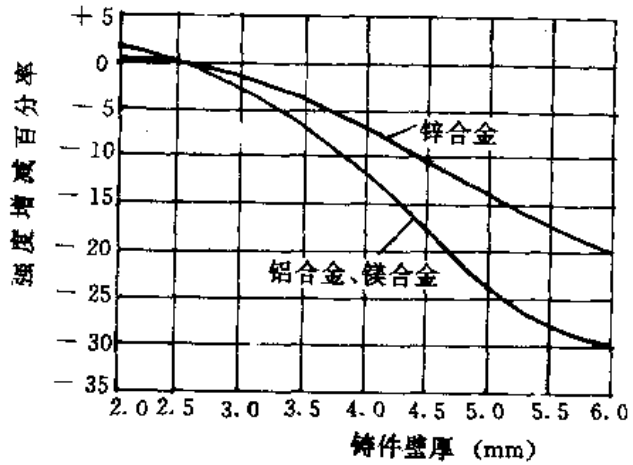


图 12-4 压铸件壁厚与拉伸强度的关系

各种铸造合金压铸件的推荐壁厚和最小壁厚,见表 12-6、表 12-7。

表 12-6 压铸件的推荐壁厚

压铸件面积 (cm ²)	推荐壁厚 (mm)		
	铝合金、镁合金	锌合金、锡铅合金	铜合金
< 25	1 ~ 4.5	0.8 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5
25 ~ 100	1.5 ~ 4.5		
100 ~ 400	2 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5	2.5 ~ 4.5
> 400	2.5 ~ 4.5		

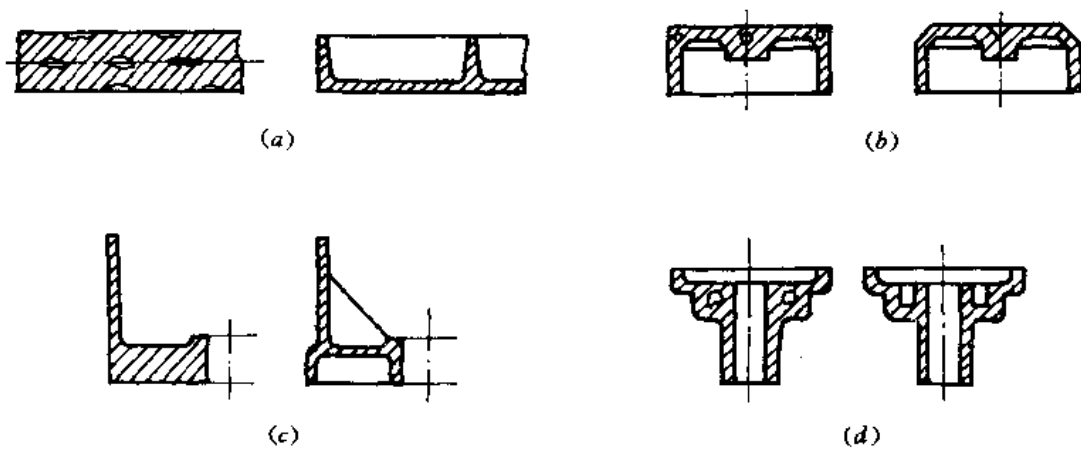


图 12-5 压铸件壁厚设计实例

表 12-7 压铸件的最小壁厚 (mm)

压铸件面积 (cm ²)	锌合金	铝合金 镁合金	铜合金	压铸件面积 (cm ²)	锌合金	铝合金 镁合金	铜合金
< 25	0.7 ~ 1.0	0.8 ~ 1.2	1.5 ~ 2.0	100 ~ 400	1.6 ~ 2.0	1.8 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0
25 ~ 100	1.0 ~ 1.6	1.2 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	> 400	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0	3.0 ~ 3.5

二、壁的连接

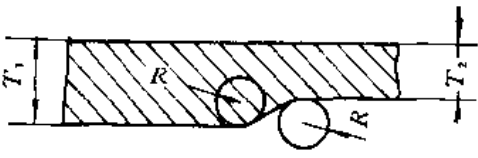
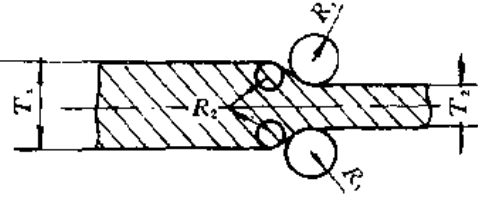
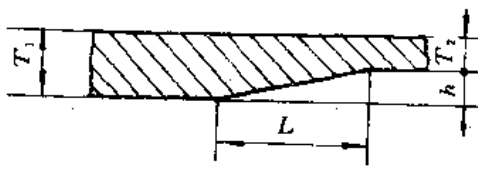
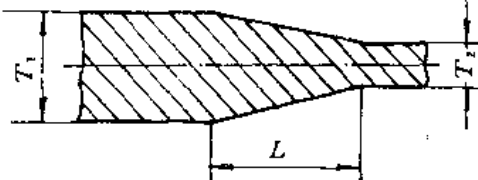
铸件壁的连接应呈圆弧状,不允许出现尖角,这是因为尖角连接会形成结晶脆弱面,降低强度,又有应力集中现象,会导致铸件在该处产生裂纹。同时,交接处又是热节点,连接壁的圆弧半径(又称铸造圆角)越大,热节圆直径越大。热节圆直径过大(即铸造圆角半径过大)又会导致铸件在该处产生缩孔或缩松。为此在进行铸件结构设计时,应选择合适的壁的铸造圆角半径。

(一) 壁的过渡

当壁厚比 $T_1/T_2 \leq 2$ 时,两壁间采用圆角 R 过渡即可。圆角 R 的大小见表 12-8。

当壁厚比 $T_1/T_2 > 2$ 时,两壁间应采取渐变过渡。过渡部分的尺寸关系见表 12-8。

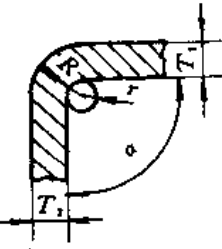
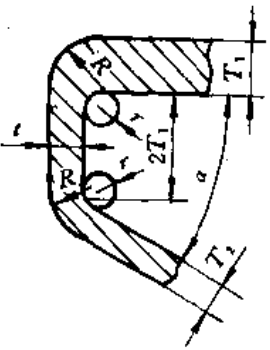
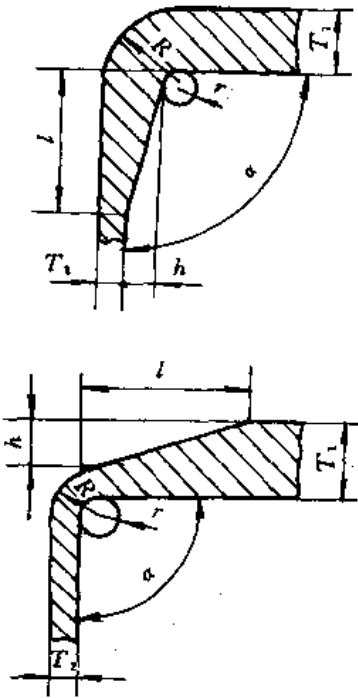
表 12-8 壁的过渡形式和尺寸关系

壁厚比	过渡形式	尺寸关系 (mm)
$\frac{T_1}{T_2} \leq 2$		$R = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$
		$R_1 = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$ $R_2 = \frac{T_1}{4}$
$\frac{T_1}{T_2} > 2$		$h = T_1 - T_2$ $L \geq 4h$
		$L \geq 3(T_1 + T_2)$

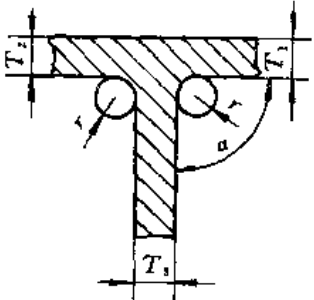
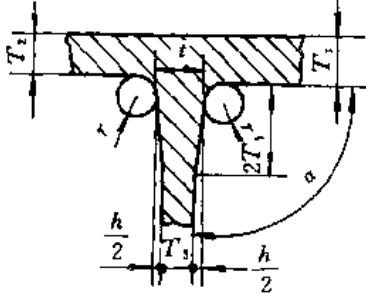
(二) 壁的连接

铸件两个铸壁连接(L、V形)、三个铸壁连接(T、Y形)的形式和尺寸关系见表 12-9。

表 12-9 铸壁的连接形式和尺寸关系

连接形式	尺寸关系
	$T_1 = T_2, \alpha = 30 \sim 120^\circ \text{ 时}$ $r = (0.3 \sim 0.5)T_1$ $R = T_1 + r$
	$T_1 = (1.1 \sim 2)T_2, \alpha = 30 \sim 105^\circ \text{ 时}$ $r = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$ $R = T_1 + r$ $l = \frac{T_1 + T_2}{2}$
	$T_1 > 2T_2, \alpha = 75 \sim 120^\circ \text{ 时}$ $r = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$ $R = T_1 + r$ $h = T_1 - T_2$ $l \geq 4h$

续 表

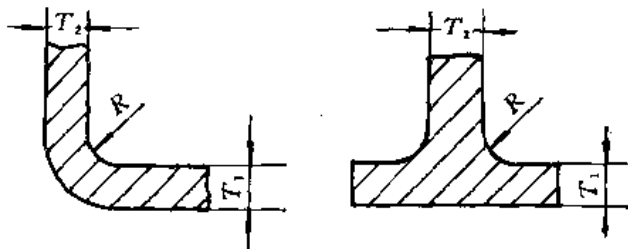
连接形式	尺寸关系
	$T_1 = T_2 = T_3, \alpha = 30^\circ \sim 105^\circ \text{ 时}$ $r = (0.3 \sim 0.5)T_1$ $R = T_1 + r$ $T_1 > T_2 > T_3, T_1 = (1.1 \sim 2)T_2,$ $\alpha = 30^\circ \sim 105^\circ \text{ 时}$ $r = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$ $R = T_2 + r$
	$T_1 > T_2 > T_3, T_1 > 2T_2,$ $\alpha = 30^\circ \sim 105^\circ \text{ 时}$ $r = (0.15 \sim 0.25)(T_1 + T_2)$ $t = \frac{T_1 + T_2}{2}$ $R = t + r$ $h = t - T_3$ $l \geq 4h$

三、铸造圆角

一般情况下,铸件上各转角处都应设计成圆角。这对于防止铸件缺陷产生,提高铸件结构强度都有很重要的作用。

铸件壁的各种连接形式的铸造圆角半径可以参考表 12-9 或按表 12-10 选取。

表 12-10 铸造圆角



铸造方法	铸造圆角计算公式	最小圆角 (mm)				
		铝合金	镁合金	铜合金	锌合金	黑色合金
砂型铸造	$R = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10})(T_1 + T_2)$	2	3	3	2	3
金属型铸造	$R = (\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6})(T_1 + T_2)$	1	2	2	—	2

续 表

铸造方法	铸造圆角计算公式	最小圆角 (mm)				
		铝合金	镁合金	铜合金	锌合金	黑色合金
壳型铸造	$R = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5})(T_1 + T_2)$	1	1.5	1.5	—	2
压力铸造	$R = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4})(T_1 + T_2)$	1	1	1.5	1	2
熔模铸造	$R = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5})(T_1 + T_2)$	1	—	1	—	1

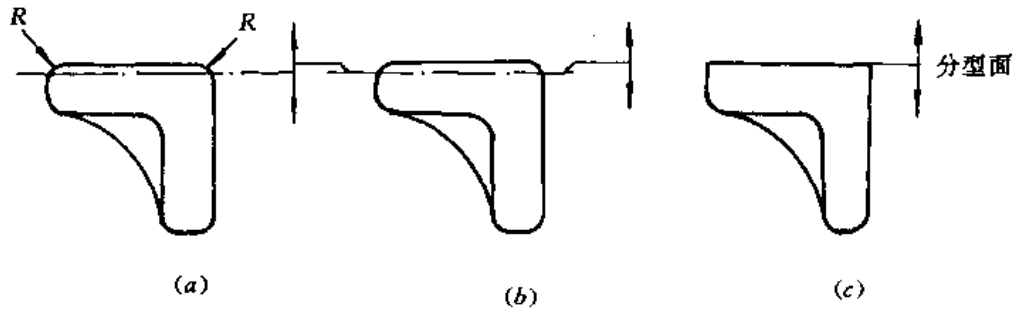


图 12-6 铸造圆角与模型和工艺的关系

(a) 用分开模型作出圆角 (b) 用阶梯分型面作出圆角 (c) 用整体模型、水平分型面无圆角

需要特别指出的是选定为分型面的部位不得采用圆角连接,而采用清角(见图 12-6)。

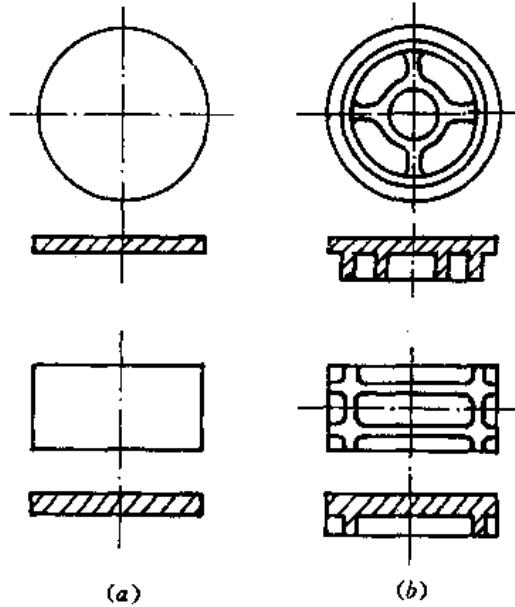


图 12-7 利用铸造筋防止铸件变形

(a) 不合理结构 (b) 合理结构

四、铸造筋

在设计铸件时,常常通过设铸造筋来增加薄壁件的强度和刚度,以防止裂纹和变形产生(图 12-7);对于厚壁件,可以用加铸造筋的办法来消除大断面(图 12-8);如果铸造筋的形状

和部位安排得适当,它还可以成为金属液充填型腔时的辅助通道,有利于薄壁铸件的成型(图 12-9)。

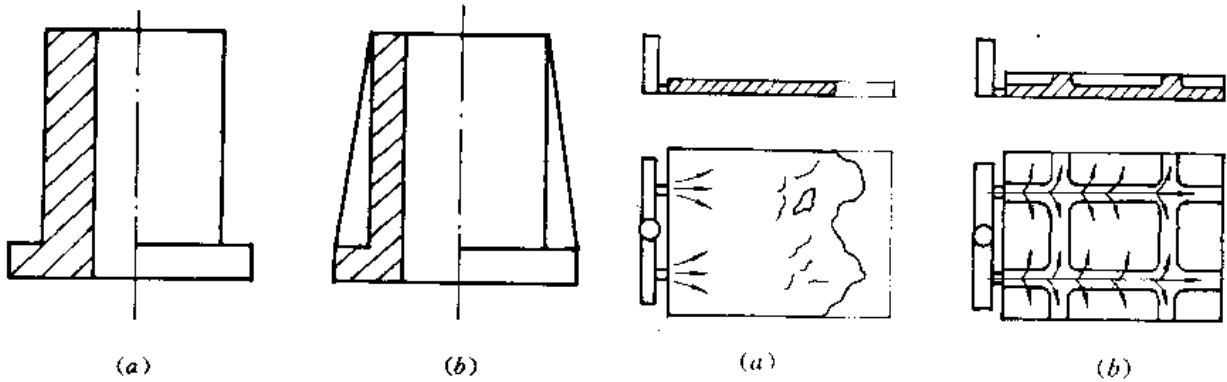


图 12-8 利用加强筋减小铸件壁厚
(a) 不合理结构 (b) 合理结构

图 12-9 利用铸造筋改善铸件充填条件

设计铸造筋时,与设计壁的连接一样,要尽量分散与减小热节点,避免多条筋互相交叉;筋与壁的连接处要有圆角;筋的数目不要太多;垂直于分型面的筋应具有铸造斜度(图 12-10)。

应特别指出的是,布置铸造筋时要注意使其不妨碍起模(砂型铸造)或开型(金属型铸造等)。如图 12-11(a)、(b)所示的两个铸件,都设有四条铸造筋,所起的作用相同。但图 12-11(a)所示结构是不合理的,四条铸造筋那样布置;砂型铸造时,妨碍起模和填砂;金属型铸造时,需采用活块。而图 12-11(b)所示结构是合理的,四条铸造筋这样布置,砂型铸造时,既不妨碍起模,又便于春填型砂;金属型铸造时,也不需采用活块。

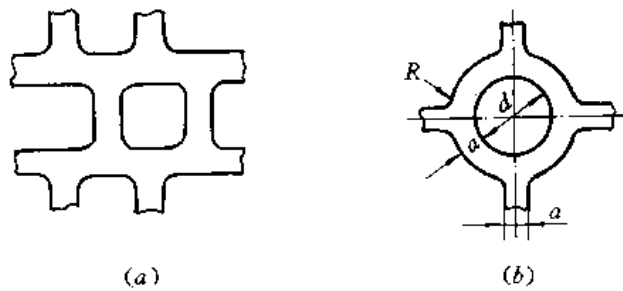


图 12-10 筋交错处的合理结构
(a) 错形结构 (b) 辐射结构

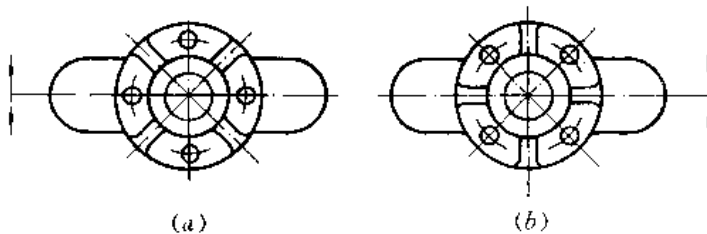
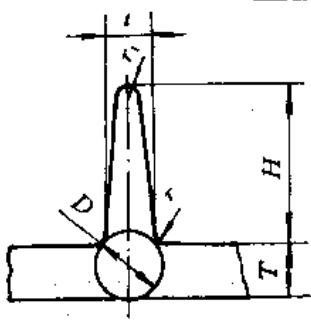


图 12-11 筋的分布与铸造工艺的关系
(a) 筋的分布不合理 (b) 筋的分布合理

铸造筋的尺寸,可按表 12-11 确定。

表 12-11 铸造筋的尺寸

简 图	尺寸关系 (mm)
	$H \leq 5T$ $l = 0.8T$ $r = 0.5T$ $r_1 = 0.25T$

五、铸孔和槽

(一) 砂型铸件的铸孔

砂型铸件的铸孔, 铸造时, 一般都得使用砂芯。砂芯由于受到高温金属液的包围, 工作条件比铸型恶劣, 在孔的周围很容易产生粘砂、缩孔、缩松、气孔等缺陷。由于砂芯受到金属液的浮力作用, 很容易变形, 甚至断裂。在砂型铸造条件下, 最小铸孔的尺寸, 见表 12-12、表 12-13。表中符号见图 12-12。

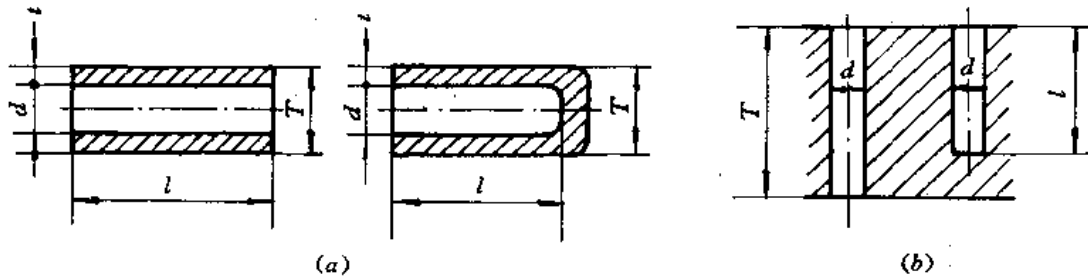


图 12-12 铸造通孔和盲孔

(a) 水平孔 (b) 垂直孔

表 12-12 铸铁件和铸钢件的最小铸孔尺寸 (mm)

铸孔在浇注时的位置	铸 铁 件	铸 钢 件	铸孔的深度
水平通孔	$d \geq t$ 或 $d \geq \frac{T}{3}$ (最小 20)	$d \geq 2t$ 或 $d \geq \frac{T}{2}$ (最小 30)	$l \leq 3d$
水平盲孔	$d \geq t$ 或 $d \geq \frac{T}{3}$ (最小 20)	$d \geq 2t$ 或 $d \geq \frac{T}{2}$ (最小 30)	$l \leq 2d$
垂直通孔	$d \geq \frac{T}{2}$ (最小 20)	$d \geq T$ (最小 30)	$l = T$
垂直盲孔	$d \geq \frac{T}{2}$ (最小 20)	$d \geq T$ (最小 30)	$l \leq 2d$

表 12-13 有色合金铸件的最小铸孔直径 (mm)

铸件壁厚(T)	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20
最小铸孔直径(d)	8	10	12	14	16	18	20	22

(二) 熔模铸件的铸孔和凹槽

熔模铸造能铸出各种形状的通孔和不通孔、深度较大宽度较小的凹槽。

熔模铸造只适于铸造油孔、气道,或难以加工的合金铸件上的孔,如磁钢、硬质合金和高温合金铸件上的孔。熔模铸件的细孔或槽,可以采用陶瓷管、石英玻璃管或陶瓷型芯铸出。

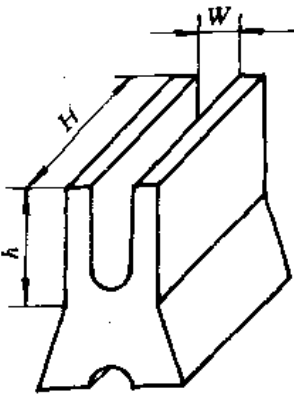
用熔模铸造法能稳定地铸出的铸孔直径和深度,见表 12-14。能铸出的凹槽尺寸见表 12-15。

有色合金熔模铸件的凹槽深度可比表 12-15 所列数值稍大一些。

表 12-14 熔模铸件铸孔的直径与深度 (mm)

铸孔直径	1~1.5	4	5	6	7~10	11~18	20	24	28	30	32	38
通孔最大深度	2~3	4	8	12	50	120	150	180	250	—	300	—
盲孔最大深度	1~1.5	—	—	—	(直径为 10 时) 12	(直径为 14~18 时) 20~26	—	34	—	44	—	56

表 12-15 黑色金属熔模铸件铸槽深度 (mm)

	槽宽 (W)	≥ 2.5	4	6	8	10	16	20	24
	最大槽深 (H, h)	≤ 5	8	20	32	46	80	120	150

(三) 压铸孔和槽

压力铸造的特点之一是能铸出相当小的孔。对一些精度要求不很高的孔,可以不必再进行机械加工就能直接使用,从而节省了金属和机械加工工时。

各种合金的压铸件,可以压铸出的孔的直径和深度尺寸,如表 12-16 所示。

一些长形方孔和槽可直接压铸出来。考虑到压铸工艺的方便,孔和槽的最小尺寸,可参考表 12-17 设计(参见图 12-13)。

表 12-16 压铸出的孔的尺寸 (mm)

合金种类	孔的最小直径		最大孔深 (为各该孔径 d 之倍数)		孔的最小斜度 (%)
	一般的	技术上可能的	盲孔	通孔	
锌合金	1.0	0.8	$4d$	$8d$	0 ~ 0.3
铝合金	2.5	2.0	$> \phi 5 = 4d$ $< \phi 5 = 3d$	$> \phi 5 = 7d$ $< \phi 5 = 5d$	0.5 ~ 1.0
镁合金	2.0	1.5	$> \phi 5 = 4d$ $< \phi 5 = 3d$	$> \phi 5 = 8d$ $< \phi 5 = 6d$	0.5 ~ 1.0
铜合金	3.0	2.5	$> \phi 5 = 3d$ $< \phi 5 = 2d$	$> \phi 5 = 6d$ $< \phi 5 = 4d$	2.0 ~ 4.0

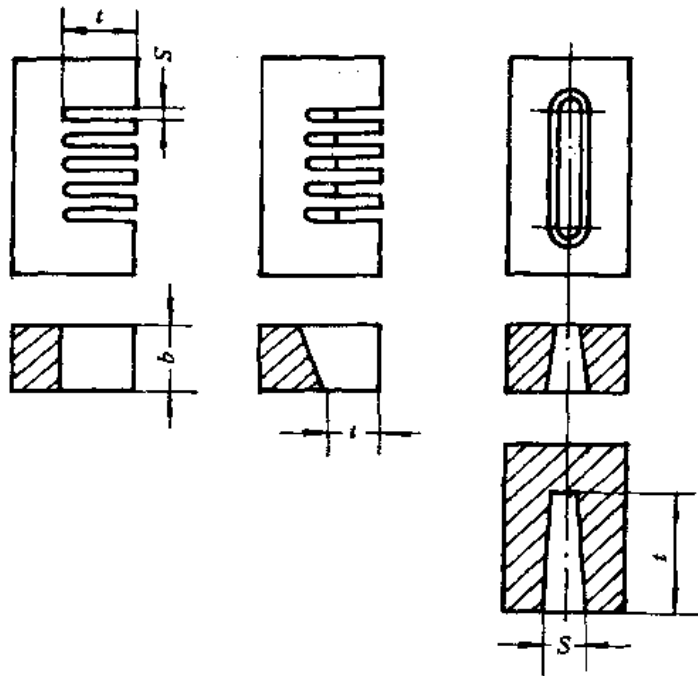


图 12-13 长形方孔和槽的尺寸

表 12-17 长形方孔和槽的尺寸 (mm)

合金种类	铅锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
最小宽度 (S)	0.8	0.8	1.2	1.0	1.5
深度 (t)	10	12	10	12	10
厚度 (b)	10	12	10	12	8
最小斜度 (%)	0.5 ~ 1	0.5 ~ 1	0.5 ~ 1	0.5 ~ 1	2 ~ 4

注: 宽度 S 在具有铸造斜度时, 表内值为小端部位值。

(四) 金属型铸件的铸孔

在金属型铸件上,能铸出的最小孔径,如表 12-18 所示。一般情况下,铝、镁合金铸件最常铸出的最小孔径是 10 mm。比这更小的孔,除非特殊需要,一般都不铸出。

表 12-18 金属型铸件的最小孔径 (mm)

合金种类	孔的最小直径	相应最大孔深	
		盲 孔	通 孔
镁合金	5	10	20
铝合金	8	15	25
铜合金	10	15	20

铸件结构设计包括的内容很多,除上述以外,还有凸台和凸边、铸齿和螺纹、文字图案及镶嵌件的应用等,这里就不一一赘叙了。需要时可参考《航空制造工程手册》(特种铸造)。

复习思考题

1. 在进行铸件结构设计时主要应考虑哪些方面?
2. 在进行铸件壁厚设计时为什么不能采用一味地增加壁厚的方法来提高铸件的强度?

第十三章 铸造工艺方案设计

铸造工艺方案设计,是整个铸造工艺及工装设计中最基本而又最重要的部分。正确的铸造工艺方案,可以提高铸件质量,简化铸造工艺,提高劳动生产率。

铸造工艺方案设计的内容主要有:铸造工艺方法的选择,铸件浇注位置及分型面的选择,铸件初加工基准面的选择,铸造工艺设计有关工艺参数的选择,型芯的设计等。

§ 13-1 铸造工艺方法的选择

目前铸造方法的种类繁多,按生产方法可分为砂型铸造和特种铸造两大类,而砂型铸造按浇注时砂型是否经过了烘干又分为湿型、干型与表面干型铸造。特种铸造也可分为金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、壳型铸造、熔模铸造、陶瓷型铸造等等。各种铸造方法都有其特点和应用范围,究竟应该采用哪一种方法,应根据零件特点、合金种类、批量大小、铸件技术要求的高低以及经济性加以综合考虑。

一、零件结构特点

零件的结构特点主要包括铸件的壁厚大小、形状及重量大小等,应根据不同铸件的结构特点选择合适的铸造工艺方法。

砂型铸造由于采用内部砂芯、活块模样、气化模及其它特殊的造型技术等有利条件,可以生产结构形状比较复杂的铸件。铸件的大小和重量几乎不受限制。铸件重量一般是几十 g 到几百 kg。湿型铸造目前已能成功地铸出 3 150 kg 重的铸件,干型已生产出 200 t 以上的铸件。砂型铸造对铸件最小壁厚有一定限制。

熔模铸造可以铸出形状极为复杂的铸件,其复杂程度是任何其它方法难以达到的。虽然一个压型所能制出的熔模形状较简单,但可用几个压型分别制出复杂零件的不同部分,然后焊合在一起,组成复杂零件的熔模。熔模铸造可铸出清晰的花纹、文字;能铸出孔的最小直径可达 0.5 mm,铸件的最小壁厚为 0.3 mm,但不宜铸造壁厚大的铸件。其比较适宜生产的铸件重量为几十 g 至几 kg,但它能生产的铸件重量为几 g 至几十 kg。

金属型铸造的铸件重量范围一般为 0.1~135 kg,个别可达 225 kg。而比较合适的铸件重量对铜合金为 0.5~10 kg,对铝合金铸件为 15 kg 以下。由于金属型的型腔是用机械加工方法制出的,所以铸件的结构形状不能很复杂,更应考虑从铸型中取出铸件的可能性。采用金属型芯时,也要考虑抽出型芯的可能性,因而铸件的结构多限于采用形状简单的型芯。

由于压力铸造中金属液是在高速高压下充填铸型,所以,可以铸出形状复杂而壁薄的铸件。许多由重力(砂型、金属型)铸造无法生产的铸件,大多数可以采用压铸。压铸工艺比较适宜生产小而壁薄、壁厚相差较小的铸件。最小的压铸件为 0.002 kg,最大的铝合金压铸件为 15~40 kg,最大壁厚为 12 mm。

离心铸造工艺最适合铸造各种旋转体形状的管、筒铸件。壁厚为 4~125 mm,长度不宜大

于内径的 15 倍。

二、合金种类

各种铸造工艺方法对铸件的合金种类有一定的限制。任何可熔化的金属都能采用砂型铸造,最常用的金属是铸铁、铸钢、黄铜、青铜、铝合金和镁合金。熔模铸造可以铸造任何合金,而对高熔点合金效果更为突出,飞机上的导向叶片等用不易加工的高熔点合金铸造,一般用熔模铸造工艺。不锈钢零件、工具等常用熔模铸造。金属型铸造工艺比较适于铸造铝合金、镁合金及铜合金铸件。至于黑色合金也可采用水冷金属型和挂砂金属型铸造。目前适用于压铸工艺的合金有锌、铝、镁、铜、铅、锡等六个合金系列,其中铝、锌合金是应用最广泛的压铸合金。黑色金属由于熔点太高,因而压铸型的使用寿命低,通常不采用压铸成型。

三、批量大小及交货期限

砂型铸造的生产批量不受限制,可用于成批、大量生产,也可用于单件生产。由于砂型铸造的生产准备周期较短,所以特别适于交货期限较短、批量不大的铸件的生产。

熔模铸造的主要生产设备比较简单,对生产批量限制不大。但熔模铸造工艺工序较多,且需制作压型,故生产周期比砂型长。

金属型铸造需设计制造金属模型,一次投资较大,且金属型寿命长,对铝镁合金铸件可使用上千万次,故适用批量生产,批量少时不能充分发挥金属型的潜力。金属型制造周期长,对交货期短的任务难以满足。

压铸工艺设备投资大,压铸型的制造周期较长,成本高,但生产效率高,故仅适于成批大量生产。

四、铸件技术要求

铸件的技术要求包括外观质量要求(尺寸精度、表面粗糙度)及内部质量(力学性能、致密度等),不同的铸造工艺方法能达到不同的水平。各种铸造方法能达到的表面粗糙度见表 13-1,能达到的尺寸精度见表 13-6。

表 13-1 各种铸造方法所达到的表面粗糙度

铸造方法	压铸	熔模	陶瓷型	低压	金属型	壳型	高压造型	普通砂型
表面粗糙度 $Ra(\mu m)$	6.3~0.80	12.5~3.2	1.6~0.80	1.6~0.80	25~3.2	25~3.2	12.5~3.2	~12.5

砂型铸造的铸件在凝固冷却到室温后组织无层状结构、性能无方向性、其强度、韧性、刚度在各方向都相等,这一点对某些要求各方向性能均衡的铸件是重要的。砂型铸造中铸件凝固收缩受到的阻力较小,铸件内应力小。可采用冷铁等不同的铸型材料来调整和控制铸件的凝固过程,铸件内部缩孔缩松较少,内部质量易于得到保证。砂型铸造铸件尺寸精度较差,表面粗糙度较大。

熔模铸造没有分型面,由压型制出的熔模的披缝也被消除,也没有砂型铸造那样的起模合箱等操作,所以铸件尺寸精度较高,可达 CT5 级,表面粗糙度较小。熔模铸造的涡轮叶片的精

度和粗糙度已达无需机械加工的要求。

金属型铸造的铸件尺寸精度和表面粗糙度优于砂型铸件。由于金属型传热迅速，所以铸件的晶粒较细。同时，凝固过程易于控制，使铸件形成顺序凝固，减少铸件产生缩孔和缩松。所有这些都使金属型铸件的强度得到提高。一般比砂型铸件高 20% 以上。

压铸的显著优点是能生产精密铸件，压铸件的尺寸精度和表面粗糙度均优于金属型铸件，尺寸精度可达 4 级，表面粗糙度可达 $Ra0.80 \mu m$ 。大多数压铸件无需机械加工即可直接使用。压铸件晶粒细小、强度较高。压铸件主要缺陷之一是气孔。压铸件有气孔存在，不但降低了压铸件的力学性能（特别是延伸率）和气密性，同时也不能对其进行焊接和热处理。因此，需经热处理强化的合金，就不能压铸。

五、经济分析

铸造工艺方法对铸件成本的影响是不言而喻的。而对哪一类铸件采用什么工艺最有效，最经济是个很复杂的问题，需对各种工艺方法进行比较、分析才能得出。图 13-1 列出用不同的工艺方法生产铝合金连杆件的生产费用。

从图 13-1 可看出，当铸件批量小时，砂型铸造费用最低。砂型铸造一般是所有铸造方法中费用最低的一种，它的成本几乎只有熔模铸造的 1/10，尤其是在单件或少量生产时。在单件大型铸件的生产，从成本考虑，砂型铸造是唯一的方法。而当铸件批量大时，压力铸造的综合费用较低。

选择铸造工艺方法时，应从以上几方面综合考虑，根据铸件的具体情况进行分析，最后选择一种合适工艺方法。

有人试图建立综合性评价铸造技术经济的方法，表 13-2 就是其研究成果。表中的数字表示评价的指标，从 5 到 1，数字越大表示越不利。这个表可以用来对比分析各种铸造方法，供选择铸造工艺方法时参考。

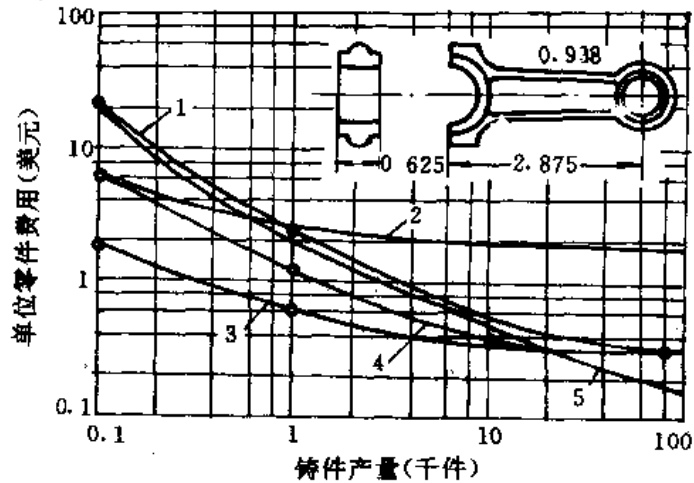


图 13-1 铝合金连杆不同成形方法的生产费用

1—锻件 2—熔模铸件 3—砂型铸件
4—金属型铸件 5—压铸件

表 13-2 各种铸造工艺技术经济指标对比

鉴定技术或经济指标	铸 造 方 法					
	砂型	熔模	陶瓷型	壳型	金属型	压铸
尺寸无限制	1	4	2	3	2	5
影响结构	2	1	3	3	4	5
适用各种合金	1	1	1	2	4	5
装备的价值	1	2	1	3	4	5

续 表

鉴定技术或经济指标	铸 造 方 法					
	砂型	熔模	陶瓷型	壳型	金属型	压铸
持续时间的掌握	1	3	4	4	2	5
最小的经济批量	1	2	1	3	4	5
随着批量扩大继续增加经济性	4	5	5	3	2	1
生产率(速度)	4	5	5	3	2	1
铸件表面粗糙度	5	2	2	3	4	1
薄壁的铸件	4	1	2	3	5	1
适宜的产量	4	2	4	3	3	1
公差值	5	2	2	3	3	1
机械化和自动化的难易	5	4	5	4	1	1

§ 13-2 铸件浇注位置及分型面的选择

铸件的浇注位置是指浇注时铸件在铸型中的位置;铸型分型面是指铸型相互分开、组合接触的表面。它们的选择正确与否,对铸件质量、铸造工艺、劳动生产率和铸件生产成本,均有很大的影响,它们是铸造工艺方法确定以后首先要解决的两个问题。

一、铸件浇注位置的选择原则

铸件的浇注位置的选择,决定于合金种类、铸件结构及轮廓尺寸、铸件表面质量要求以及现有的生产条件。选择铸件浇注位置时,主要以保证铸件质量为前提,同时尽量做到简化造型工艺和浇注工艺。选择铸件浇注位置的主要原则有:

(一) 铸件上的重要工作面和在大平面应尽量朝下或垂直安放

铸件在浇注时,朝下或垂直安放部位的质量一般都比朝上安放的高。因为铸件下部的组织致密,夹渣、砂眼和气孔等缺陷少。根据某铝合金铸件的实验结果,下部的拉伸强度极限为 180 MPa,而上部的抗拉强度极限只有 80 MPa。

如图 13-2 所示的飞机壁板类铸件,其弧形表面要求平整光洁,没有表面缺陷;对带筋的一面要求相应较低,所以该铸件的浇注位置应将弧形表面朝下安放。各种机床床身的导轨部位不允许有任何缺陷,所以床身的浇注位置,一般情况下都是将导轨朝下。

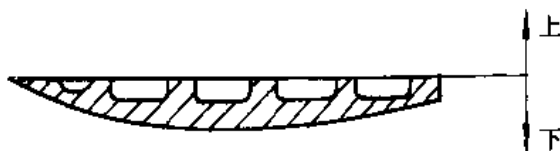


图 13-2 壁板铸件的浇注位置

根据铸件处于浇注位置的上、下部位质量不均匀性的特点,在选择质量要求较高、结构形状又相对称的铸件的浇注位置时,应尽量保证铸件的相对称部分的质量也对称,将铸件对称壁置于垂直位置(如图 13-3 所示)。这种垂直的浇注位置对保证铸件尺寸精度和采用底注式浇注

系统等也都是有利的。

(二) 应保证铸件有良好的液态金属导入位置, 保证铸件能充满

决定浇注位置时, 应根据铝、镁合金铸件经常采用底注式或垂直缝隙式浇注系统、内浇道均匀地设置在铸件的四周和要求液体金属平稳地流入型腔等特点, 选择合理的浇注位置。

图 13-4 为壳体铸件浇注位置的两种方案, 图中(a) 所示的浇注位置不合理, 因为合金液在型腔中的下落高度大, 容易引起冲击、飞溅现象造成冲毁砂型和产生二次氧化夹渣。同时该浇注位置还有砂芯安放不便和稳定性差的缺点。若采用图中(b) 所示的浇注位置, 就可消除上述缺点。对于铸件尺寸较大, 精度要求又高时, 为了便于安放砂芯, 准确检验和控制型腔尺寸以及避免由于错箱引起铸件超差现象, 可采用三箱造型方法。

对具有薄壁部分的铸件, 应将薄壁部分放在下半部或置于内浇道以下, 以免出现浇不到冷隔等缺陷。

(三) 保证铸件能自下而上的顺序凝固

为满足这条原则, 应尽量将铸件的厚大部分朝上安放, 以便在其上面安放冒口, 促使铸件自下而上地向冒口方向顺序凝固。这一原则对体收缩较大的铝、镁合金铸件尤为重要。

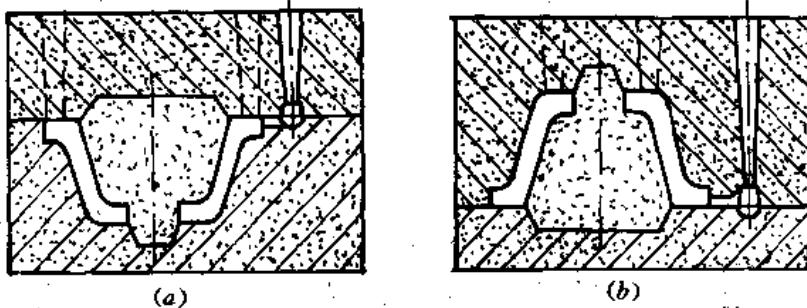


图 13-4 壳体铸件浇注位置的两种方案

但是, 在航空产品的铸件生产中, 铸件的结构都比较复杂, 并且铸件上局部加厚的凸台、安装边较多, 有时很难将铸件所有厚大部分都安放在上部位置。在此情况下, 为了使铸件整体的顺序凝固原则不变, 可对中、下位置的局部厚大处采用冷铁或侧冒口等工艺措施解决其补缩问题。

(四) 应尽量少用或不用砂芯; 若需要使用砂芯时, 应保证其安放稳固、通气顺利和检查方便。

铸件浇注位置的选择, 除了要考虑上述几个原则外, 还应尽量简化造型、造芯、合箱和浇冒口的切割等工艺, 以减少模具制造工作量和合金液的消耗。

在实际生产中, 情况是复杂的, 上述各原则既有联系又有矛盾, 一定要结合生产实际情况,

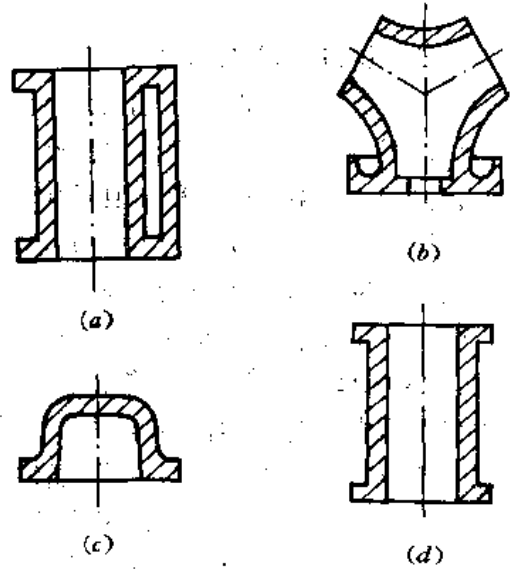


图 13-3 使铸件性能对称的浇注位置示意图
(a) 气缸套 (b) 上机匣 (c) 气缸接头
(d) 发动机外壳

抓住主要矛盾,不能生搬硬套。

二、铸型分型面的选择

在砂型铸造中,为完成造型、取模、设置浇冒口和安装砂芯等需要,砂型型腔必须由两个或两个以上的部分组合而成,砂型的分割或装配面称为分型面。

分型面一般在确定铸件浇注位置后确定。但分析各种分型面优劣后,可能需要重新调整浇注位置。生产中,浇注位置和分型面有时是同时确定的。

铸型分型面,主要取决于铸件的结构。分型面的优劣,在很大程度上影响铸件的尺寸精度、生产成本和生产率,应仔细地分析、对比后选择一个比较合理的方案。

图 13-5 表示了环形架铸件的几种方案;其中方案一(图中(a)所示),铸件的外形和内腔由上、下半型和置于其中的砂芯成形,此方案不易保证铸件尺寸精度,同时铸型装配困难,在铸件表面形成披缝,增加了清理的工作量。方案二(图中(b)所示),铸件外型由上半型成形,其内腔由置于下半型中的砂芯成形;显然铸件外形尺寸精度较高;但由于砂芯位置尺寸不易检查,尤其是高度尺寸与上半型型腔深度不易控制一致,所以内腔尺寸精度较差。方案三如图中(c)所示,整个铸件由下半型和固定在同一半型的砂芯形成,砂芯位置稳定,装配和检查方便,上、下半型即使有错箱,对铸件尺寸精度也没有影响,所以方案三比前两种方案好。如果铸件上四个通孔尺寸较小(孔径小于 15 mm)或孔的相对位置尺寸精度要求较高时,这些孔可以不铸出,由机械加工成形,此时铸件内腔可以不用砂芯(图中(d)所示)。这一方案不仅铸件尺寸精度最高,而且也简化了铸造工艺过程。

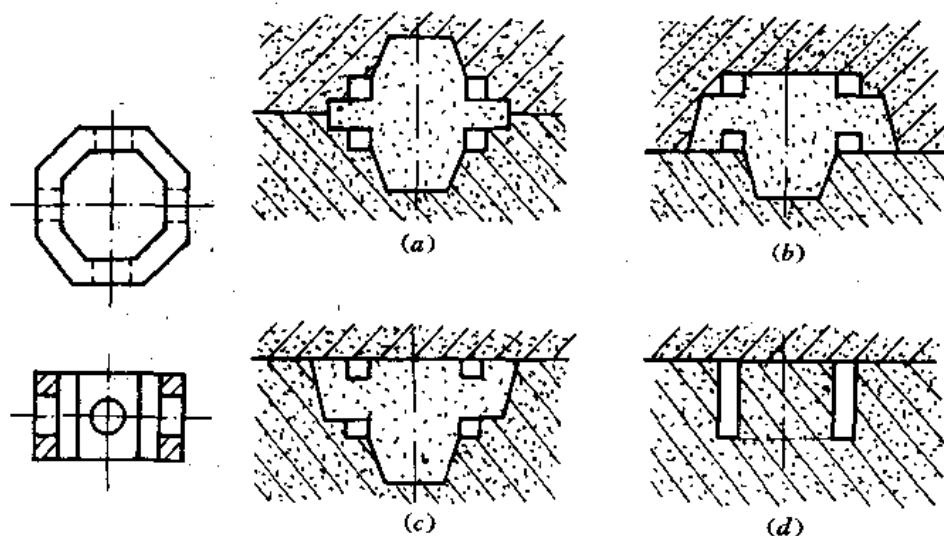


图 13-5 环形架铸件铸型分型面的选择

图 13-6 所示的轮毂铸件,由于其最大横断面在中间部位,铸件不能在同一半型中成型。在此情况下,考虑到铸件机械加工工艺,中间法兰盘($\phi 278$)的外圆表面是铸件机械加工初基准(首次加工下圆柱体 $\phi 161$ 时的定位基准),而下圆柱体又是铸件的加工基准(或称精基准)。为了保证铸件尺寸精度和满足机械加工要求,铸型分型面应选择在 A-A 面,使法兰盘和下圆柱体在同一半型中成型。如果在 B-B 面分型,上述两部分的同心度就不易保证,或因某些加工尺寸达不到图纸要求,使铸件报废。

从上例分析可看出,在选择分型面时,应注意以下原则:

(1) 最好将整个铸件安置在同一半型中成型,若铸件不能在同一半型内成型时,应力求将铸件上机械加工面或若干重要的加工面与机械加工初基准面安置在同一个半型内成型。

(2) 应尽量减少分型面的数目。分型面少,铸件精度容易保证。机器造型的中小件,一般只许可一个分型面,以便充分发挥造型机的生产率。凡不能出砂的部位均采用砂芯,而不允许用活块或多分型面。

但是在轻合金铸造中,常采用底注式浇注系统,一般难以实现将砂芯安置在同一半型中形成整个铸件。如前图 13-5 中 (c) 和 (d) 两种方案均无法采用底注或浇注系统,除非增加砂芯或在原砂芯中开设浇注系统,而这又将使砂芯的通气和芯盒结构复杂化。

为了保证环形架铸件的内部质量和尺寸精度要求,即既要采用底注式浇注系统,又要使整个铸件由一个半型和固定在同一半型的砂芯成型,同时又要避免增加砂芯或在砂芯中开设浇注系统。在此情况下,需要增加一个分型面,采用(上、中、下)三箱的铸型结构(图 13-7),把砂芯安置在底箱,整个铸件在中箱成型,横浇道和内浇道开设在中箱的下分型面处。此种方案造型工艺虽复杂,但是铸件质量有保证。这种三箱铸型结构,在航空发动机机匣、壳体和框架类等铸件生产中应用较多。

(3) 应尽量不用或少用砂芯,在必须采用砂芯时,除了要保证砂芯位置稳定、装配和检查方便外,还应力求将砂芯安置在同一个半型内,以保证铸件的某些重要尺寸精度。

(4) 分型面应尽量选择平面。平直分型面可简化造型过程和模板制造,易于保证铸件精度。如铸件形状确需采用不平分型面时,应尽量选择规则的曲面,如圆柱面或折面。

在航空铸件砂型铸造中,分型面一般都应该选择在铸件浇注时的水平位置,即避免采用垂直分型面。因为水平造型、下芯和合箱后,再翻动铸型进行浇注,就可能引起砂芯位置移动,影响铸件尺寸精度。航空砂型铸件,结构复杂、砂芯数量较多,并且在铸型或砂芯表面常有不少冷铁,所以铸型在装配后一般都不允许再次翻动。

金属型铸造生产中,选择分型面主要考虑应保证金属型能顺利开型和取出铸件,一般采用垂直或互相垂直的分型面,这样有利于采用良好形式的浇注系统和安设冒口,有利于排除型腔中的气体。金属型操作也方便,易于机械化。

(5) 注意减轻铸件清理和机械加工量。铸型分型面最好避免选在铸件非加工表面和机加工初基准面上。因为,前者会增加铸件清理的劳动量并有损铸件表面美观,而后者将会影响铸

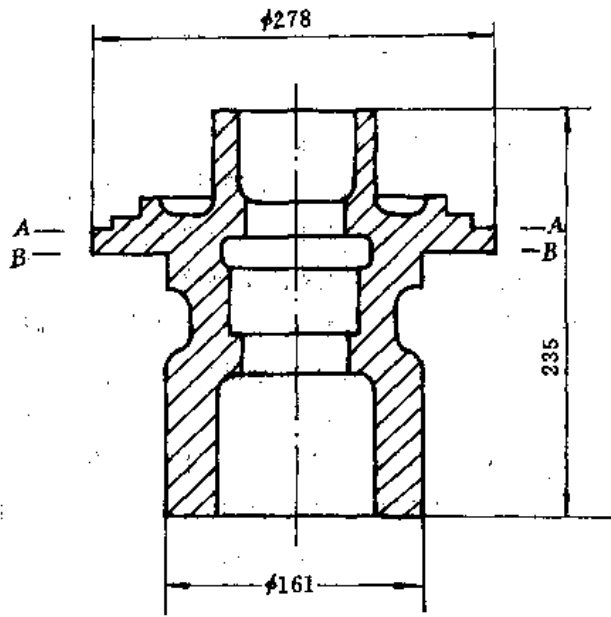


图 13-6 轮毂铸件分型面的选择

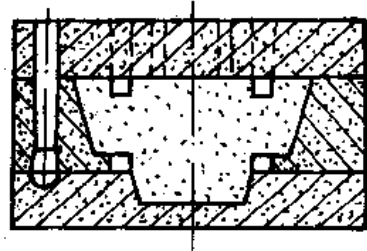


图 13-7 环形架铸件的三箱铸型结构简图

件划线和加工的尺寸精度。

§ 13-3 铸件机械加工初基准的选择

铸件在机械加工时,作为首次装夹、定位用的基准面称为机加工初基准面(又称初基准或粗基准等)。如果铸件机加工初基准选择不当或初基准本身尺寸精度低,表面不平整,将使铸件装夹、定位困难,加工精度难以保证;尤其在成批、大量生产中,铸件依靠初基准定位、装夹在专用夹具上进行首次加工,如果初基准选择不当,将使铸件大量报废。

对铸件机械加工初基准面,既要考虑加工时铸件装夹、定位稳固、准确等加工工艺要求,又要考虑到铸造工艺能否保证初基准的尺寸精度和与其它尺寸相对位置的精确性、稳定性等问题。铸件机加工初基准,一般应根据零件图,由铸造和机械加工工艺技术部门共同协商确定,初基准确定后,就成为铸造工艺和机加工工艺设计的共同依据,不得随意更改。

铸件机加工初基准面的数量,必须满足对该铸件六个自由度具有约束作用的要求。通常在铸件上下、前后和左右三个方向各选一个,圆形铸件只需要两个初基准即可。选择初基准时应注意下列问题:

1. 应尽量选择铸件非加工面为初基准

铸件上往往有些表面需要加工,有些表面不加工。铸件加工表面在加工过程中,其尺寸将受加工公差的影响而变动。若以加工面为初基准面,则铸件上某些非加工表面到加工表面之间的尺寸精度就不易保证,并且在加工过程中也不易测定铸件的机械加工余量。如图 13-8 所示的铸件, A 和 B 为两个加工表面, C 为非加工表面。两加工表面之间的最终尺寸按图纸要求由机械加工保证;加工表面 A 在加工后到非加工表面 C 的高度尺寸“ b ”的精度则与初基准的选择有关。如果选 B 面为初基准(其加工工序如图中(a)所示),“ b ”的尺寸精度不易保证,并且在加工时的切削量要换算,检测也不便;如果选非加工表面 C 为初基准面(其加工工序如图中(b)所示),则“ b ”的尺寸精度将得到保证。倘若 C 面由于其它原因(如表面不平整、有凸台等)不能作为初基准时,应选加工表面 A 为初基准较好。

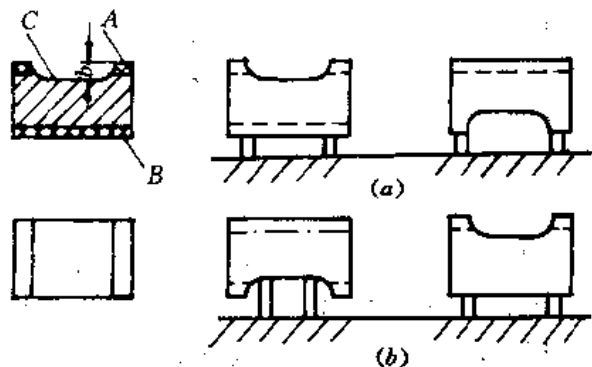


图 13-8 选择铸件机械加工初基准的示意图

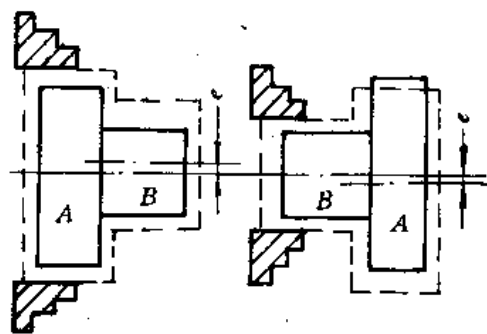


图 13-9 在铸件加工表面选择初基准的例子

2. 应选择加工余量最小或尺寸公差最小的表面为初基准面

如果铸件内外表面均需加工时,应选择加工余量最小或尺寸公差最小的表面为初基准,这可保证该加工表面与其它加工表面之间的尺寸精度。如图 13-9 所示的铸件,外圆表面 A 的加工余量 δ_a 小于外圆表面 B 的加工余量 δ_b ,如果以 A 表面为初基准装夹在卡盘上,当 A 与 B 两

表面的偏心率 $e < \delta_0/2$ 时,则 B 表面仍有一定的加工余量、能保证零件尺寸精度;如果选 B 表面为加工初基准面时,偏心率仍为 $e < \delta_0/2$,由于 A 面加工余量小,造成加工困难甚至无法加工,而使零件报废。

3. 应选择铸件尺寸最稳定的表面为加工初基准面

初基准最好是由砂型成型的表面;如果是由砂芯成型的表面,则应保证砂芯的定位稳定可靠。在砂芯数量较多时,初基准应选择由基础砂芯(即组装其它砂芯的那个砂芯)成型的表面。有时还需要在上部组装的其它砂芯的成型表面上,选择一个辅助基准,供划线或加工定位时作校正用。

为了保证初基准与加工面或主要加工面相对位置的稳定,初基准应尽可能选择与加工面(或主要加工面)在同一半型或同一砂芯成型的表面。

活块形成的面尺寸不稳定,一般不应选为初基准面。

铸件设置内浇口和冒口的面,最好不作初基准面,因为浇口残余和冒口残余会使装夹、定位的精度受到很大的影响。

4. 当铸件上没有合适的初基准时,可增设工艺凸台作为“辅助”基准(又称工艺基准)如图 13-10 所示。

铸件尺寸检查和机械加工(单件、小批生产时)划线时所需的测量基准称为划线基准。铸件的划线基准应尽量与机械加工初基准一致,否则容易造成铸件各部分相对位置尺寸和加工余量的不稳定,使铸件因尺寸超差而大量报废。

铸件划线时,不仅要求定位准确,还要有合适的测量基准,才能正确地划出铸件各个方向的尺寸及其加工余量。这种测量基准(即划线基准),一般都与零件的设计基准相一致。而机械加工初基准有时为了考虑装夹、定位方便,往往可与零件的设计基准不一致。

选择铸件划线基准,不仅要考虑对铸件六个自由度具有约束作用,还要在铸件对称部位选择两个面,以便正确地划出对称面的中心线;对于圆形结构,有时还要增加角向基准,才能正确地划出中心线。

选择铸件划线基准也与选择机加工初基准一样,要考虑铸造工艺因素对其准确性和稳定性的影响。

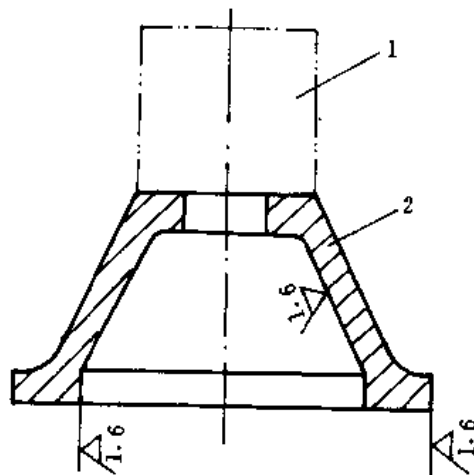


图 13-10 铸件的辅助基准
1—辅助基准 2—铸件

§ 13-4 铸造工艺设计的主要参数

铸造工艺设计参数(简称工艺参数)是指铸造工艺设计时需要确定的某些数据,这些工艺数据一般都与铸件的精度有密切关系。工艺参数选取得准确、合适,才能保证铸件尺寸精确,为造型、制芯、下芯,合箱创造方便,提高生产率、降低生产成本。工艺参数选取不准确,则铸件精度降低,甚至因尺寸超过公差要求而报废。下面着重介绍这些工艺参数的概念和应用条件。

一、铸件机械加工余量

在铸件加工表面上留出的,准备切削去的金属层厚度,称为机械加工余量。

加工余量过大,将浪费金属和机械加工工时,增加零件成本;过小,则不能完全除去铸件表面的缺陷,甚至露出铸件表皮,达不到设计要求。因此选择合适的加工余量有着很重要的意义。加工余量的选择与下列因素有关:

(1) 铸造合金的种类:不同的铸造合金具有不同的物理、化学、铸造以及切削性能,铸件的表面质量和生产成本也不相同,所以铸件的机械加工余量的选择也应该有所不同。例如,铸件表层组织致密、力学性能好,在能满足表面粗糙度和尺寸精度要求的前提下,应尽量减少加工余量。这对于壁厚效应较大的镁、铝铸件和气密性要求较高的铸件具有更大的意义。对于熔点高的合金(钢、铁)铸件,由于其表面粘结有坚硬的砂粒或白口层(铸铁件),加工余量过小将会大大降低刀具的寿命。同时对于贵重合金材料的铸件加工余量应相应缩小些,以降低生产成本。

(2) 铸造方法和生产批量:铸造方法不同,得到的铸件的表面粗糙度和尺寸精度也不同,所以铸件的加工余量也应不同。HB6103—86 规定了各种铸造方法生产的铸件的公差等级和加工余量的选择方法。同样是轻合金铸件,压力铸造的尺寸精度最高(为 CT3~CT6),其加工余量也最小,熔模铸造尺寸精度为 CT4~CT6,金属型铸造为 CT6~CT8,尺寸精度逐渐降低,加工余量也逐渐增大。与其它铸造方法比较普通砂型铸件的尺寸精度最低,所以其加工余量要比其它铸造方法大。铸件在成批生产时,一般采用金属模具、机器造型,并有专用检验测量工具,铸件尺寸精度和表面粗糙度较高;而单件生产时,采用木模的手工造型,铸件尺寸精度和表面粗糙度较差。因此前者的加工余量要比后者的小。

(3) 铸件尺寸大小和加工精度要求:铸件尺寸越大,形状越复杂和加工精度要求越高,则铸件的机械加工余量就越大。

(4) 铸件加工面在浇注时的位置:由于在浇注时朝下或垂直位置的铸件表面质量较高,所以这些表面的加工余量比朝上安放的面小。

铸件的机械加工余量,一般按 GB/T11350—89 或 HB6103—86 规定的方法和表格选用。有时为了消除铸造缺陷或由于其它工艺要求,而增加的工艺余量以及切割浇冒口后的残留量,均不属于加工余量的范围,这些应在铸件图上标注清楚。

二、铸件工艺余量

铸件工艺余量,是为了满足工艺上的某些要求而附加的金属层。工艺余量一般都在机械加工时被切除,所以应在铸件图上标注清楚。在个别情况下,如果已取得设计和使用单位的同意,工艺余量也可不经加工而保留在铸件上,因为这已属于更改铸件结构的问题,所以在铸件图上不必再作任何标注。

铸件工艺余量的大小应根据工艺要求的实际情况而定。工艺余量主要用于如下情况:

(1) 为保证铸件顺序凝固,有利于冒口补缩,因而在铸件上附加的工艺余量(即补贴),如图 13-11 所示。一般情况下,工艺补贴余量应尽量附加在加工表面,若在非加工表面,就需要另行安排机械加工。

(2) 为保证铸件机械加工精度和简化铸造工艺、模具结构,对一些需要进行加工、尺寸精

度要求较高的小孔、凸缘、台阶以及难以铸造的狭窄沟槽等均以工艺余量的形式,由机械加工直接成型。图 13-12 是铸件凸缘由加工成型的例子。

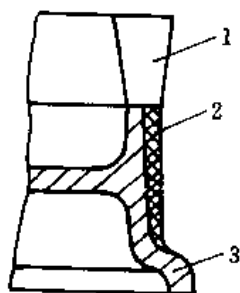


图 13-11 铸件工艺余量
应用实例之一
1—冒口 2—工艺余量
3—铸件

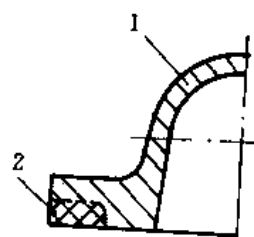


图 13-12 铸件工艺余量
应用实例之二
1—铸件 2—工艺余量

铸件工艺余量除上述两种主要形式外,有的还将机械加工所需的工艺凸台(辅助基准)、为防止铸件变形或热裂而增设的工艺筋、为改善合金液充填条件而在铸件薄壁处增大厚度,以及为防止铸件由于变形造成加工余量不足或达不到加工精度要求而增大的加工余量等,都当作铸造工艺余量处理,并在铸件图上标注。

三、铸件工艺补正量

在单件、小批生产中,由于选用的收缩率与铸件的收缩率不符等原因,使得加工后的铸件某些部分的厚度小于图纸要求。为了防止零件因局部尺寸超差而报废,需要把铸件上这种局部尺寸加以放大,铸件被放大的这部分尺寸,称为铸件工艺补正量(曾称为铸件保证余量和保险余量等)。它与工艺余量最显著的区别在于铸件上被放大的部分不必加工掉,而保留在铸件上。因此,铸件工艺补正量一般都会使铸件局部尺寸超出公差范围(有时由于铸件工艺补正量较小,也可能刚好控制在公差范围内),所以在铸件上加放工艺补正量,应取得设计、使用单位同意。如果有些部位不允许有超差现象,则应由机械加工去除。铸件工艺补正量通常应用于下列情况:

(1) 铸件上加工表面到非加工表面之间的壁厚不易保证时,需要加放工艺补正量。如图 13-13 所示的两个带有法兰的铸件,经常在加工后发现法兰厚度小于图纸的要求,为了保证法兰强度,在法兰的非加工表面上附加工艺补正量(e)。

(2) 在铸件上需要钻孔的凸耳、耳座,由于铸造工艺造成的位置尺寸偏差或加工引起的偏差,常使孔的边距尺寸小于图纸的要求,为保证凸耳和耳座的强度,控制其边距尺寸不小于负偏差,在不加工表面加放工艺补正量。如图 13-14 所示,就表示边距尺寸加厚 2 mm(即为 $R10$)的工艺补正量;有的也用圆弧半径 R 的正偏差表示(即 $R8^{+2}$),但是这种表示方法容易与铸件上有特殊公差要求的表示形式相混淆。

铸件工艺补正量虽然是克服铸件因局部超差而报废的一种措施,但是它又是使产品零件超出重量规定的主要原因之一。有时,为了排除重量超差所消耗的加工工时甚至超过铸件的加工工时总额。因此,在航空铸件生产中,应严格控制使用工艺补正量。对于成批、大量生产的铸

件,不应使用工艺补正量,而应修改模具尺寸。工艺补正量的具体数据可参考有关图表选取。各种大型铸件的工艺补正量的经验数据都是在一定条件下取得的,在使用时应仔细分析。

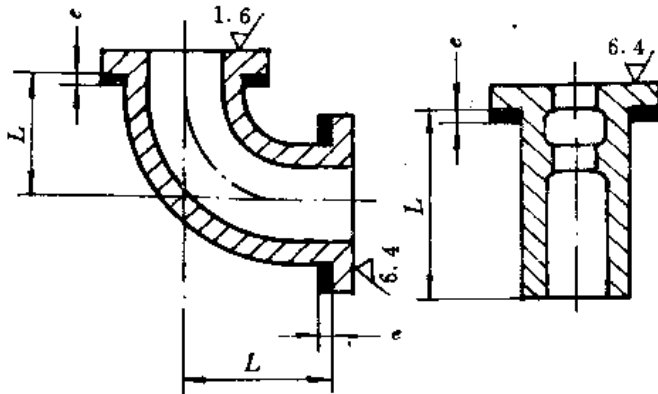


图 13-13 铸件工艺补正量实例之一

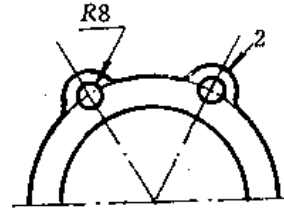


图 13-14
铸件工艺补正
量实例之二

四、铸造斜度

为了方便起模或铸件成型,在模样、芯盒或金属铸型的出模方向留有一定斜度,以免损坏砂型或铸件。这个斜度称为铸造斜度。

铸造斜度一般有如图 13-15 所示:增加壁厚法(图(a))、加减壁厚法(图(b))和减少壁厚法(图(c))等三种形式。铸造斜度一般用角“ α ”表示,对于金属模具 α 可取 $0.5^\circ \sim 1^\circ$,木模可取 $1^\circ \sim 3^\circ$;在用手加工木质模具时,铸造斜度最好用宽度“ a ”表示,便于加工。在上、下两半模型高度不同时,或两个高度不同的零件相配合时,为了避免分型面(或零件配合面)处不平齐,最好在上、下模型上都用同一宽度“ a ”作为铸造斜度。

铸造斜度应小于或等于产品图上所规定的拔模斜度值,以防止零件在装配或工作时与其它零件相妨碍。按 HB6103—86 规定:当产品图未作特殊规定时铸造斜度可按表 13-3 选取,未注明者均按增加壁厚法。

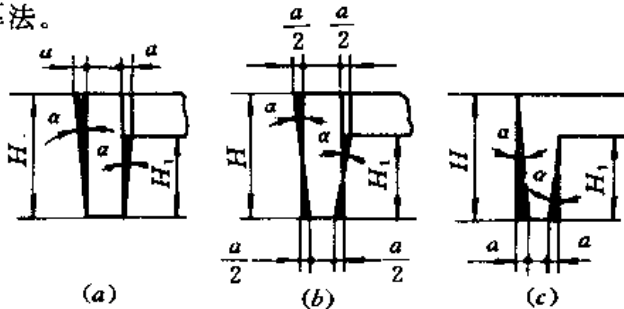


图 13-15 铸造斜度的形式

表 13-3 铸造斜度(不大于)

拔模高度基本尺寸(mm)		公差等级 CT			
大于	至	3~5	6~8	9~12	13~15
—	16	$2^\circ 50'$	4°	5°	$5^\circ 30'$

续 表

拔模高度基本尺寸 (mm)		公差等级 CT			
16	25	2°	3°	4°	4°30'
25	40	1°30'	2°30'	3°	3°30'
40	63	1°15'	2°	2°30'	3°
63	100	0°45'	1°45'	2°	2°30'
100	—	—	1°15'	1°30'	2°

注：铸件内腔铸造斜度按上表，外壁的铸造斜度为内腔铸造斜度的 1/2。

五、铸件线收缩率

铸件在凝固和冷却过程中会发生线收缩而造成各部分尺寸缩小。为了使铸件的尺寸符合图纸要求，在制造模具时，必须将模样尺寸放大到一定的数值。这个放大的数值往往称为铸件收缩余量。铸件收缩余量，由铸件图所示的尺寸乘上铸造线收缩率求出。铸造线收缩率简称铸造收缩率，其表达式为：

$$K = \frac{L_{\text{模}} - L_{\text{件}}}{L_{\text{件}}} \times 100\%$$

式中：K——铸造线收缩率(%)；

$L_{\text{模}}$ ——模样(或芯盒)工作面尺寸；

$L_{\text{件}}$ ——铸件图所示尺寸。

正确选取铸造收缩率，对于提高铸件尺寸精度有着重要意义。影响铸造收缩率的因素有：铸造合金种类、铸件结构、铸型种类、型、芯材料的退让性以及浇冒口系统的布置和结构形式等。不同的铸造合金，其线收缩率不相同(如表 13-4 所示)。合金成分虽然相同，但由于铸件结构形状、铸型和型芯的结构及其退让性等条件不同，致使铸件收缩受阻情况也不同，所以也影响到铸件的线收缩。因此不同铸件或者同一个铸件的不同方向应选取不同的铸造收缩率。例如，发动机的镁合金机匣类铸件，有的工厂统一选取 1% 的收缩率；有的在水平方向选取 0.8%、垂直方向选取 1% 的收缩率。选定的收缩率应在铸件图的附注栏中作统一的说明，以供模具设计与制造时使用。

表 13-4 铸造合金的线收缩率

铸造合金	线收缩率(%)	铸造合金	线收缩率(%)
灰口铸铁	0.5 ~ 1.2	铝硅合金	0.8 ~ 1.2
碳钢(C = 0.44% ~ 0.75%)	2 ~ 2.5	铝镁合金	1 ~ 1.3
锡青铜	1 ~ 1.5	铝铜合金	1 ~ 1.25
铝青铜	1.2 ~ 1.8	镁铝合金	1.1 ~ 1.3
黄铜	1 ~ 1.5	镁锌合金	1.1 ~ 1.3
锌合金	1 ~ 1.5	—	—

对于成批大量生产，对于结构复杂、尺寸精度要求高的铸件，往往需要经过多次试制，通过

划线反复测量铸件各部分的尺寸,以检查铸件的_{实际收缩率},在寻找到一定的规律后,再修改模样和芯盒尺寸,随后才正式投入生产。

六、铸件尺寸公差

我国铸件尺寸公差标准等效采用 ISO8062 - 1984(E)《铸件尺寸公差制》。该标准适用于砂型铸造、金属型铸造、低压铸造、压力铸造、熔模铸造等铸造方法生产的各种铸造金属及合金的铸件,是设计和检验铸件尺寸公差的通用依据。所规定的公差是指正常生产情况下通常所能达到的公差,分16级,命名为CT1到CT16(CT是铸件公差的英文Casting Tolerance的缩写)。铸件公差总表详见国家标准 GB6414—86(或见 HB6103—86)。

§ 13 - 5 型芯设计

型芯是铸型的一个重要组成部分,型芯的功用是形成铸件的_{内腔、孔洞和形状复杂阻碍取模部分的外形}以及铸型中有特殊要求的部分(如镁合金的蛇形和片状浇道等)。

型芯应满足以下要求:型芯的形状、尺寸以及在铸型中的位置应符合铸件要求,具有足够的强度和刚度,在铸件形成过程中型芯所产生的气体能及时排出型外,铸件收缩时阻力小,制芯、烘干、组合装配和铸件清理等工序操作简便,芯盒结构简单和制芯方便。

型芯设计的主要内容包括:确定砂芯形状、个数和下芯顺序,设计芯头结构和核算芯头大小等,其中还要考虑型芯的通气、加强、型芯制作和材料选择等。

一、型芯的种类及其应用

型芯依据制作的材料不同可分为以下几类:

(1) 砂芯:用石英砂等材料制作的型芯,称为砂芯,砂芯制作容易、价格便宜,可以制出各种复杂的形状,砂芯强度和刚度一般能满足使用要求,铸件收缩时阻力小,铸件清理方便,在砂型铸造中得到广泛的应用,在金属型铸造、低压铸造等铸造工艺中,对于形状复杂的内腔孔洞,也用砂芯来形成。

(2) 金属芯:在金属型铸造、压力铸造等工艺方法中,广泛应用金属材料制作的型芯。金属芯强度和刚度好,得到的铸件尺寸精度高,但对铸件收缩的阻力大,对于形状复杂的孔腔则抽芯比较困难,选用时应引起足够重视。

(3) 可溶性型芯:用水溶性盐类制作型芯或作为粘结剂制作的型芯为水溶芯。此类型芯有较高的常温强度和高温强度,低的发气性,好的抗粘砂性,铸件浇注后用水即可方便地溶失型芯。水溶芯在砂型铸造、金属型铸造、压力铸造等工艺方法中都得到一定的应用。

近代航空发动机上的空心叶片等铸件用熔模铸造方法制造时,其空心内腔常用陶瓷型芯。它是以矿物岩等无机物为原料、在混合及成型后,经过一定的高温焙烧而制成的质地坚硬的制品。铸件清理后,陶瓷型芯用碱水煮等方法溶失掉,也属可溶性型芯。

二、砂芯设计

(一) 确定砂芯形状、个数

在铸件浇注位置和分型面等工艺方案确定后,就可根据铸件结构来确定砂芯如何分块(即

采用整体结构还是分块组合结构)和各个分块砂芯的结构形状。确定时总的原则应是:使制芯到下芯的整个过程方便,铸件内腔尺寸精确,不致造成气孔等缺陷,芯盒结构简单。

(1) 保证铸件内腔尺寸精度:凡铸件内腔尺寸要求较严的部分应由同一砂芯形成,不宜划分为几个砂芯。在航空铸件生产中,在铸件尺寸精度要求很高的地方,尽管结构很复杂,但仍采用整体砂芯。

(2) 复杂的大砂芯、细而长的砂芯可分为几个小而简单的砂芯。大而复杂的砂芯,分块后芯盒结构简单,制造方便。细而长的砂芯,应分成数段,并设法使芯盒通用。砂芯上的细薄连接部分或悬臂凸出部分应分块制造,待烘干后再装配粘结在一起。

(3) 砂芯应有较大的填砂、春砂平面和运输及烘干时的支撑面。

(4) 在砂芯分块数量较多时,为便于砂芯组合、装配和检查,最好采用“基础砂芯”(其本身不是成型部分或只起部分铸型作用),在它的上面预先组合大部或全部砂芯,然后再整体下芯。在航空发动机铸件生产中,常用的铸型装配底板也兼有“基础砂芯”的作用。

除上述几条原则外,还应使每块砂芯有足够的断面,保证有一定的强度和刚度,并能顺利排出砂芯中的气体;使芯盒结构简单,便于制造和使用等。

(二) 芯头的设计

芯头是砂芯的定位、支撑和排气结构,在设计时需要考虑:如何保证定位准确、能承受砂芯自身重量和液态合金的冲击、浮力等外力的作用以及把浇注时在砂芯内部产生的气体引出铸型等问题。

1. 芯头尺寸的确定

芯头可分为垂直芯头和水平芯头两大类。由于芯头的直径(或宽度)通常与砂芯的直径(或宽度)相同,所以确定芯头承压面积,确定芯头尺寸,对于垂直砂芯实际上只是确定芯头的高度;对于水平砂芯就是确定芯头的长度。在一般情况下,芯头的尺寸可通过查表确定,不需要繁琐的计算。

当砂芯本体尺寸较大,其出口处(即芯头部分)又较狭窄时,应对芯头的尺寸进行验算,以保证在金属液的最大浮力作用下不超过铸型的许用压力。芯头的承压面积应满足下式

$$F \geq \frac{KP}{[\sigma]} \quad (13-1)$$

式中: F ——芯头的承压表面积(cm^2);

P ——作用在芯座上实际压力(N),对于上芯座 P 为液态合金的最大浮力(按砂芯结构等实际情况定)减去砂芯的重量;对于下芯座, P 就等于砂芯的重量;

$[\sigma]$ ——芯座允许的抗压强度,一般湿型, $[\sigma]$ 可取 $40 \sim 60 \text{ kPa}$,活化膨润土砂型可取 $60 \sim 100 \text{ kPa}$,干型可取 $0.6 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 。

2. 芯头斜度的确定

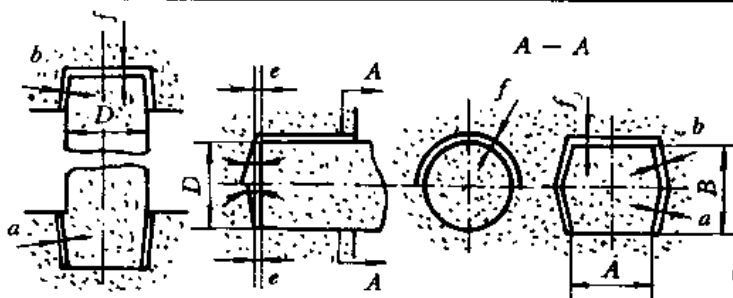
为了便于造型、造芯、下芯和合箱操作,芯头和芯座在造型取模和下芯方向应有一定的斜度。对于垂直砂芯,其芯头和芯座的上部斜度(β)一般要比下部斜度(α)大;对于水平砂芯,有时为了简化芯盒结构和制造方便,只在芯座(或模样芯头)上带有斜度(见表 13-5 中示图)。上芯座斜度 β 一般约取 10° ,下芯座斜度 α 约取 5° ;为了保证芯头与芯座的配合,形成芯座的模样芯头的斜度应取正偏差(如 $\alpha = 5^\circ + 15'$),芯盒中芯头部分的斜度取负偏差(如 $\alpha = 5^\circ - 15'$)。

3. 芯头与芯座的配合间隙的确定

芯头与芯座的配合关系和轴与轴承的配合相似,必须有一定的装配间隙。如果间隙过大,虽然下芯、合箱较方便,但是铸件尺寸精度较低,甚至合金液可能流入间隙中造成大量“披缝”,使铸件落砂、清理困难,或堵塞芯头的通气孔道,使铸件造成气孔等缺陷;如果间隙过小,将使下芯、合箱操作困难,易产生掉砂或塌箱等缺陷。

选择芯头与芯座的装配间隙,应按模样和芯盒的材料及其制造精度、砂型和砂芯精度、砂芯在运输、烘干过程中变形的大小以及下芯时是否采用检验样板和测具等实际生产情况而定。如果采用金属模具、机器造型和制芯时,装配间隙可取小些;在砂芯组合、装配中采用样板和量具检测时,则装配间隙可适当放大些以便于调整。芯头和芯座的配合间隙可参考表 13-5。

表 13-5 芯头与芯座的配合间隙



配合间隙 (mm)	芯头平均直径, D 或 $(A + B)/2$ (mm)								
	~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	> 400	
a	不需测量	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
	需测量	—	/	0.8	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0
b	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
e	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	
f	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6	

4. 芯头定位结构的设计

为防止圆形砂芯在下芯、合箱和浇注时产生转动或水平位置偏移,或者对砂芯的角向位置有要求、在下芯易搞错方位时,芯头应有良好的定位结构。生产中常用的垂直和水平圆形芯头的定位结构,如图 13-16 所示。图中垂直芯头的(a)、(b)两种定位方式应用最多,在芯头承压面积不足时,可选用(c)、(d)两种形式;水平芯头(a)、(b)两种形式用于大砂芯,其余形式用于小砂芯。

5. 特殊芯头的设计

由于铸件结构和铸造工艺等原因,需要采用特殊的芯头结构,其常见的形式有如下几种:

(1) 悬臂砂芯的芯头结构:水平砂芯一般有两个以上的芯头作为支撑点,才能保持砂芯位置稳定。但是如受铸件结构的限制,只能用单个芯头支撑,这种砂芯就称为悬臂砂芯。为了保证悬臂砂芯安放稳定,常将芯头加长或加大断面尺寸,使砂芯的重心移向芯座,如图 13-17 所示。图中(a)、(b)、(c)三种悬臂砂芯的芯头尺寸,可参考下列经验数据:

当 D (或 H) ≤ 150 mm, $h = D$ (或 $h = H$) 则 $l = 1.25L$

当 D (或 H) $> 150 \text{ mm}$, $h = (1.5 \sim 1.8)D$ [或 $h = (1.5 \sim 1.8)H$], 则 $l = L$ 。

(2) 管接头砂芯的设计: 为了避免某些砂芯由于自重力矩或合金液的作用造成不稳定现象, 可采用一个联合芯头, 将两个不稳定的砂芯串联起来。这种方法在小型铸件上应用较多, 其典型例子就是成 90° 的两通管接头砂芯的芯头结构, 管接头砂芯芯头尺寸可参考表 13-6 确定。

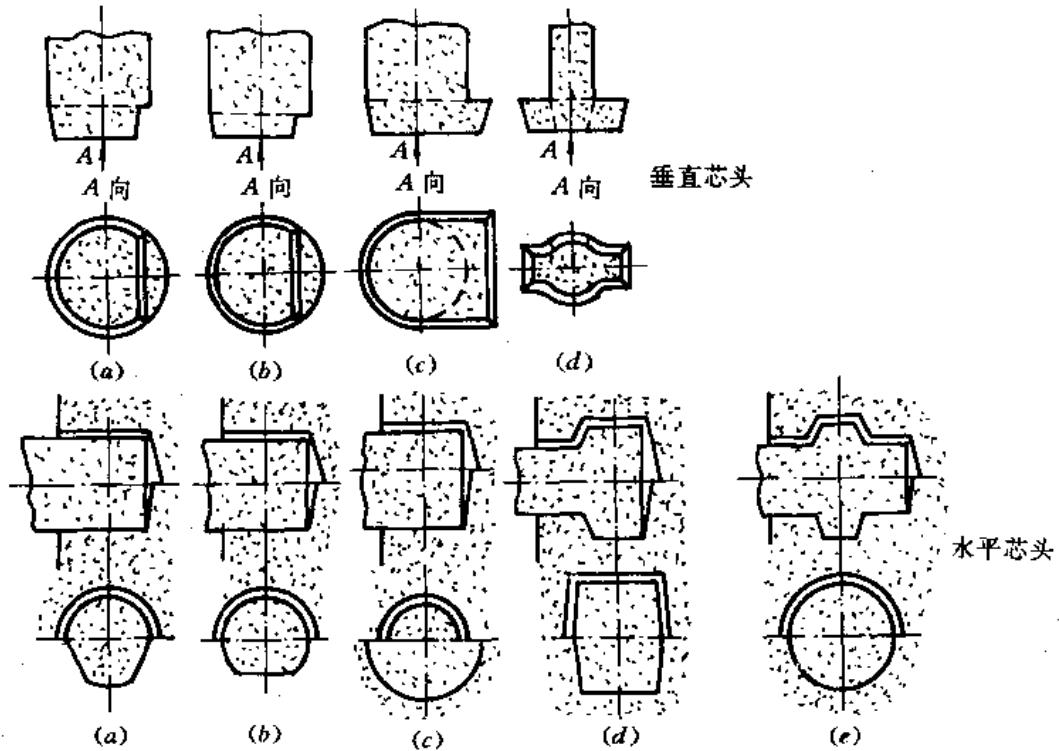


图 13-16 圆形砂芯常用定位结构的形式

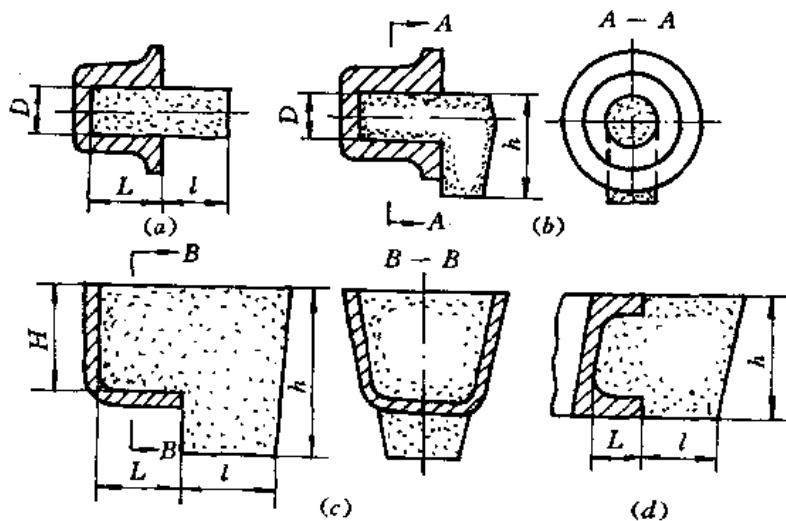


图 13-17 悬臂砂芯的芯头结构

(3) 补砂芯头的设计: 在模样芯头或模样上局部凸起(如搭子等)部分处于铸型分型面以

下位置阻碍取模时,为了简化分型面,可增大芯头尺寸或采用侧面砂芯,以代替部分砂型(如图13-18所示)。这些砂芯位置较稳定,芯头设计主要考虑取模和下芯方便,在取模、下芯方向应有较大的斜度。图中(b)的形式仍可参照悬臂砂芯的芯头设计。

表 13-6 管接头砂芯芯头长度

管 径		芯头长度 (mm)	
公制(mm)	英制(英寸)	L_1	L_2
6	1/4"	15	10
10	3/8"	18	12
15	1/2"	20	15
20	3/4"	25	20
25	1"	30	25
32	1 1/4"	40	30
40	1 1/2"	45	30
50	2"	50	35
65	2 1/2"	60	40
80	3"	60	45
100	4"	70	50

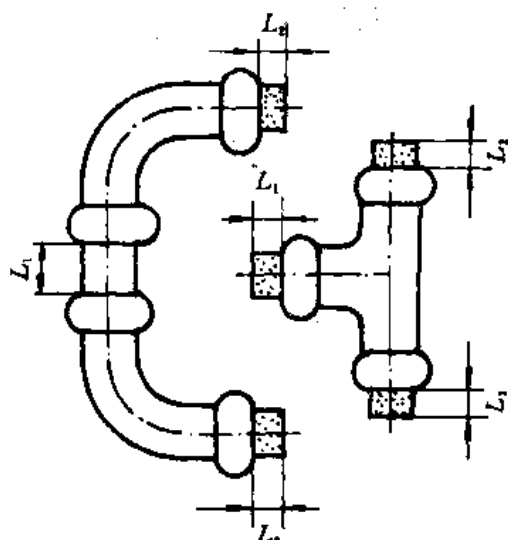
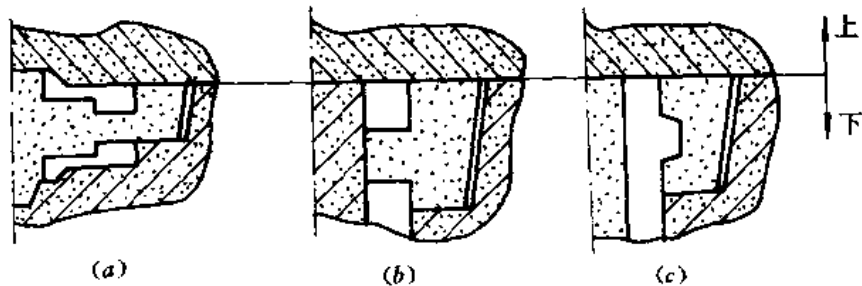



图 13-18 三种补砂芯头的示意图

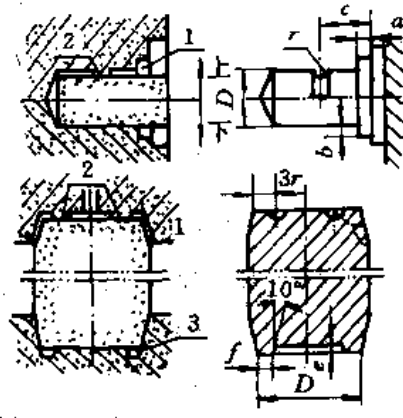
6. 芯座的附加机构

在大量生产、机器造型流水作业时,为了提高生产率和进一步保证铸件质量,一般在湿型的芯座上作出相应的附加结构(见表13-7中的图例),例如,为了防止合金液侵入芯座与芯头的间隙中,将芯头的通气孔道堵塞而增设的压紧环;为避免下芯和合箱时压坏芯座边缘产生掉砂,而增设了防压肩(环);为收集造型或下芯时落下的散砂,以免垫在芯头下造成砂芯位置偏

斜而增设的集砂沟等结构。芯座的附加结构见表 13-7。

表 13-7 压紧环、防压环和集砂沟的尺寸

模型芯头直径, $D(\text{mm})$	水平芯头 (mm)				垂直芯头 (mm)		
	a	b	c	r	e	f	r_1
30 ~ 50	5	0.5	15	1.5	1.5	3.0	1.5
50 ~ 100	5	1.0	15	2.0	2.0	3.0	2.0
100 ~ 200	8	1.5	20	3.0	3.0	4.0	3.0
200 ~ 400	10	1.5	25	5.0	4.0	5.0	5.0
> 400	12	2.0	40	5.0	5.0	6.0	6.0



注：图中 1—防压肩；2—压紧环；3—集砂沟。

复习思考题

1. 进行铸造工艺方案设计的依据是什么？铸造工艺方案设计的主要内容有哪些？
2. 选择铸造工艺方法时应考虑哪些方面？针对具体零件选择铸造工艺方法（零件由教师选定）。
3. 什么叫铸件浇注位置？如何确定铸件的浇注位置？
4. 分型面和分模面有何不同？如何选择分型面和分模面？应该如何表示？
5. 基准面是如何定义的？如何确定？如何表示？
6. 加工余量、工艺余量、工艺补正量各是如何定义的？如何表示？
7. 如何设计砂芯本体和芯头？芯头与铸型之间的间隙如何确定？
8. 对典型铸造工艺方案进行分析讨论，总结出规律来（典型铸造工艺方案由教师另定）。

第十四章 浇注系统设计

浇注系统是铸型中液态金属流入型腔的通道,通常由浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道等单元组成,如图 14-1 所示。

正确地设计浇注系统使液态金属平稳而又合理地充满型腔,对保证铸件质量起着很重要的作用。尤其在铝镁合金铸件生产中,正确设计浇注系统是提高铸件质量的关键之一。

对浇注系统的基本要求是:

(1) 应在一定的浇注时间内,保证充满铸型。保证铸件轮廓清晰,防止出现浇不足缺陷。

(2) 应能控制液体金属流入型腔的速度和方向,尽可能使金属液平稳流入型腔,防止发生冲击、飞溅和旋涡等不良现象,以免铸件产生氧化夹渣、气孔和砂眼等缺陷。

(3) 应能把混入金属液中的熔渣和气体挡在浇注系统里,防止产生夹渣和气孔缺陷。

(4) 应能控制铸件凝固时的温度分布,减少或消除铸件产生缩孔、缩松、裂纹和变形等缺陷。

(5) 浇注系统结构应力求简单,简化造型、减少清理工作量和液体金属的消耗。

上述要求是概括了铸件生产工艺而提出来的。但对于某一种结构形式的浇注系统而言,不一定能全部满足上述要求。所以,一定要在充分认识和掌握浇注系统的普遍规律的基础上,针对铸件的具体条件,分析生产工艺的主要矛盾和矛盾的主要方面,以设计出正确的浇注系统。

§ 14-1 液态金属在浇注系统和型腔中的流动情况

一、液态金属流动的水力学特性

目前,铸造生产中砂型占很大的比重,而液态金属在砂型中流动时呈现出如下的水力学特性:

(1) 粘性流体流动:水力学研究的对象通常是无粘性的理想流体,而液态金属则是有粘性的流体。液态金属的粘性与其成分有关,在流动过程中又随液态金属温度的降低而不断增大,当液态金属中出现晶体时,液体的粘度急剧增加,其流速和流态也会发生急剧变化,液态金属流动过程中若有氧化夹渣混入,液流的粘度还会进一步增加。

(2) 不稳定流动:在充型过程中由于液态金属温度不断降低,铸型温度不断增高,使两者之间的热交换呈不稳定状态。随着液流温度下降,粘度增加,流动阻力也随之增加;加之充型过程中液流的压头的增加和减少,液态金属的流速和流态也在不断地变化着,所以说液态金属在

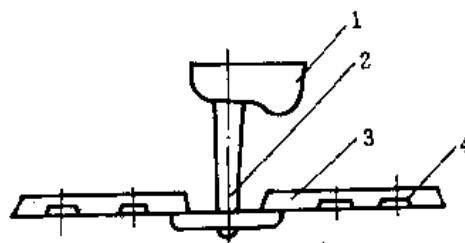


图 14-1 浇注系统的基本形式

1—浇口杯 2—直浇道

3—横浇道 4—内浇道

充填铸型过程中的流动是不稳定流动。

(3) 多孔管中流动:由于砂型具有一定的孔隙,可以把砂型中的浇注系统和型腔看作是多孔的管道和容器。液态金属在“多孔管”中流动时,往往不能很好地贴附于管壁,此时可能将外界气体卷入液流,形成气孔或引起金属液的氧化,形成氧化夹渣。

(4) 紊流流动:生产实践中的测试和计算证明,液态金属在浇注系统中流动时,其雷诺数 Re 大于临界雷诺数 $Re_{\text{临}}$,属于紊流流动。例如 ZL104 合金在 670°C 浇注时,液流在直径为 20 mm 的直浇道中以 50 cm/s 的速度流动时,其雷诺数为 25 000,远大于 2 300 的临界雷诺数。对一些水平浇注的薄壁铸件或厚大铸件的充型,液流上升速度很慢,也有可能得到层流流动。

由于铝合金和镁合金液易于氧化,加之氧化夹渣难以去除,为了防止氧化夹渣缺陷,人们对液流运动状态及其对铸件质量的影响进行了大量的研究。轻合金优质铸件浇注系统的研究表明,当 $Re < 20\,000$ 时,液流表面的氧化膜不会破碎,如果将雷诺数控制在 4 000~10 000 范围内,就可以符合生产铝合金和镁合金优质铸件的要求。有人通过水力模拟和铝合金铸件的实浇试验证明:允许的最大雷诺数,在直浇道内应不超过 10 000,横浇道内不超过 7 000,内浇道内不超过 1 100,型腔内不超过 280。

综合分析,液态金属的水力学特性与理想液体相比较,有明显的差别。但是实验研究和生产实践表明,由于液态金属浇注时有一定的过热度,加之浇注系统长度不大,充型时间很短,因此在浇注过程中浇道壁上不发生结晶现象,其粘度变化对流动影响并不显著。所以对液态金属的充型过程和浇注系统的设计可以用水力学的基本公式进行分析和计算。

二、液态金属在浇口杯中的流动情况

浇口杯的作用是:承接来自浇包的金属液,防止金属液飞溅和溢出,便于浇注;减轻液流对型腔的冲击;分离渣滓和气泡,阻止其进入型腔;增加充型压力头。只有浇口杯的结构正确,配合恰当的浇注操作,才能实现上述功能。

浇口杯按结构形状可分为漏斗形和池形两大类(图 14-2)。漏斗形浇口杯结构简单,挡渣作用差,由于金属液易产生绕垂直轴旋转的涡流,易于卷入气体和熔渣,因此这种浇口杯仅适用于对挡渣要求不高的砂型铸造及金属型铸造的小型铸件。池形浇口杯效果较好,底部设置凸起有利于浇注操作,使金属液的浇注速度达到适宜的大小后再流入直浇道。这样浇口杯内液体深度大,可阻止绕垂直轴旋转的水平旋涡的形成,从而有利于分离渣滓和气泡。

浇口杯内出现水平旋涡会带入渣滓和气体因而应注意防止。当合金液从各个方向流入直浇道时,各向流量不均衡,某一流股的流向偏离直浇道中心,就会形成水平涡流,如图 14-3 所示。如忽略金属粘度的影响,视液态金属为理想流体,浇口杯内旋转的液态金属应满足动量矩守恒原理,于是有

$$Mvr = \text{常量} \quad (14-1)$$

式中: M ——距直浇道中心为 r 处的质点的质量;

v —— M 点的切线速度;

r —— M 点距直浇道中心的距离。

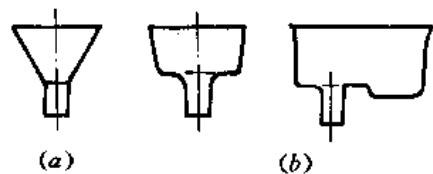
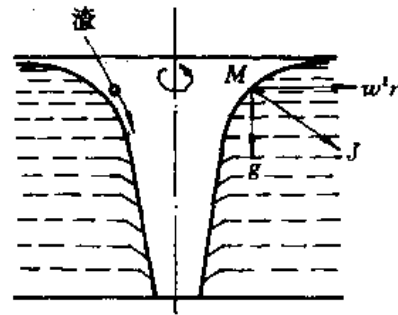


图 14-2 浇口杯的类型
(a) 漏斗形浇口杯 (b) 池形浇口杯

由上式可知,一旦出現水平旋渦,距直澆道中心愈近,金屬質點的切線速度愈高,這樣使 M 點的離心加速度 ($\omega^2 r = \frac{v^2}{r}$) 也愈高。重力加速度和離心加速度的合成加速度 J 的方向,越靠直澆道中心時就愈接近水平。液體的等壓面和總加速度方向相垂直,因而,向直澆道中心靠近,等壓面由水平逐步過渡為垂直,因此形成漏斗形中空的大氣壓力表面。這樣一來,浮在液面上的渣滓會沿着彎曲的液面,一面旋轉,一面和空氣一同進入直澆道。



水力模擬試驗表明,影響澆口杯內水平旋渦的主要因素是澆口杯內液面的深度,其次是澆注高度,澆注方向及澆口杯的結構等。

澆口杯內合金液面深度和澆注高度的影響如圖 14-4 所示。液面深度大時不易出現水平旋渦,如圖 14-4(a)。液面淺時易出現水平旋渦,如圖中(b)。澆包嘴距澆口杯越高,水平旋渦越易於產生如圖(c)所示。液面淺和澆注高度大時,偏離直澆道中心的水平流速較高,因而易出現水平旋渦。

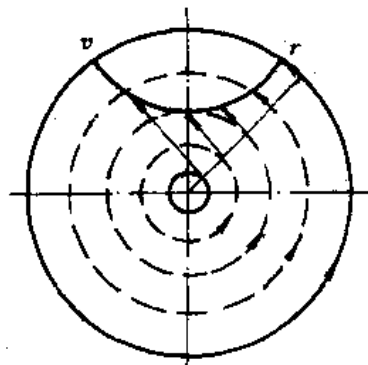


圖 14-3 澆口杯中的水平旋渦

為了減輕和消除水平旋渦,為了使合金液流動平穩和防止最初澆入的合金液還來不及使熔渣浮起就進入直澆道,對於重要的中、大型铸件,常用帶澆口塞的澆口杯(圖 14-5)。先用澆口塞堵住澆口杯的流出口,然後進行澆注,當澆口杯被充填到一定高度熔渣已浮起時,才拔起澆口塞,使合金液開始流入直澆道。澆口塞可用耐火材料或鋼鐵金属材料製成,其結構應能保證拔起澆口塞時不產生渦流。有時也用一金屬薄片(其厚度通過試驗確定)蓋住澆口杯的流出口,以代替澆口塞,當澆口杯被充填到一定高度時,金屬薄片受熱熔化,澆口杯的流出口就被打開。這種方法不如採用澆口塞操作簡便。

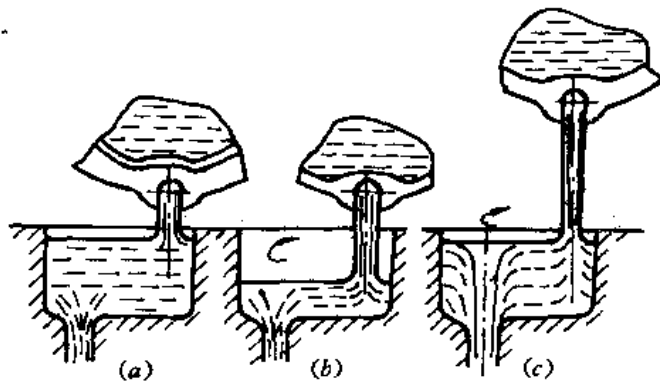


圖 14-4 液面深度和澆注高度的影響

為了有利於熔渣上浮到液面,澆口杯應有一定的高度,並將澆口杯與直澆道相連的邊緣作成凸起狀(圖 14-5)以促使澆口杯中液流形成垂直旋渦。垂直旋渦能促使熔渣和氣泡浮至液體表面,對擋渣和分離沖入的氣泡有利。

此外,在澆口杯中設置堤壩,降低澆注高度等工藝措施,都可減少或消除水平旋渦,並促使形成垂直旋渦。澆口杯的流出口應作出圓角,以避免液流引起沖砂,並有利於消除液流離壁和吸入氣體的現象。

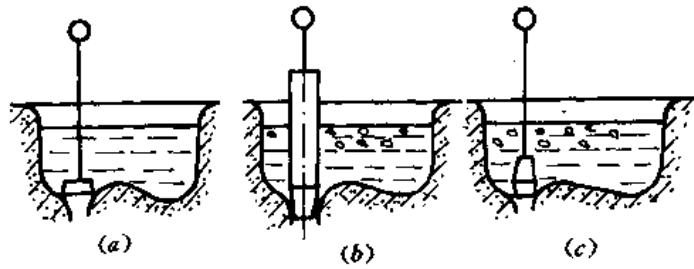


图 14-5 不同形式的浇口塞的示意图
(a) 不正确的结构 (b) 和 (c) 正确的结构

三、液态金属在直浇道中的流动情况

直浇道的功用是：从浇口杯引导金属向下进入横浇道、内浇道或直接导入型腔。

对只有浇口杯和直浇道组成的浇注系统进行理论分析和水力模拟试验均证明，当直浇道上口为尖角时，液流流过等截面的直浇道时，会出现液流离壁现象且有一定的真空度存在，透过壁上的小孔向液流内吸入空气。这些气体有可能带入型腔，使铸件产生气孔缺陷。这种“真空吸气理论”对于不透气壁的浇注系统模型是符合的，而对于实际砂型浇注金属的条件则不完全相符。

对液态金属在砂型直浇道中的流动状态进行模拟试验和摄影观察研究得出结论：液态金属在直浇道中存在两种流态，即充满式流动和非充满式流动。在等截面的圆柱形和上小下大的倒锥形直浇道中液流呈非充满状态。在非充满的直浇道中，流股自上而下呈渐缩形，流股表面压力接近大气压力，微呈正压。流股表面会带动表层气体向下运动，并能冲入型内上升的金属液内。而在上大下小的锥形直浇道中液流呈充满状态，无负压和吸气现象。直浇道入口形状对液流流态影响较大，当入口为尖角时，增加了流动阻力和断面收缩率，常导致非充满式流动。要使直浇道呈充满状态，要求入口处圆角半径 $r \geq d/4$ (d 为直浇道上口直径)。

在实际生产中，直浇道总是作成上大下小的圆锥形，并且在直浇道及其它阻元中都存在着各种局部阻力（如采用多片状或蛇形直浇道、过滤网、横浇道、内浇道等），因此，只要合理地选择浇注系统结构形式，是不会出现液流离壁和负压的现象。

轻合金砂型铸造中，常用的直浇道结构形式如图 14-6 所示。图中 (a) 所示的直浇道具有制造方便（包括制造模具、造型）和表面积小（散热少）等优点，所以应用很广。为了防止在直浇道中产生负压和便于取模，直浇道应作成上大下小的锥形（锥度为 $2^\circ \sim 3^\circ$ ）。

对于极易氧化的镁合金，为了增加水力学阻力，降低流速，缓和紊流程度，常采用蛇形和片状直浇道（图 14-6 (b)、(c)），尤其以后者应用更为广泛，只有高度不大的小铸件，才采用圆形截面的直浇道。有人认为，对于较大的铝铸件，只要横浇道挡渣作用好，仍可使用圆锥形直浇道，但其直径最好不大于 20 mm。当直浇道高度和断面积大时，为减少和防止液体金属的冲击、飞溅和氧化，可采用多个小断面的或阶梯式的直浇道（图 14-6 (c)、(d)）。在镁合金铸造中，也可增加蛇形浇道的曲折数。

一般在直浇道的底部设有浇口窝或缓冲槽，以改善金属液的流动状况。浇口窝的作用有：

(1) 缓冲作用：液流下落的动能有相当大的一部分被窝内液体吸收而转变为压力能，再由压力能转化为水平速度流向横浇道，从而减轻了对直浇道底部铸型的冲刷。

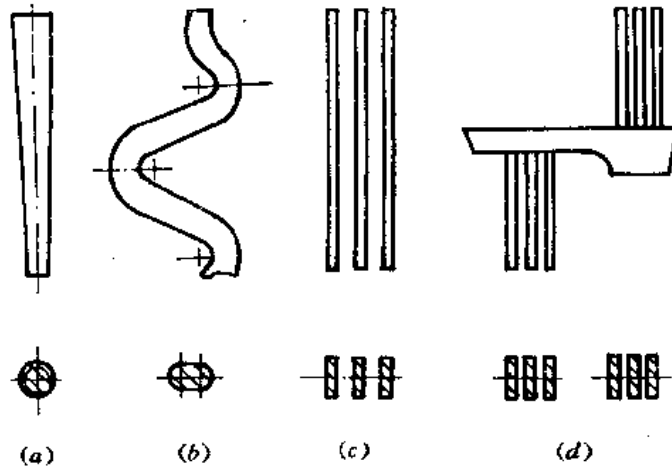


图 14-6 砂型铸造用直浇道型式及其常用断面形状
(a) 圆柱形 (b) 蛇形 (c) 片状形 (d) 阶梯形

(2) 缩短直-横拐弯处的高度紊流区; 浇口窝可减轻液流进入横浇道的孔口压缩现象, 缩短高速紊流区(过渡区)。这样也改善了横浇道内的压力分布, 见图 14-7, 速度高的地方压力低, 压力分布的特性说明过渡区的存在。这对减轻金属氧化、阻渣和减少卷入气体都有利。当内浇道距直浇道较近时, 应采用浇口窝。

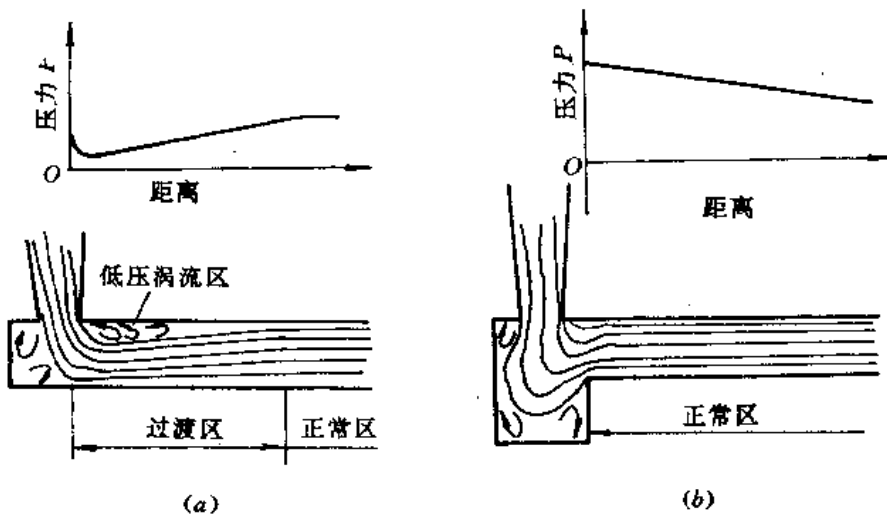


图 14-7 浇口窝对液流的影响

(a) 无浇口窝 (b) 有浇口窝

试验条件: $F_{直} : F_{横} : F_{内} = 1 : 2.5 : 2.5$

(3) 改善内浇道的流量分布, 设置浇口窝, 有利于内浇道流量分布的均匀化, 例如在 $F_{直} : F_{横} : F_{内} = 1 : 2.5 : 5$ 的试验条件下, 无浇口窝时, 两相等断面的内浇道的流量分配为 31.5% (近直浇道者) 和 68.5% (远者); 而有直浇道窝时流量分配为 40.5% (近者) 和 59.5% (远者)。

(4) 减少直-横浇道拐弯处的局部阻力系数和水头损失。

浇口窝的形状、大小应适宜。直浇道底部浇口窝的直径为横浇道宽度的 1.5 倍, 深度为横

浇道高度的 1.5 倍时,就可减少合金液对砂型的冲击。有人认为浇口窝做成图 14-8 所示的形状则缓冲作用更好。

四、液态金属在横浇道中的流动情况

横浇道是浇注系统的重要单元。它的功用主要有稳流、分配液流和挡渣三个方面。

(一) 液流在横浇道中的流动情况

横浇道是直浇道与内浇道之间的一个中间浇道、液体金属在横浇道中的流动情况与这三个浇道的断面积之比有较密切的关系。当直浇道断面积大于横浇道断面积,而横浇道断面积又大于内浇道断面积(即收缩式浇注系统)时,从直浇道下落的液流可立即把横浇道充满。相反对于铝镁合金铸造常用的扩张式浇注系统,横浇道并不立即被充满,而是随着型腔中合金液面的升高而逐渐地被充满。

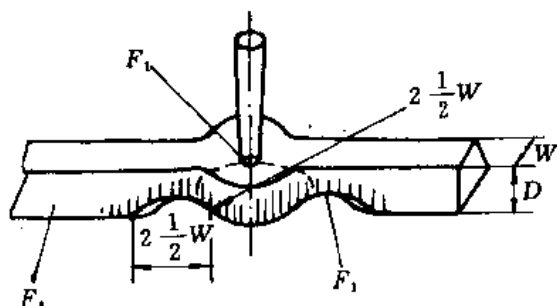


图 14-8 直浇道底部结构简图

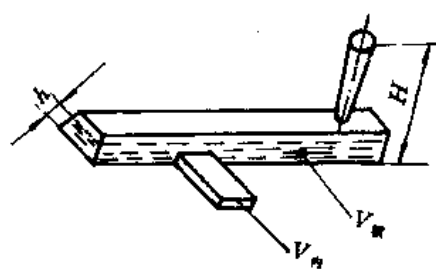


图 14-9 扩张式浇注系统中液流在横浇道中的流动情况

液流从直浇道落下时,速度大、不平稳,而经过浇口窝进入横浇道时,液流会趋于平稳。对于常用的扩张式浇注系统,液流进入横浇道时,起初以较高的速度沿着它的长度方向往前流动,直至横浇道末端,液流动能变为位能,在横浇道末端处附近合金液面升高,形成金属浪并开始返回流动,当与从直浇道流出的液流相遇后,横浇道中的整个长度上液面就同时上升,直到充满为止。

当横浇道内液面上升到一定高度 h 时,其压头已足以克服合金液的表面张力和液流向内浇道转弯所遇到的局部阻力时,合金液就进入内浇道(图 14-9)。内浇道中的液流流速 V_2 ,在横浇道未充满时,取决于横浇道中的液面高度 h ,在横浇道充满后, V_2 将取决于从浇口杯中液面算起的压力头 H 的大小(还与型腔中液面的高度有关)。显然由于 h 值远小于 H 值,所以可把合金液进入型腔的初速控制在较小的范围内,这对轻合金铸件为防止内浇道出口处产生液流飞溅或冲击型壁现象,从而避免氧化夹杂和气孔缺陷是很有意义的。所以铝镁合金铸件均选用扩张式浇注系统。

(二) 横浇道的流量分配作用

液流充满横浇道的同时,即由横浇道分配给各个内浇道。同一横浇道上有多个等断面的内浇道时,各内浇道的流量不等。一般条件下远离直浇道的流量大,近直浇道的流量小。各内浇道的流量主要取决于合金液柱的高度、横浇道的长度、内浇道在横浇道上的位置以及各浇道断面积之比。当合金液柱高,横浇道不十分长时,从直浇道流入横浇道的合金液,大部分流入距直浇道较远的内浇道。如果直浇道高度不大,横浇道很长,则大部分液流将通过某几个处于中间位

置或靠近直浇道的内浇道。这种流量不均匀现象、还与横浇道与内浇道断面积之比有关。一般情况下，浇道截面扩张程度越大，则流量不均匀现象越明显。

内浇道流量的不均匀性 U 可用式(14-2)表示

$$U = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{Q/n} \quad (14-2)$$

- 式中： q_{\max} ——内浇道中最大流量；
 q_{\min} ——内浇道中最小流量；
 Q ——所有内浇道上的总流量；
 n ——横浇道上连接的内浇道个数。

流量不均匀性与浇口比、内浇道与横浇道的配置关系、整个浇注系统的结构等因素有关(见图14-10)。

内浇道流量不均匀现象对铸件质量有显著影响。对大型复杂铸件和薄壁铸件易出现浇不足和冷隔缺陷；在流量大的内浇道附近会引起局部过热、破坏原来所预计的铸件凝固次序，使铸件产生氧化、缩松、缩孔和裂纹等缺陷。为了克服内浇道流量不均匀带来的弊病，通常采用如下方法：尽可能将内浇道设置在横浇道的对称位置；将横浇道断面设计成顺着液流方向逐渐缩小形式(图14-10中之2)；采用不同断面内浇道，缩小远离直浇道的内浇道断面积；设置浇口窝等。

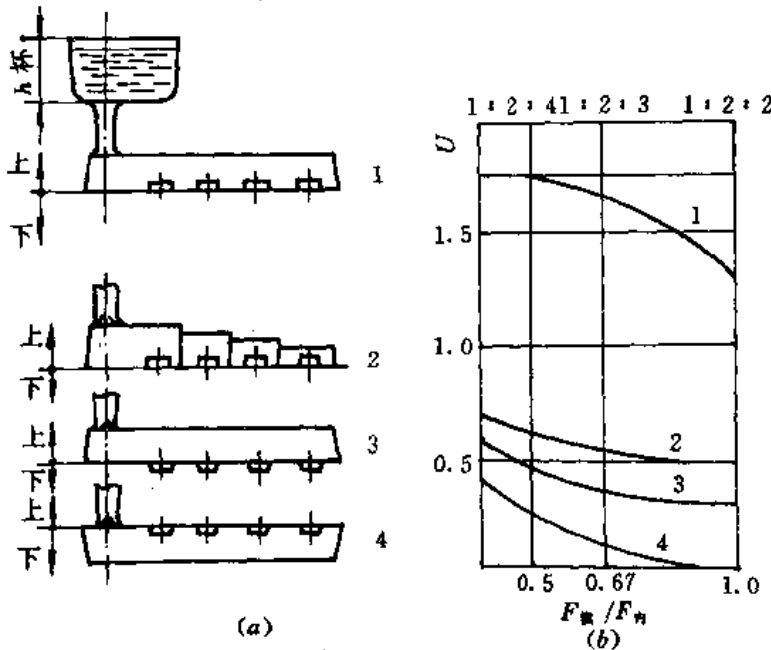


图14-10 浇注系统结构形式对流量不均匀性的影响
 (a) 浇注系统结构形式(1、2、3、4) (b) 流量不均匀性(1、2、3、4)

(三) 横浇道的挡渣作用

1. 横浇道的挡渣原理

横浇道是浇注系统的主要挡渣单元。其挡渣作用与熔渣特性、横浇道本身结构、各浇道的相互配置关系有关。

铸造合金种类甚多，熔渣特性也有不同，但从其密度来看：黑色金属铸造中熔渣或混入的石英砂等的密度都大大地低于合金液的密度，而铝、镁合金在熔炼和浇注时所形成的夹杂物就

较为复杂。如铝合金在熔炼中形成的致密氧化物(Al_2O_3)的密度大于液体金属(沉于坩埚底部);表面吸附有气体或熔剂的比较不致密的氧化物密度与合金液相近(悬浮在合金液中);吸附大量气体和熔剂的疏松氧化物的密度小于合金液的密度(可上浮到合金液面);镁合金在熔炼和浇注时所产生的氧化物和熔剂夹杂物的密度都大于合金液的密度。

熔渣特性不同,挡渣的原理和措施也不同。对于密度小于合金液的夹杂物一般采用重力分离的措施,而对于密度大于合金液的夹杂物,则在浇注系统中采用过滤挡渣的方法(如镁合金铸造)。铝合金的熔渣有大有小,所以在横浇道设计中需要综合采用以上两种挡渣措施。

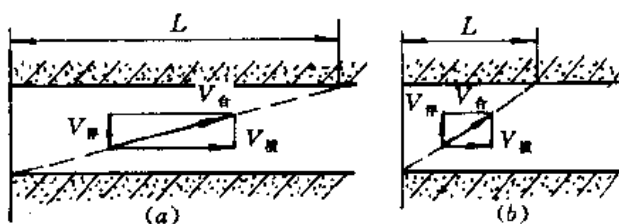


图 14-11 横浇道挡渣原理图

在横浇道中采用重力分离以除渣的原理如图 14-11。随合金液进入横浇道的杂质,其运动受两个速度的作用,即随液流向前运动的速度 $v_{液}$ 和由于密度差引起的上浮(或下沉)速度 $v_{浮}$,最后杂质以两者的合速度 $v_{合}$ 向前上方的方向运动。横浇道的挡渣设计,则应使杂质在合金液流入内浇道之前就上浮到合金液的表面。

夹杂在粘性流体中上浮时,开始为变加速运动,上浮速度很快达到极限值,称为临界上浮速度。把渣团视为球形,可得出临界上浮速度 $v_{浮临}$ 为

$$v_{浮临} = \sqrt{\frac{8g}{3c} \left(\frac{\rho - \rho_{渣}}{\rho} \right) R} \quad (14-3)$$

式中: R —— 渣团半径;

c —— 渣团上浮的阻力系数。

ρ —— 金属液密度;

$\rho_{渣}$ —— 渣团密度;

g —— 重力加速度;

$v_{浮临}$ —— 渣团临界上浮速度,又称为悬浮速度。

式(14-3)给出了渣团半径 R 和临界上浮速度 $v_{浮临}$ 的关系。如果金属液从上向下作垂直运动其速度也等于 $v_{浮临}$,则可想象半径为 R 的渣团将处在一定水平位置上呈悬浮状态,这时金属液的流速称为悬浮速度。显然,渣团的临界上浮速度和金属液的悬浮速度在数值上相等。应当指出,以上的悬浮速度是用金属液向下运动(例如直浇道内金属液的运动)的实例导出的,而在横浇道内渣团的上浮方向和金属液的运动方向相垂直,这时渣团的悬浮问题要复杂得多,但在横浇道中同样存在着悬浮问题。

从图 14-11 和式(14-3)分析可知,影响横浇道挡渣的主要因素有:

(1) 杂质与合金液的密度差,密度差越大,渣子越易上浮除去。

(2) 渣团半径 R 的大小, R 越大,渣子上浮速度越大,越易除去。

(3) 合金液在横浇道中的流动速度 $v_{液}$, $v_{横}$ 越大,液流在横浇道中的紊流程度越大,杂质上浮所遇到的干扰越大。当 $v_{液}$ 达到一定程度时,杂质就浮不上来,而始终悬浮在液流中,此时的 $v_{液}$ 临界速度称为悬浮速度。

(4) 合金液的粘度,粘度越大,则渣团上浮越慢,越难除去夹杂。

2. 强化横浇道挡渣作用的工艺措施

(1) 降低合金液在横浇道的流动速度。为此,在实际生产中常采用增加横浇道的水力学阻力的措施,例如采用搭接式横浇道或双重横浇道(图 14-12)。采用扩张式浇注系统、增大横浇道的截面积也有利于降低 $v_{横}$ 。

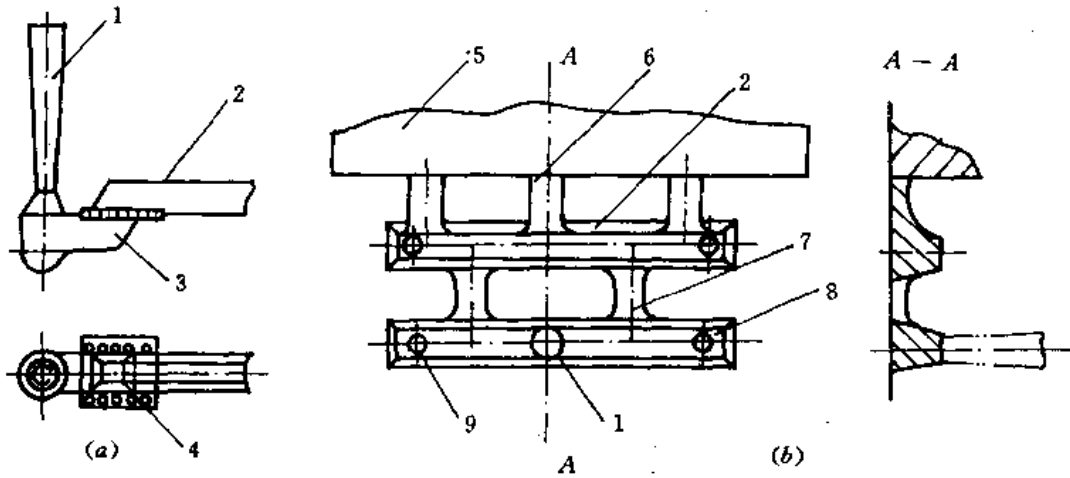


图 14-12 搭接(a)和双重(b)横浇道

1—直浇道 2—横浇道 3—缓冲槽 4—过滤网 5—铸件
6—内浇道 7—过渡内浇道 8—过渡横浇道 9—出气孔

(2) 横浇道应呈充满状态,这样有利于使渣团上浮到横浇道顶部而不进入内浇道。减小浇注系统的扩张程度,采用底注式浇注系统等措施均有利于使横浇道呈充满状态。

(3) 内浇道的位置关系要正确。内浇道距直浇道应有一定距离,使渣团能浮上横浇道顶部而不进入内浇道。内浇道不能设于横浇道末端,即横浇道末端应有一定的延长段,以容纳最初进入横浇道的低温、含气及有夹杂的金属液,为防止聚集在横浇道末端的夹杂回游,还可在末端设置集渣包。

(4) 在横浇道上设置过滤网以滤除渣团,如图 14-12(a) 所示。过滤网的设置详见后面过滤装置部分。

(5) 在横浇道上设置集渣槽是常用的除渣措施,在铝、镁合金铸造中一般采用图 14-13 所示的带集渣槽的浇注系统。而在铸铁件生产中则常用带有离心集渣包的浇注系统。金属流入集渣包因断面积突然增大,流速降低并在集渣包内产生旋涡,使密度较小的渣团向旋涡中心集中并浮起。

(四) 内浇道的“吸动”作用

当横浇道中的液体金属达到一定高度时,在内浇道附近的液流除了有一个沿横浇道向前速度外,还有一个向内浇道流动的速度 $V_{内}$,而 $V_{内}$ 又会影响到内浇道附近的横浇道中液流的运动,即将该处的液流“吸入”内浇道(图 14-14),此种现象称为“吸动”作用。吸动作用区超过了内浇

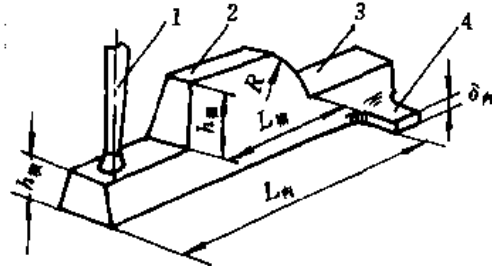


图 14-13 带有集渣槽的浇注系统

1—直浇道 2—集渣槽
3—横浇道 4—内浇道

道的断面范围,它随内浇道中液流速度的增加而扩大。吸动作用区越大,横浇道越难挡渣,在生产中常采用较高的横浇道和较低的内浇道,有利于减小吸动作用区,有利于提高横浇道的挡渣作用。

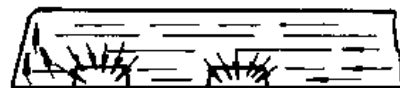


图 14-14 内浇道吸动作用的示意图

(五) 横浇道的结构形状

横浇道的断面形状,可有圆形、半圆形、梯形等多种形式。以圆形的热损失最小和流动最平稳,但造型工艺较复杂。为了使直浇道与横浇道和内浇道连接方便和造型工艺简单,一般都采用高度大于宽度(高度/宽度 = 1.2 ~ 1.5)的梯形断面的横浇道。

五、液态金属在内浇道中的流动情况

内浇道是浇注系统中把液体金属引入型腔的一个单元。其功用是控制充型速度和方向,分配液态金属,调节铸件各部位的温度分布和凝固次序,并对铸件有一定的补缩作用。

(一) 内浇道与横浇道的相互位置

内浇道和横浇道的相对位置设置的是否正确,对浇注系统的稳流和挡渣作用影响极大,确定时应考虑以下几点:

(1) 第一个内浇道不要离直浇道太近,最后一个内浇道距直浇道末端要有一定距离。

(2) 内浇道一般应置于横浇道的中部(中置式),其底面与横浇道的底面相平,如图 14-15(a) 所示。有人建议,对扩张式浇注系统,为了使开始浇注时合金液中的杂质能流到横浇道的末端而不立即进入内浇道,内浇道的底面应比横浇道高出 4 ~ 6 mm(图 14-15(b)),但这种设置造型工艺较麻烦。中

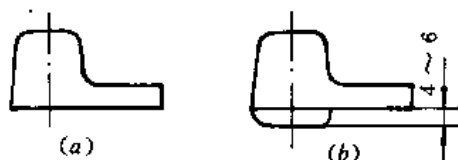


图 14-15 内浇道的配置情况

置式是目前应用得最多的。对镁合金铸造采用扩张式浇注系统时,采用上置式比较好,即如图 14-16 所示,把内浇道设置在横浇道上部,这样横浇道中可以挡住密度大于合金液的杂质,横浇道易于充满,在轻合金金属型铸造中,这种形式应用较多。在铸铁件生产中,也有将内浇道置于横浇道下部的情况(下置式),这种型式,挡渣作用很差,在轻合金铸造中很少应用。

(二) 内浇道与铸件的位置

确定内浇道的位置的一个很重要的方面是将内浇口设于铸件的何处,即选择液体金属合适的导入位置,以保证合金液合理地充满型腔和正确地控制铸件的凝固过程,从而获得合格、优质的铸件。

液体金属的导入位置是控制铸件凝固顺序的一个重要措施。如果铸件高度不大而水平尺寸较大时,导入位置一般应保证铸件横向的顺序凝固、内浇道设于铸件厚处,使合金液从厚处导入。如果铸件壁厚较大而又均匀时,为了保证铸件整体的同时凝固和避免浇不足,合金液应从铸件四周通过较多内浇道均匀地导入,在铸件各区域的最后凝固处设置冒口,以便补缩。如果铸件具有一定高度时,则应首先保证铸件自下而上的顺序凝固,水平方向上同时凝固,导入位置应尽可能使水平方向的温度分布均匀,通常把内浇道均匀地设置在铸件的薄壁处,在厚壁部分加置冷铁。在不破坏铸件顺序凝固的前提下,内浇道数量宜多些,并分散均匀布置,以避免导入位置附近的铸件和铸型表层产生局部过热。

在确定内浇道位置时,除考虑铸件凝固顺序这个重要问题外,还必须注意以下几个问题:

(1) 液流不要正对着冲击细小砂芯和型壁,以避免因飞溅、涡流等使铸件产生氧化夹渣、气孔和夹砂等缺陷。导入位置应选择沿着型壁方向较好。

(2) 应仔细分析液流在型腔中的流动情况,避免发生溢流、喷射等现象。

(3) 对于大型复杂的薄壁铸件的浇不足问题,应予以足够重视。

(4) 内浇道不要开设在铸件机加工基准面上,以避免因浇道切割残留量而影响铸件的夹持和定位。

(5) 内浇道的位置最好选择在铸件平面或凸出部位上,不要妨碍铸件浇冒口的切割、打磨修整等工序。

(三) 内浇道的结构形状

内浇道的形状多为扁矩形,其宽度和厚度的比例应按铸件壁厚和所要求的凝固形式而定,如果内浇道设置在铸件先凝固的部位,其宽度与厚度之比应选大些(对铝、镁合金此比例应大于6),若设置在铸件的后凝固处,则其宽厚比宜选小些(对铝镁合金此比例应小于4)。

内浇道的厚度一般为合金液导入处铸件壁厚的50%~100%。对某些铸件的局部厚大部分,需要内浇道直接起补缩作用时,则内浇道的断面形状和宽厚比不受上述的限制、应按连接处的铸件形状和壁厚等具体情况来选定。

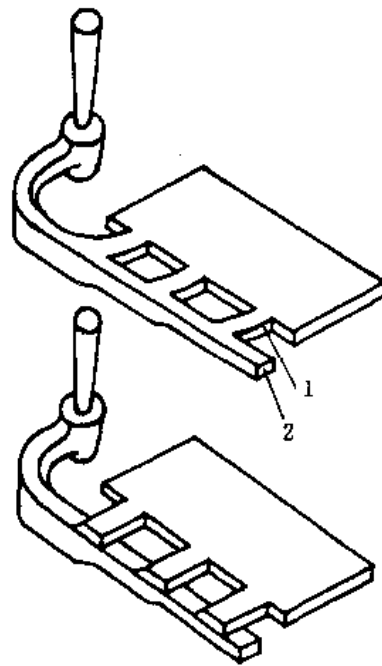


图 14-16 内浇道置于横浇道上部的情况
1—内浇道 2—横浇道

六 液态金属通过过滤装置的流动情况

近年来,在浇注系统中特别是铝镁合金铸件浇注系统中广泛使用过滤装置以滤除金属液中的渣团。在浇注系统中常用的过滤方法有:

(一) 过滤网过滤

铝、镁合金铸造生产中常使用的过滤网是用厚度为0.2~0.5 mm的钢板冲制而成的。近几年来,国内外普遍使用耐热纤维织成的过滤网布,(网眼尺寸为 1.8×1.8 mm或 2×2 mm),用数层叠放在横浇道的搭接面上。在浇注系统中放置过滤网后可将大部分杂质阻留于过滤网前。同时由于液流通过网孔时遇到过滤网的阻力和断面突然扩大,使流动速度降低,也有利于使一部分已挤过网孔的气泡和杂质上浮,而阻留于过滤网背后的浇道中(图14-17)。

过滤网的放置对挡渣效果影响很大,一般过滤网有如图14-18所示的几种放置位置。将过滤网放于直浇道底部(如图14-18(a)),虽可滤去金属液中夹杂物,但由于金属液的下落速度很大将引起冲击、涡流、氧化和吸气现象,在铸件内易生成二次氧化夹杂,所以在铝、镁合金砂型铸造中应用较少。如图14-18(b)、(c)所示的将过滤网平放在搭接面上,既有很好的挡渣作用,操作工艺也比较方便,所以应用较多。将过滤网斜插入横浇道中,挡渣作用也比较好,但操作时易掉入砂子,必须予以注意。

为了避免减少浇道的有效截面积,安置过滤网处的浇道应局部放大。浇道截面积局部放大程度,可用下式计算:

$$F_r = \frac{F_m}{a \cdot b} \quad (14-4)$$

式中： F_r —— 浇道扩大部分的截面积；

F_m —— 浇道原来的截面积；

a —— 过滤网的孔洞率；

b —— 过滤网的通过效率，孔小而密的过滤网， $b = 90\%$ ，孔大而稀的过滤网 $b = 80\%$ 。

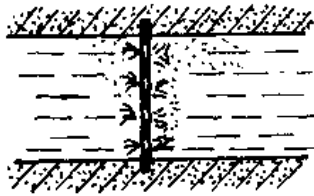


图 14-17 过滤网作用的示意图

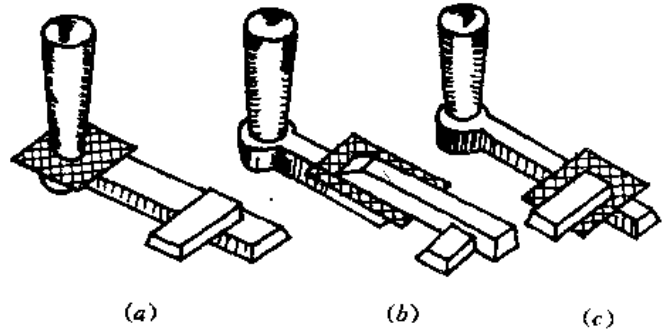


图 14-18 过滤网使用位置图

(二) 过滤片过滤

过滤网仅能滤除大于网眼尺寸的杂质，而对于大量存在于金属液中的小于网眼尺寸的杂质则无能为力。国内外近年来采用泡沫陶瓷过滤片滤除合金液中的杂质。有资料介绍，采用泡沫陶瓷过滤的方法对滤除非金属夹杂物效果很好，当采用细孔泡沫陶瓷时，甚至可以滤除 $1 \mu\text{m}$ 的夹杂物。过滤片孔隙尺寸越小，厚度越大，过滤压力越小，效果就越明显。经过滤后的合金力学性能大大提高，对 $\text{Al}-4.5\% \text{Cu}$ 合金进行试验证明，使用不同的过滤片时，拉伸强度可提高 $17.2 \sim 14.1\%$ ，屈服强度可提高 $4.2 \sim 13.5\%$ ，延伸率可提高 $32.4 \sim 104.0\%$ 。

泡沫陶瓷过滤片适用于多种铸造方法，如砂型铸造、金属型铸造和低压铸造等。过滤片可安放在浇注系统中的各个部位。图 14-19 是过滤片在浇注系统中通常放置的两种方式。

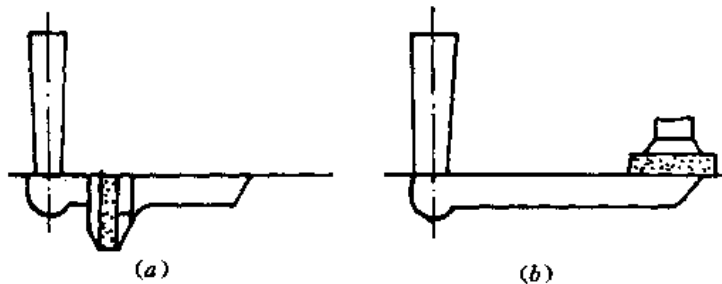


图 14-19 泡沫陶瓷过滤片在浇注系统中的放置位置

金属液流经过滤片时，增加了局部阻力。为了保证一定的充型速度，应将放置过滤片处的截面积扩大 $4 \sim 13$ 倍或增加直浇道的高度以提高静压头。在浇注直浇道已很高的大型铸件时，可不必再提高静压头高度。

(三) 钢丝棉过滤

我国不少工厂采用钢丝棉(絮棉状的细铁丝)过滤铝、镁合金金属液，将钢丝棉置于直浇道下部的缓冲槽中，对金属液具有良好的缓流和档渣作用。但在实际使用中要防止由于钢丝棉

吸潮、生锈所引起的不良影响。

§ 14-2 浇注系统的类型及应用范围

浇注系统类型的选择对铸件质量的影响很大,它将影响到液体金属充填铸件型腔的优劣和铸件凝固时的温度分布情况。浇注系统类型的选择是正确设计浇注系统必须解决的重要问题之一。它与铸件的合金成分、结构、大小、技术要求和生产条件等因素有关。

一、按金属液导入铸件型腔的位置分类

(一) 顶注式(又称上注式)浇注系统

以浇注位置为准,金属液从铸件型腔顶部导入的浇注系统称为顶注式浇注系统。这种浇注系统的特点是:

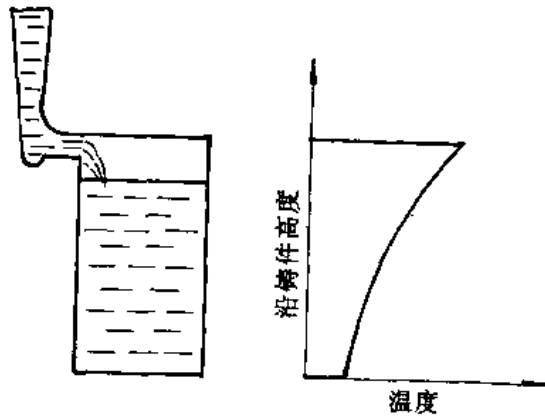


图 14-20 顶注式浇注系统沿铸件高度温度分布的示意图

(1) 液态金属从铸型型腔顶部引入,在铸件浇注和凝固过程中,铸件上部的温度高于下部(如图 14-20),有利于铸件自下而上顺序凝固,能够有效地发挥顶部冒口的补缩作用。

(2) 在液态金属的整个充型阶段始终有一个不变压头,液流流量大,充型时间短,充型能力强。

(3) 造型工艺简单,模具制造方便,浇注系统和冒口消耗金属少,浇注系统切割清理容易。

顶注式浇注系统最大的缺点是液体金属进入型腔后,从高处落下,对铸型冲击大,还容易导致液态金属的飞溅、氧化和卷入气体,形成氧化夹渣和气孔缺陷。

铝合金和镁合金铸件在使用顶注式浇注系统时必须考虑液流在型腔内下落高度不能太大。对于质量要求高的航空航天产品铸件,顶注式浇注系统一般只适用于形状简单、高度小于 80 mm 的铝合金小型铸件和高度小于 40 mm 的镁合金小型铸件。

对一些结构简单、壁厚均匀的小型铸件在采用金属型铸造时,为了开型方便和简化模具制作,常使用简单的顶注式浇注系统(图 14-21)。液态金属直接从既是冒口又是直浇道的铸件顶部引入。虽然液态金属在型腔内流动不平稳,但由于铸件高度小,壁厚均匀,即使产生氧化夹渣也易于上浮至冒口中,故在小型铝合金铸件中得到广泛应用。

用砂型生产小型铝合金和镁合金铸件时,有时也采用比较完善的顶注式浇注系统(图 14-

22)。这种浇注系统一般都设有浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道,液态金属在浇注系统中的流动比较平稳,并有条件采用各种挡渣措施。

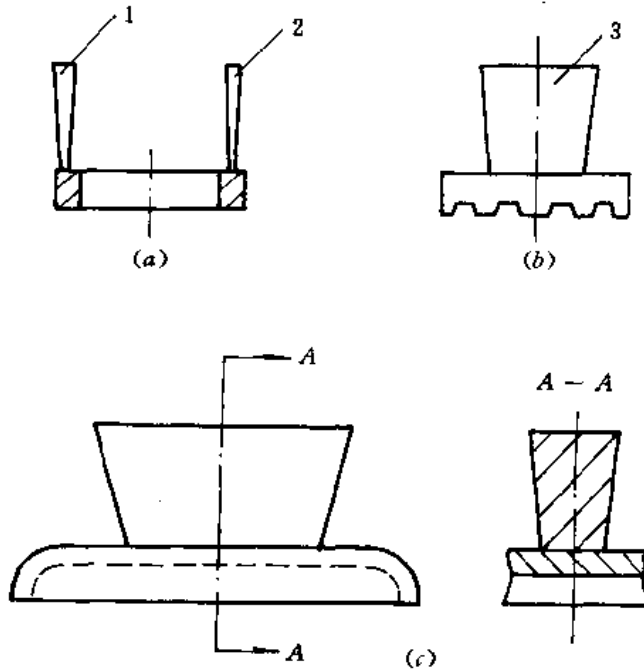


图 14-21 简单的顶注式浇注系统
1—直浇道 2—出气孔 3—冒口

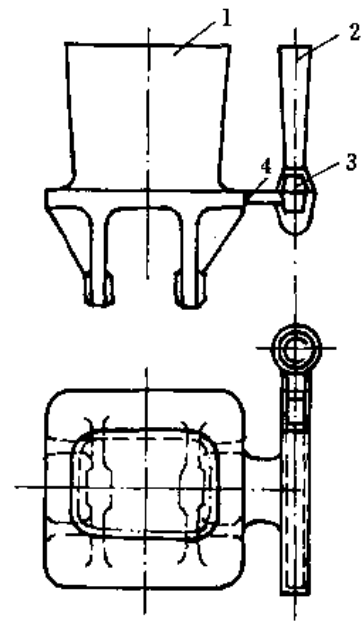


图 14-22 较完善的顶注式浇注系统
1—冒口 2—直浇道
3—横浇道 4—内浇道

在铸件生产中常使用的雨淋式浇注系统和压边浇口(图 14-23)也属于顶注式浇注系统。雨淋式浇注系统易加剧合金液氧化,在轻合金铸造中不宜采用。压边浇口在浇注时浇口能迅速地被充满并保持一定的液面高度,有利于熔渣上浮;边浇注边补缩,提高了补缩效率。这种浇口结构简单,便于铸件清理,主要应用于中小件,特别是厚实的和形状简单的铸件。对于航空轻合金铸件,不宜采用压边浇口(常造成氧化夹渣、气孔、流痕和过烧等缺陷),只有在铸造质量要求不高的铝合金工艺装备零件和民用小铸件时才可应用。

(二) 底注式(下注式)浇注系统

内浇道设在铸件底部的称为底注式浇注系统。这种浇注系统的优点是:

(1) 合金液从下部充填型腔,流动平稳,不易产生冲击、飞溅、氧化和卷入气体,便于排除型腔中的气体。

(2) 无论浇道比多么大,横浇道基本工作在充满状态,有利于挡渣。

这种浇注系统的缺点是:

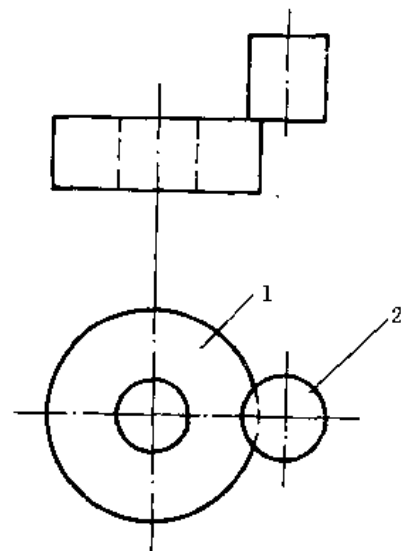


图 14-23 压边浇口
1—铸件 2—压边浇口

(1) 充型后铸件的温度分布不利于自下而上的顺序凝固,削弱了顶部冒口的补缩作用(图 14-24)。

(2) 铸件底部尤其是内浇道附近容易过热,使铸件产生缩松、缩孔、晶粒粗大等缺陷。

(3) 充型能力较差,对大型薄壁铸件容易产生冷隔和浇不足的缺陷。

(4) 造型工艺复杂,金属消耗量大。

底注式浇注系统的这些缺点,通过有关工艺措施可加以解决,例如采用快浇和分散的多内浇道,底部使用冷铁,用高温金属补浇冒口等措施,常可收到满意的结果。

底注式浇注系统广泛应用于铝镁合金铸件的生产,也适用于形状复杂,要求高的各种黑色铸件。

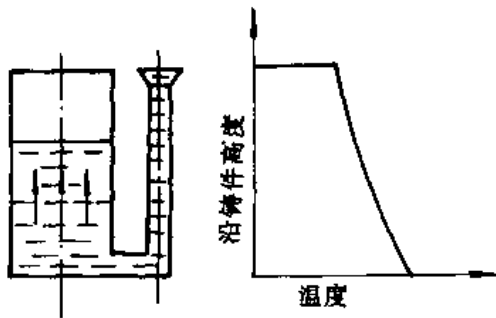


图 14-24 底注式浇注系统沿铸件高度温度分布示意图

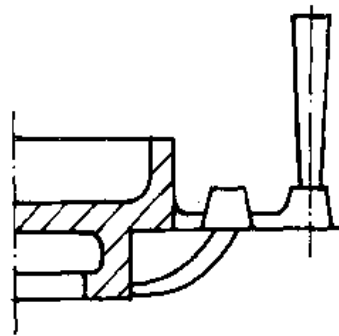


图 14-25 牛角式浇注系统

属于底注式浇注系统的还有牛角式浇注系统(图 14-25)。此种浇注系统液流充型过程平稳,但造型工艺复杂,只有在铸造中小型质量要求较高的铸件,用一般的底注式难以解决时,才考虑使用。采用牛角式辅助浇道时,为提高挡渣效果,最好同时选用过滤网和双重横浇道;为防止液态金属进入型腔时产生喷射现象,牛角浇道的出口处不应收缩得太细太薄,有时也可设计成断面朝型腔方向逐渐扩大的形式(此时,牛角式浇道模样可在取模后从型腔中取出)。

(三) 中注式浇注系统

这种浇注系统的液态金属引入位置介于顶注和底注之间(图 14-26),其优、缺点也介于顶注与底注之间。它普遍应用于高度不大、水平尺寸较大的中小型铸件,在铸件质量要求较高时,仍应控制合金液的下落高度(即下半型腔的深度)。

采用机器造型生产铸件时,广泛使用中注式浇注系统。此时多采用两箱造型,内浇道开在分型面上,工艺简单,操作容易。

(四) 阶梯式浇注系统

在铸件不同高度上开设多层内浇道的称为阶梯式浇注系统(图 14-27)。

结构设计合理的阶梯式浇注系统应有以下优点:金属液自下而上充型,充型平稳,型腔内气体排出顺利。充型后上部金属液温度高于下部,有利于顺序凝固和冒口的补缩,铸件组织致

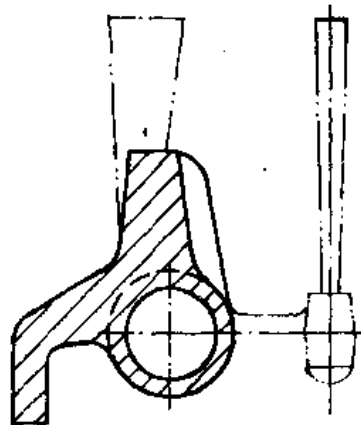


图 14-26 中间注入式浇注系统

密。充型能力强,易避免冷隔和浇不到等铸造缺陷。利用多内浇道,可减轻内浇道附近的局部过热现象。

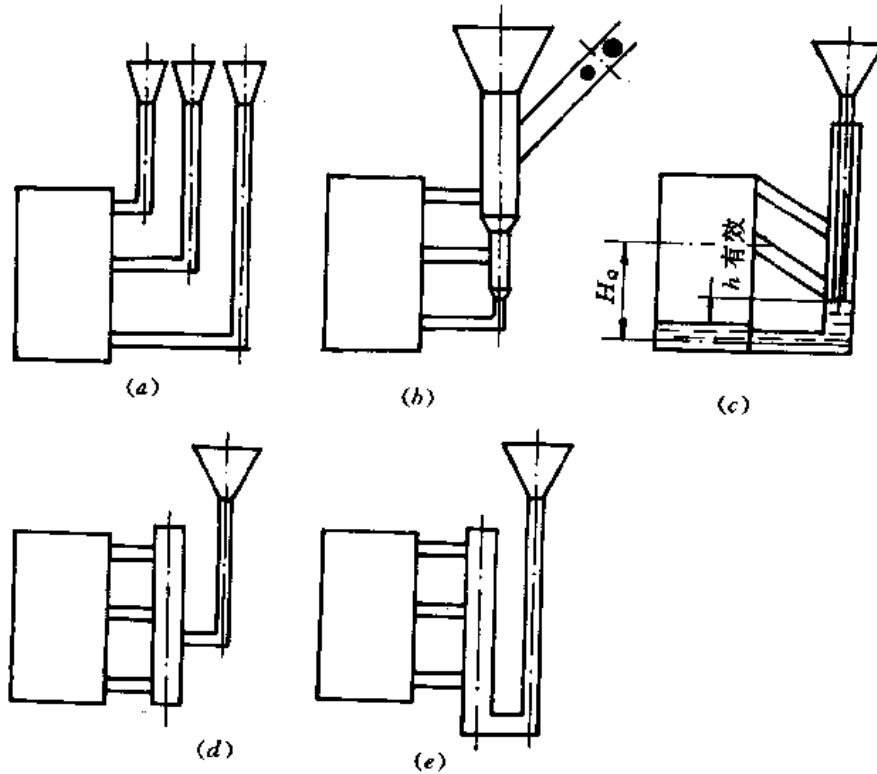


图 14-27 阶梯式浇注系统

(a) 多直浇道的 (b) 用塞球法控制的 (c) 控制各组元比例的
(d) 带缓冲直浇道的 (e) 带反直浇道的

阶梯式浇注系统的主要缺点是:造型复杂,有时要求几个分型面,要求正确的计算和结构设计,否则容易出现上下各层内浇道同时进入金属液的“乱浇”现象,或底层进入金属液过多,形成下部温度高的不理想的温度分布。

阶梯式浇注系统适用于高度大的大中型铸钢件、铸铁件。具有垂直分型面的中大件可优先采用。在大型铸钢件生产特别是使用如图 14-27(b) 所示的用塞球法控制的阶梯式浇道多采用特制耐火砖管装成。但从各层浇口进入的溢流在汇流处易产生氧化夹渣,因此在铝合金、镁合金铸造生产中很少采用阶梯式浇注系统。有时为了提高顶部冒口中金属液的温度,增强补缩作用,也可采用两层阶梯式浇注系统(即底层充填铸件,上层充填冒口,类似于图 14-27(a))。

(五) 缝隙式浇注系统

合金液由下而上沿着整个铸件高度开设的垂直缝隙状内浇道,平稳地进入型腔,这种浇注系统称为缝隙式浇注系统(图 14-28)。缝隙式浇注系统的优点是:

(1) 液流充型过程十分平稳,不仅不会产生新的氧化夹渣,而且有利于熔渣上浮于立筒和铸件顶部的冒口中。

(2) 在理想情况下,由缝隙进入型腔的金属液每增加一层,其温度都比下一层高,从而建立了类似顶注式的温度分布,有利于铸件自下而上的顺序凝固,有利于上部冒口的补缩。

缝隙式浇注系统的缺点是消耗液体金属多,工艺出品率低,浇道的切割既麻烦又费工。

缝隙式浇注系统广泛应用于轻合金铸造中,尤其对于缩松倾向较大的镁合金铸件来说,它是常用的浇注系统类型之一。对于高大圆筒状铸件,既要求纵向上的顺序凝固、又要求横向上有一定补缩作用,则缝隙式是最合适的浇注系统。但由于切割困难、在铸钢件、铸铁件生产中较少应用。

(六) 复合式浇注系统

大型复杂铸件采用一种类型的浇注系统,往往难以得到合理的充型过程,故采用两种或两种以上类型的浇注系统,以取长补短,保证液流平稳地充满型腔,得到轮廓清晰的合格铸件。如图 14-29 所示的浇注系统就是既有底注式又有缝隙式的复合式浇注系统。

复合式浇注系统的结构形式很多,根据铸件的结构特点,可以在一组浇注系统内设计几种类型,也可分开设计几组浇道;每一组浇道可以从铸件的同一高度进入型腔,也可以从不同高度进入型腔。当分开设计几组浇道和从不同高度进入铸型时,每一组浇道的截面积、浇包的容量、浇口杯的容量以及浇注的先后次序都应进行详细地计算,避免合金液在铸型中产生对流、涡流或衔接不上的情况。

二、按浇注系统各单元断面积的比例分类

浇注系统按直浇道、横浇道及内浇道断面积的比例(简称浇道比)关系,可分为收缩式、扩张式和半扩张式三种。

(一) 收缩式浇注系统

直浇道、横浇道和内浇道的断面积依次缩小(即 $F_{直} > F_{横} > F_{内}$, F 表示各浇道的横断面积)的浇注系统称为收缩式浇注系统。液态金属在这种浇注系统中流动时,由于浇道截面积越来越小,流动速度越来越大,从内浇道进入型腔的液流,流动速度很大,对型壁产生冲击,易引起喷溅和剧烈氧化。但此种浇注系统在充型的最初阶段直至整个充型过程,都保持充满状态,金属液中的渣子易于上浮到横浇道上部,避免进入型腔。此外,这种浇注系统所占体积较小,减少了合金的消耗。这种浇注系统主要用于不易氧化的铸铁件。铝、镁合金易于氧化,要求液流进入型腔时流动平稳,所以收缩式浇注系统应用很少。

(二) 扩张式浇注系统

直浇道、横浇道和内浇道截面积依次扩大的浇注系统(即 $F_{直} < F_{横} < F_{内}$)称为扩张式浇注系统。扩张式浇注系统的特点和收缩式恰恰相反,其主要优点是金属液在横浇道和内浇道中流速较慢,在进入型腔时流动平稳。不足之处是横浇道在充填初期不易充满,在开始阶段浮渣

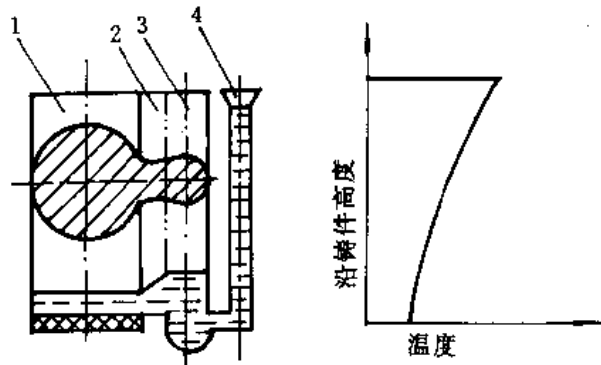


图 14-28 缝隙式浇注系统沿铸件高度的温度分布示意图

1—铸件 2—立缝 3—立筒 4—直浇道

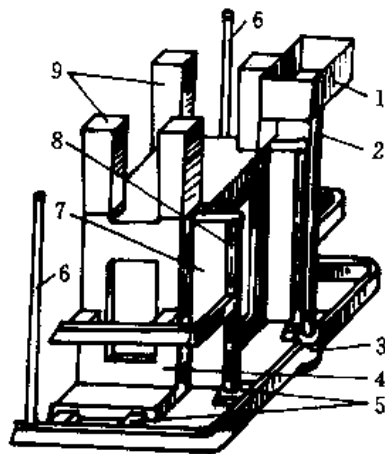


图 14-29 复合式浇注系统

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道
4—铸件 5—内浇道 6—出气孔
7—立缝 8—立筒 9—冒口

作用较差,但可采用放过滤网等方法予以弥补。易氧化的铝合金和镁合金要求液流平稳,大、中型铸件一般都采用扩张式浇注系统(见表 14-1)。

(三) 半扩张式浇注系统

$F_{\text{直}} < F_{\text{横}} > F_{\text{内}}$, 而且 $F_{\text{内}} > F_{\text{直}}$ 的浇注系统叫半扩张式浇注系统。其优缺点介于扩张式与收缩式之间,液流比较平稳,充型能力和挡渣能力比较好,适合于一般小型、结构简单的铝合金、镁合金铸件。

实际上,上述三种浇注系统的特点和其组成单元的结构形式和合金液的导入位置有密切关系。例如,增加浇注系统中的水力学阻力和采用底注式时,可以改善收缩式浇注系统的流动不平稳状况;如果扩张式浇注系统采用顶注时,那末合金液的充型也是不平稳的,挡渣作用也差;在采用底注式并配合采用搭接式或双重横浇道、在横浇道搭接面上置有过滤网时,不仅液流平稳而且具有良好的挡渣作用。

在浇注系统设计中,其浇道比对铸件质量有较大的影响,所以正确选择浇道比也是浇注系统设计中一个重要内容。在生产实践中,对浇道比的选择已积累了不少经验,也有不少专著文献,但由于铸件结构、生产工艺等具体条件不同,很难归纳出一个行之有效,简单易行的确定方法。表 14-1 推荐了铝合金、镁合金砂型铸造常用的浇道比,可供选择时参考。

确定浇道比时,还需考虑金属液充型时的实际流动状态,充型是否真正平稳。在砂型铸造中,横浇道与直浇道连接处会出现涡流和吸气现象,所以在采用单边横浇道时,横浇道截面不宜超过直浇道的三倍,双边横浇道总截面积不宜超过直浇道五倍。确需加大横浇道时,必须在直浇道底部作出浇口窝,使直浇道和横浇道圆滑连接。

表 14-1 铝、镁合金砂型铸造常用的浇道比($F_{\text{直}} : F_{\text{横}} : F_{\text{内}}$)

合金种类	大型铸件	中型铸件	小型铸件
镁合金	1:3 ~ 5:3 ~ 8	1:2 ~ 4:3 ~ 6	1:2 ~ 3:1.5 ~ 4
铝合金	1:2 ~ 5:2 ~ 6	1:2 ~ 4:2 ~ 4	1:2 ~ 3:1.5 ~ 4

注:表中所列的浇道比均未考虑到内浇道需起补缩作用等的特殊情况。

目前生产中存在着盲目扩大浇道比,增大横浇道和内浇道尺寸的作法,这除了造成内浇道流量分配不均匀以外,还增加了金属的消耗和浇冒口的切割工作量,在经济上是不合算的。对于铝合金小件,采用半扩张式浇注系统,往往效果很好。尤其是金属型铸造,由于难以在横浇道上放过滤网,扩张程度太大,往往难以除去液态金属中的熔渣,此时采用半扩张式浇注系统则效果更好。

§ 14-3 浇注系统的尺寸计算

在浇注系统的类型和引入位置确定以后,就可进一步确定浇注系统各基本单元的尺寸和结构。目前大都采用水力学近似公式或经验公式计算出浇注系统的最小截面积,再根据铸件的结构特点、几何形状等确定浇道比,确定各单元的尺寸和结构。

一、按流体力学公式计算浇注系统

以流体力学为基础的计算方法,是把合金液视作普通流体,浇注系统是液体流动的通道,

对于扩张式浇注系统,其最小断面就是直浇道底部的横断面积。如果以浇口杯中合金液面为一端、直浇道出口处(即最小断面处)为另一端,在两个断面之间应用伯努力方程式可写出:

$$H = \frac{V^2}{2g} + \sum h_{\text{总}} \quad (14-5)$$

式中: H —— 直浇道最小断面以上合金液的静压头(cm);

V —— 合金液从直浇道流出的速度(cm/s);

g —— 重力加速度(cm/s²);

$\sum h_{\text{总}}$ —— 合金液在浇注系统中流动时压头损失总和(包括合金液与浇道型壁的摩擦损失、流经转弯变向损失和浇道断面变化损失等)(cm)。

$\sum h_{\text{总}}$ 可以改用速度头表示,即:

$$\sum h_{\text{总}} = \sum \xi_{\text{总}} \frac{V^2}{2g}$$

其中 $\xi_{\text{总}}$ —— 浇注系统局部阻力系数。

这样,式(14-5)可改写为:

$$H = \frac{V^2}{2g} (1 + \sum \xi_{\text{总}})$$

于是,得到合金液的流动速度为

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi_{\text{总}}}} \quad (14-6)$$

通过直浇道底部最小断面(F),充填铸型的液体金属重量为:

$$G = F\tau\gamma \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi_{\text{总}}}} \quad (14-7)$$

令

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi_{\text{总}}}}$$

μ 表示实际流量与理想流量之间的比值,称为浇注系统的流量系数。有些资料也称流量消耗系数。则式(14-7)可简化为:

$$G = \frac{1}{1000} F\tau\gamma\mu \sqrt{2gH} \quad (14-8)$$

式中: G —— 充填铸型的液体金属重量(kg);

F —— 直浇道出口处的断面积(cm²);

μ —— 流量消耗系数;

τ —— 浇注时间(s);

γ —— 液体金属的密度(g/cm³)。

实际上,液体金属的静压头(H)随合金液的导入位置(在铸件高度方向)的不同而变化。对顶注式浇注系统, H 在整个充型过程中是固定不变的,它等于从最小断面处起直至浇口杯液面的总高度;对底注式浇注系统, H 在充型过程中始终随着时间而变化;对中注式浇注系统,其静压头包括上述两种情况。为此应以实际变化的静压头的平均值 H_p 代替 H ,就可获得计算浇注系统最小断面积的普遍式。为使用方便,将公式(14-8)化简并经单位换算后,计算最小断面积的公式为

$$F_{\min} = \frac{G}{0.044 3\gamma\tau\mu \sqrt{Hp}} \quad (14-9)$$

对于收缩式浇注系统,其最小断面为内浇口的截面积,用伯努力方程式经过类似的推导,也可得到以上的计算浇注系统最小截面积的公式。

用公式(14-9)计算浇注系统最小截面积时需仔细确定式中各因素的数值。

(一) G 和 γ 的确定

在计算的铸件确定以后, γ 即已确定。铸件图上一般已标出了铸件的重量(未标时根据铸件图可估算出铸件重量),再加上浇注系统和冒口的重量即为 G 值。但此时浇注系统和冒口尚未设计出,可根据经验对铸件重量乘以适当的系数来求得。对铝镁合金、铸钢件 G 值一般为铸件重量的 2~3 倍,铸铁件为 1.1~1.4 倍。

(二) 流量系数 μ 值的确定

μ 是合金液在充填浇注系统和铸件型腔的过程中,由于遇到各种摩擦阻力、水力学局部阻力和合金液与铸型的热作用、物理-化学作用等的影响,引起液流速度下降,流量消耗的一个修正系数。

影响 μ 值的因素很多,难于用数学计算方法确定,一般都按生产经验和参考实验结果选定。对于航空铝、镁合金铸件所用的扩张式浇注系统,其 μ 值可在 0.3~0.7 之间选取。实际铸造时可根据铸件合金种类、浇注温度和铸件结构选择。

(1) 合金种类不同,应取不同的 μ 值。表 14-2、表 14-3、表 14-4 分别列出了铝合金、镁合金、铸钢和铸铁的流量系数 μ 值。可供参考选用。

表 14-2 铝合金铸造流量系数 μ 值

合金成分	μ 值	合金成分	μ 值
Al	0.66	Al-3%Cu-4.5%Si	0.65
Al-12%Si	0.66	Al-1.5%Cu-5%Si-0.5%Mg	0.71
Al-7%Si-0.3%Mg	0.68	Al-4.5%Cu	0.69
Al-1.6%Cu-5.5%Zn-2.5%Mg	0.67	Al-10%Mg	0.59

表 14-3 镁合金铸造流量系数 μ 值

铸件结构类型	机匣类	盖板类	框架类
μ 值	0.34	0.42	0.48

表 14-4 铸钢及铸铁的流量系数 μ 值

种类		铸型阻力		
		大	中	小
湿型	铸铁	0.35	0.42	0.50
	铸钢	0.25	0.32	0.42
干型	铸铁	0.41	0.48	0.60
	铸钢	0.30	0.38	0.50

表 14-2 中所列数据适用于浇注系统结构简单的中小型铝铸件、对于大型铝铸件应将 μ 值适当减小。镁合金由于特别易于氧化,所生成的氧化膜粘附在浇道壁上,缩小了浇注系统的实际截面积,使实际流量大大减少,所以其流量系数 μ 值比铝合金要小很多。

(2) 浇注温度对 μ 值的影响有一定的规律性。随着浇注温度的提高,合金液粘度减小,浇注系统中实际流量增大, μ 值也随之增大。实验结果表明,对铝合金,当浇注温度从 680℃ 提高到 800℃ 时, μ 值可增加 0.1。

(3) 浇注系统的结构形状对 μ 值影响很大。结构越复杂,尺寸越大,流程越长,流动阻力越大,则实际流量就越小, μ 值也越小。有资料介绍,流体在浇注系统中的压头损失主要集中在直浇道、横浇道和过滤网中。镁合金铸造生产中,为了使液流流动平稳,并滤除氧化渣,常使用较复杂的浇注系统,并使用钢丝棉、过滤网等其它阻流单元,增大了流体局部阻力,故一般应取较低的 μ 值。在选择 μ 值时,还应考虑浇道比的问题。在生产中,常选用的浇道比的情况下, μ 值随着浇注系统扩张程度的增高而增大。

(4) 铸件结构对 μ 值影响很大。铸件结构越复杂,则 μ 值应越小。在航空产品中,镁合金铸件按结构特点可分为机匣、盖板和框架三大类(见表 14-3)。机匣类铸件一般壁厚较小,几何形状复杂,型芯较多,金属液充型时的局部阻力大,一般取较小的 μ 值。盖板类铸件形状比较简单,流体局部阻力较小,其 μ 值大于机匣类铸件。框架类铸件形状一般较简单,铸造生产时大都增放了较大的工艺余量和加工余量,实际壁厚较大,对金属流动阻力小,所以其 μ 值应取大些。

铸件结构形成的型腔阻力对 μ 值的影响主要取决于铸件壁厚的大小。航空产品铝合金、镁合金铸件主体壁厚一般在 5~11 mm 之间,大部分在 7~9 mm 之间。当壁厚小于 6 mm 时,其 μ 值可减少 5~7%,当壁厚超过 10 mm 时, μ 值可增加 5% 左右。

(三) 浇注时间 τ 值的确定

浇注时间对铸件质量影响很大,尤其对大、中型铝、镁合金铸件质量的影响,更为明显。浇注时间过短,则流速太快,金属液在型腔中流动不平稳,易造成涡流,卷入气体,产生氧化夹渣;浇注时间过长,金属液充填铸型的能力下降,易造成浇不到和冷隔缺陷,同时在金属液引入位置的附近造成局部过热,妨碍铸件自下而上的顺序凝固,使铸件组织粗大和产生缩孔缩松缺陷。

合适的浇注时间应根据铸件具体结构和铸造工艺来确定。目前确定浇注时间的经验公式尚不完善,航空产品铝合金和镁合金铸件常以液面在型腔中适宜的上升速度为确定浇注时间的最基本依据,按下式计算浇注时间。

$$\tau = \frac{H_c}{V_p} \quad (14-10)$$

式中: H_c ——铸件高度(包括冒口高度)(cm);

V_p ——型腔内合金液面的平均上升速度(cm/s)。

V_p 值的选择尚无普遍适用的公式。一般参考工厂里生产同类铸件的经验数据来选定。某厂在生产高度为 120~280 mm、重量小于 5 kg 的小型铝合金和镁合金铸件时,确定 V_p 为 3.5~4.0 cm/s;某厂在统计了 150 多种 ZM5 合金飞机铸件后,认为 V_p 在 1.5~2.5 cm/s 范围内是较适宜的。航空轻合金铸造生产中为保证充满铸型和流动平稳,有关资料介绍了铸型中液面的最小上升速度,可作为选择 V_p 时的参考数据。

在砂型铸造铝、镁合金铸件时(浇注温度为 720℃),铸型中合金液面的最小上升速度可从

表 14-5 中选择。铸钢件的最小上升速度见表 14-6。

表 14-5 在砂型铸造形状复杂的铝、镁合金铸件时的 $V_{\text{最小}}$ (cm/s)

铸件高度 (mm)	铸 件 壁 厚 (mm)										
	4	5	6	7	8	10	12	15	20	25	30
100	2.8	2.2	1.8	1.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.55	0.44	0.37
150	3.4	2.7	2.2	1.95	1.7	1.36	1.13	0.91	0.68	0.54	0.45
200	3.9	3.1	2.5	2.25	1.97	1.57	1.3	1.05	0.78	0.63	0.52
300	4.8	3.9	3.2	2.75	2.4	1.9	1.6	1.28	0.96	0.77	0.64
350	5.2	4.17	3.5	3.0	2.5	2.08	1.74	1.38	1.04	0.84	0.69
400	5.5	4.4	3.7	3.15	2.75	2.2	1.84	1.47	1.1	0.88	0.74
500	6.25	5.0	4.18	3.57	3.1	2.5	2.1	1.67	1.25	1.0	0.83
550	6.5	5.2	4.35	3.7	3.27	2.6	2.17	1.76	1.3	1.05	0.87
600	6.8	5.45	4.55	3.9	3.4	2.7	2.26	1.8	1.36	1.09	0.9
800	7.9	6.3	5.25	4.5	3.9	3.15	2.6	2.1	1.57	1.25	1.05
1 000	8.75	7.0	5.8	5.0	4.37	3.5	2.9	2.3	1.75	1.4	1.17
1 500	10.7	8.6	7.2	6.15	5.36	4.3	3.58	2.86	2.14	1.71	1.43

表 14-6 铸钢件型内液面最小上升速度 (mm/s)

铸件重量 (t)	铸 件 特 点		
	复 杂	一 般	实 体
≤ 5	30	25	20
5 ~ 15	20	15	10
15 ~ 35	15	12	8
35 ~ 55	12		6
55 ~ 60	10		4

对于铸铁件,推荐用表 14-7 的经验数据决定浇注时间。

表 14-7 铸铁件浇注时间

浇注重量 (kg)	浇注时间 (s)
< 250	4 ~ 6
250 ~ 500	5 ~ 8
500 ~ 1 000	6 ~ 20
1 000 ~ 3 000	10 ~ 30
> 3 000	20 ~ 60

(四) 平均计算静压头 H_p 的确定

在计算平均计算静压头(H_p)之前,首先需要确定直浇道的高度。在实际生产中,直浇道的高度主要是根据铸件顶部冒口的高度而定,然后再根据经验作适当调整。确定液体静压头(直浇道高度与浇口杯中合金液面高度之和)时,应保证铸件上部轮廓清晰,防止产生冷隔和浇不到缺陷,其计算方法如下:

$$H = H_M + C \quad (14-11)$$

式中: H_M ——液体金属的剩余静压头(如图 14-30)(cm);

C ——铸件高度(cm)。

剩余静压头(H_M)是保证充满上部型腔的一个参数,可用下式计算:

$$H_M = Ltga \quad (14-12)$$

式中: L ——直浇道中心至铸件最远点或最高点的距离(如图 14-30 所示)(cm);

α ——压力角,随铸件壁厚的增加而减小,一般 $\alpha = 8^\circ \sim 12^\circ$ 。

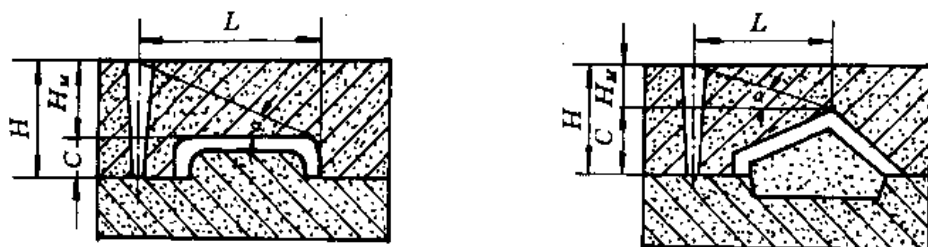


图 14-30 确定 L 值的方法例图

在通常情况下,铸型工艺方案确定后,直浇道的高度、位置已定, H_M 和 L 均为已知,通过上式可算出实际的压力角 α ,以校核直浇道的高度(或剩余静压头 H_M) 是否足够大。

计算金属液平均计算静压头(H_p)常用的计算公式为:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C} \quad (14-13)$$

式中: H ——内浇道以上至浇口杯中合金液面的高度(cm);

P ——内浇道以上型腔高度(cm);

C ——铸件型腔的总高度。

用式(14-12)计算平均静压头有下列三种情况(如图 14-31)。

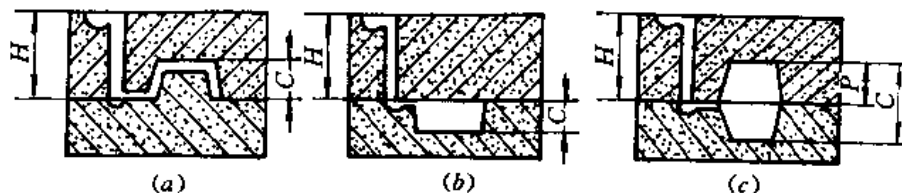


图 14-31 平均静压头的计算实例

(1) 采用底注式浇注系统时,因为 $P = C$ (图中(a)) 所以

$$H_p = H - \frac{C}{2}$$

(2) 采用顶注式浇注系统时(图中(b)),因为 $P = 0$, 所以

$$H_p = H$$

(3) 采用中注式浇注系统时(图中(c)), H_p 可用式(14-12)计算。若内浇道置于铸件型腔高度二分之一处时(即 $P = \frac{C}{2}$), 则式(14-12)可简化为:

$$H_p = H - \frac{C}{8}$$

在确定了 μ 、 τ 及 H_p 之后, 就可用公式(14-9)求出浇注系统的最小截面积(如计算收缩式浇注系统, 最小断面积应是内浇道出口处的断面积), 再按已选定的浇注系统各单元断面积之比以及各单元的结构形式即可初步确定浇注系统的具体尺寸。由于在最初计算时预定的 G 、 τ 的数值是估算值, 并且各单元断面积的实际比例与选定的也有出入, 所以计算结果还需经过验算和调整。

二、用反推法确定浇注系统截面尺寸

航空铝、镁合金铸件的生产实践证明: 内浇道的位置、数量、断面形状和大小对铸件质量影响很大, 采用上述计算方法, 有时不能满足实际生产的要求。因为仅从合金液流的运动规律来考虑内浇道的数量及其断面积的大小是不充分的, 尤其是轻合金在采用底注式浇注系统时, 内浇道的数量常取决于铸件的水平处廓尺寸, 而每一个内浇道的断面又与其相连接处的铸件结构有关(如有时需要采用厚大断面的内浇道, 以解决铸件下部的补缩问题)。这就是计算方法所得的内浇道总断面积与实际所需要内浇道总断面积有时存在较大差异的主要原因。因此, 在生产实践的基础上, 成功地总结出利用“反推法”来确定浇注系统各单元的尺寸。所谓“反推法”, 就是根据铸件的具体生产工艺、首先确定内浇道的数量及其断面积的大小, 然后根据内浇道的总断面积和已选定的浇道比, 再确定其它单元的尺寸和结构, 其具体步骤如下:

(1) 根据铸件结构特点, 选择浇注系统的类型和结构形式。

(2) 根据合金种类、铸件结构特点和生产工艺等具体情况, 凭经验确定内浇道的数量和总断面积。一般都根据现场生产经验数据, 通过归纳和总结, 制定出表格形式, 供以后设计同类铸件的浇注系统时选用。例如表 14-8 和表 14-9 是某厂从生产实践中归纳总结出来的内浇道总断面积、数量与铸件重量和水平面积之间的关系。表中数据适用于中、小型支架、摇壁、框架等飞机镁、铝合金铸件。

表 14-8 镁合金铸件内浇道断面积选择

铸件重量 (kg)	铸 件 水 平 面 积 (cm ²)											
	~ 30		31 ~ 70		71 ~ 120		121 ~ 200		201 ~ 500		501 ~ 1 000	
	内浇道断面积及其数量 (cm ² , 个数)											
	F_{p1}	数量	F_{p1}	数量	F_{p1}	数量	F_{p1}	数量	F_{p1}	数量	F_{p1}	数量
< 0.10	0.4 ~ 1.0	1	1.0 ~ 1.8	1 ~ 2								
0.10 ~ 0.2	0.6 ~ 1.2	1	1.9 ~ 2.3	1 ~ 2	2.0 ~ 2.5	1 ~ 2						
0.20 ~ 0.35			2.0 ~ 2.5	1 ~ 2	2.3 ~ 3.0	1 ~ 2	2.5 ~ 3.0	2				
0.35 ~ 0.50			2.4 ~ 3.0	1 ~ 2	2.5 ~ 3.2	2	2.8 ~ 3.5	2				

续 表

铸件重量 (kg)	铸 件 水 平 面 积 (cm ²)											
	~ 30		31 ~ 70		71 ~ 120		121 ~ 200		201 ~ 500		501 ~ 1 000	
	内 浇 道 断 面 积 及 其 数 量 (cm ² , 个 数)											
	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量
0.50 ~ 0.65					2.5 ~ 3.5	2	3.0 ~ 4.0	2 ~ 3				
0.65 ~ 0.80					3.0 ~ 4.0	2 ~ 3	3.2 ~ 4.5	2 ~ 3				
0.8 ~ 1.0							3.4 ~ 4.8	2 ~ 3	3.8 ~ 5.5	2 ~ 3	4.0 ~ 6.5	3
1.0 ~ 1.5							3.8 ~ 5.5	2 ~ 3	4.0 ~ 6.5	2 ~ 4	5.5 ~ 10	3 ~ 4
1.5 ~ 2.5									4.5 ~ 9.5	3 ~ 6	6.0 ~ 15	4 ~ 6
2.5 ~ 5.0									5.5 ~ 10	3 ~ 6	6.5 ~ 20	4 ~ 8

表 14-9 铝合金铸件内浇道断面选择

铸件重量 (kg)	铸 件 水 平 面 积 (cm ²)											
	~ 30		31 ~ 70		71 ~ 120		121 ~ 200		201 ~ 500		501 ~ 1 000	
	内 浇 道 断 面 积 及 其 数 量 (cm ² , 个 数)											
	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量	$F_{内}$	数量
< 0.1	0.5 ~ 1.0	1	0.8 ~ 1.5	1								
0.1 ~ 0.2	0.7 ~ 1.5	1	1.0 ~ 2.0	1	1.2 ~ 2.3	1 ~ 2	1.8 ~ 3.0	1 ~ 2				
0.2 ~ 0.35			1.2 ~ 2.3	1 ~ 2	1.5 ~ 2.7	1 ~ 2	2.0 ~ 3.2	2				
0.35 ~ 0.50			1.5 ~ 2.5	1 ~ 2	1.8 ~ 3.0	1 ~ 2	2.3 ~ 3.6	2				
0.50 ~ 0.65					2.0 ~ 3.2	2	2.5 ~ 4.0	2	2.7 ~ 4.5	2 ~ 3		
0.65 ~ 0.80					2.5 ~ 3.8	2	3.0 ~ 4.5	2 ~ 3	3.5 ~ 5.0	2 ~ 3		
0.8 ~ 1.0							3.5 ~ 5.0	2 ~ 3	4.0 ~ 5.5	2 ~ 3	6.0 ~ 7.5	3 ~ 4
1.0 ~ 1.5							4.0 ~ 5.5	2 ~ 3	4.5 ~ 7.0	2 ~ 4	6.8 ~ 8.0	3 ~ 4
1.5 ~ 2.5									5.0 ~ 8.0	2 ~ 4	7.5 ~ 10	3 ~ 6
2.5 ~ 5.0									6.5 ~ 10	3 ~ 6	9.0 ~ 15	4 ~ 6

(3) 根据与内浇道相连接的铸件壁厚,选择内浇道的厚度、宽度和长度。

(4) 根据铸件特点选择浇道比,确定横浇道直浇道等各单元的尺寸。

三、缝隙式浇注系统的尺寸计算

缝隙式浇注系统的常见的结构形式如图 14-32 所示这种浇注系统的作用和效果主要取决于立缝和立筒的结构形式及尺寸大小,它的设计方法与一般的浇注系统不同,如果把立缝和立筒视为一般的内浇道和集渣道来依次进行计算的话,不仅达不到预期目的,甚至会出现相反的结果。

缝隙式浇注系统的设计步骤和方法大致如下。

(一) 立缝数量和位置的确定

确定立缝的数量,首先应考虑对铸件要有充分的补缩作用。如果立缝数量不足,超出立缝补缩的部位将因组织不致密而使机械性能降低,或因产生缩松而使铸件报废。试验证明,在立缝两侧各 100 mm 范围内,铸件的力学性能最高,随着与立缝距离的增大,力学性能逐渐降低。有时在立缝附近产生局部过热(由于立缝数量不足;厚度过薄等原因所致),也会出现组织不致密或产生缩松、裂纹和氧化夹渣等缺陷。增加立缝的数量不仅使铸件得到充分补缩,还能使水平方向的温度分布更趋均匀,这对获得优质铸件有重要的意义。立缝数量的增加,显然会使金属液的消耗、立缝的切割和清整工作量增加,提高了铸件生产成本。

立缝数量主要取决于铸件外廓尺寸和铸件的质量要求,对于中等大小的铸件,立缝数量一般可按下列经验公式确定。

$$n = \frac{(0.016 \sim 0.024)P}{\delta}$$

式中: n ——立缝的数量;

P ——铸件外廓周长(mm);

δ ——立缝的厚度(mm)。

上式适用于质量要求一般的铸件。航空航天产品对铸件质量要求比较高,铸件比较薄,横向补缩比较困难,采用的立缝数量应比较多,一般为上式计算值的 1.5 ~ 2 倍。

立缝应尽可能均匀地分布在铸件外廓上。为了保证铸件横向朝着立缝、立筒,纵向朝着顶部冒口的方向顺序凝固,立缝应设置在铸件的厚壁部位。在铸件的复杂型面上,最好不要设置立缝,以简化立缝切割和铸件清整工作。

(二) 立缝和立筒尺寸的确定

立缝的厚度(δ)对缝隙式浇注系统的效果具有直接的影响。立缝过薄,导致大部分金属液从底部进入型腔,破坏铸件自下而上的顺序凝固,削弱顶部冒口和立筒的补缩作用,得到和底注式浇注系统相似的结果;立缝过厚,又会使铸件在立缝附近产生裂纹。立缝厚度一般取连接处铸件厚度的 80 ~ 150%。航空产品镁铸件、有时立缝厚度可达铸件壁厚的 200 ~ 300%。

为了使金属液能够逐层地从上部流入型腔,以利于铸件自下而上地顺序凝固,常把立缝作成向上逐渐扩大的锥形,其锥度一般为 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。为加强补缩作用,立缝在宽度方向也可作成向着立筒逐渐扩大的形式(如图 14-33)。立缝与铸件相连处圆弧过渡(图中 r_1),这样做不仅使金属液流动平稳,避免尖角处应力集中,产生裂纹,同时也符合造型工艺的要求。

立缝的宽度一般应控制在 15 ~ 35 mm 范围内。立缝宽度小些有利于补缩,但过小又会使断面较大的立筒过于靠近铸件,引起局部过热,使立缝对面对铸件壁上产生连续或不连续的纵

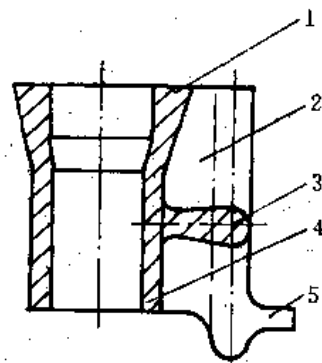


图 14-32 常见的缝隙式浇注系统示意图

1—冒口 2—立缝 3—立筒
4—铸件 5—内浇道

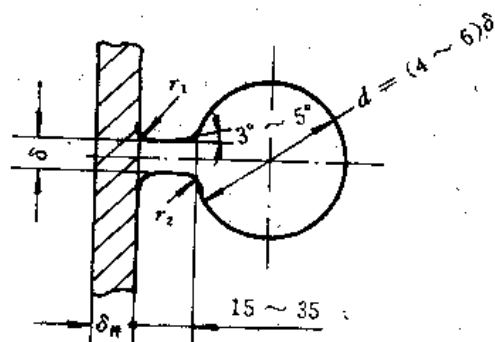


图 14-33 立缝和立筒的断面结构示意图

向裂纹。

立筒主要起调节温度、补缩铸件的作用,为了充分发挥其补缩作用,应有足够的尺寸。立筒的直径根据立缝的大小来取,一般为立缝厚度的4~6倍。立缝与立筒的连接处也应倒成圆弧(如图14-33中之 r_2)。

立缝和立筒的高度通常与型腔的高度相等,即立缝和立筒都是自下而上地与型腔相连接。

(三) 其它各单元的设计

缝隙式浇注系统除了立缝和立筒外,还有直浇道、横浇道及将金属液导入立筒的内浇道。它们的作用、结构形式和尺寸确定办法与一般的底注式浇注系统相同。但内浇道的位置,即金属液引入立筒的位置,对缝隙式浇注系统的作用影响很大。设计时应尽可能把内浇道置于立筒的底部。立筒底部应比铸件底面低20~30mm。这样使金属液由内浇道进入立筒后不立即流入型腔,而有一个向上的流动趋势。实践证明,这样可以保证金属液逐层充填和流动平稳,温度分布有利于自下而上的凝固。

应用和设计缝隙式浇注系统时,还应注意与冒口、冷铁配合使用。对于高大的圆筒状铸件使用缝隙式浇注系统时,通常需要在铸件底部放置厚度较大的冷铁激冷,促使下部金属液迅速降温,而在铸件顶部放有较大的冒口,将冒口和立缝、立筒自下而上地连通起来,这样可以加强冒口的补缩作用,对充分发挥缝隙式浇注系统的作用更有利。

复习思考题

1. 设计浇注系统时应遵循哪些原则(设计要求)?这些要求有哪些是互相统一的?有哪些是互相矛盾的?如何根据铸件的合金种类、结构形状等的不同来满足必须满足的条件?请针对具体零件说明之。

2. 怎样才能防止浇口杯内出现水平涡流?

3. 如何防止直浇道中液流出现离壁现象?

4. 怎样发挥横浇道的挡渣作用?

5. 为什么铝、镁合金铸件浇注系统要把防渣、挡渣的要求放在最重要的地位上?为了防渣、挡渣,在设计浇注系统时应注意哪些方面?

6. 试分析内浇道与横浇道的相互配置对浇注系统挡渣作用的影响?

7. 浇注系统的基本类型有哪几种,各有何特点?试列表进行比较。

8. 为什么铝、镁合金铸件多采用底注-扩张式浇注系统?铸铁、铸钢件有何不同?

9. 镁合金圆筒状零件为什么多采用缝隙式浇注系统?试分析缝隙式浇注系统的流动、凝固特点。

10. 浇注系统的引入位置对铸件质量有什么影响?

11. 分析过滤网的几种放置位置过滤效果如何?

12. 说明公式 $F_{\min} = G / (0.044 3\gamma\mu\tau \sqrt{H_p})$ 中各参数的意义及确定方式。

13. 试分析几种典型铸件的浇注系统实例,并总结归纳此类铸件浇注系统的设计原则(典型实例由教师提供和在生产现场中参观寻找)。

14. 结合实际,分析由于浇注系统设计不当而使铸件产生浇不足、氧化夹渣、疏松、过烧等缺陷的例子。

第十五章 冒口、冷铁设计

在铸件的生产中,普遍采用设置冒口、冷铁的工艺措施,有效地控制铸件的凝固过程,补充铸件的收缩,防止铸件产生缩孔、缩松、裂纹和变形等铸件缺陷。

§ 15-1 冒口的设计

冒口是铸型内用以储存金属液的空腔,习惯上把冒口所铸成的金属实体也称为冒口。

冒口有下述作用:

(1) 补偿铸件凝固时的收缩。即将冒口设置在铸件最后凝固的部位,由冒口中的合金液补偿其体收缩,使收缩形成的孔洞移入冒口,防止铸件产生缩孔、缩松缺陷。

(2) 调整铸件凝固时的温度分布,控制铸件的凝固顺序。铝、镁合金铸件及铸钢件的生产中,一般都使用较大的冒口,冒口内蓄积了大量的液态金属并且散热很慢,对凝固前的温度调整和凝固的温度分布产生一定的影响。现在普遍采用保温冒口及将冒口置于横浇道、内浇道上,采用将冒口和缝隙浇道连通及开设辅助浇道充填冒口等工艺措施以提高和保持冒口内金属液的温度,这对铸件在凝固阶段形成向着冒口方向的顺序凝固有明显的作用。

(3) 排气、集渣。

(4) 利用明冒口观察型腔内金属液的充型情况。

根据设置冒口的目的和冒口的作用,所设计的冒口应遵守以下的基本条件:

(1) 冒口的凝固时间应大于或等于铸件(被补缩部分)的凝固时间。

(2) 冒口应有足够大的体积,以保证有足够的金属液补充铸件的液态收缩和凝固收缩,补偿浇注后型腔扩大的体积。

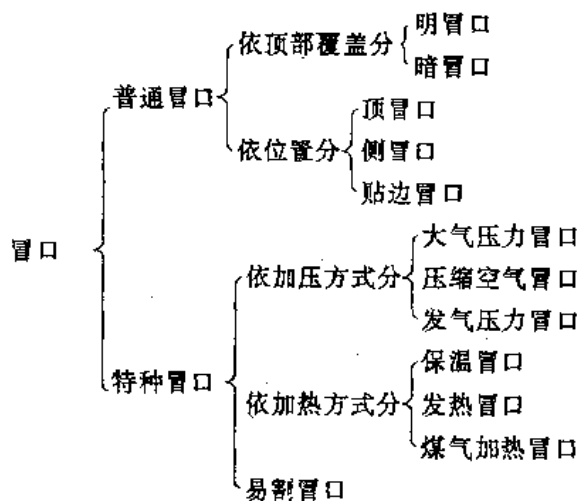
(3) 在铸件整个凝固的过程中,冒口与被补缩部位之间的补缩通道应该畅通,即使扩张角始终向着冒口。对于结晶温度间隔较宽、易于产生分散性缩松的合金铸件,还需要注意将冒口与浇注系统、冷铁、工艺补贴等配合使用,使铸件在较大的温度梯度下,自远离冒口的末端区逐渐向着冒口方向实现明显的顺序凝固。

一、冒口的种类和形状

(一) 冒口的种类

冒口的种类如右所列:

明冒口一般都设置在铸件顶部,它与大气相通,排气及浮渣效果较好。在轻合金铸件、铸铁件及中小型铸钢件的生产中多使用明冒口。



暗冒口可设置在铸件的任何位置上,如需要补缩的部分与铸型顶面的距离较大,或冒口的上部受到铸件另一部分结构的阻碍以及在高压釜中浇注时,常常采用暗冒口。在铸钢件的生产中,经常选用暗冒口,暗冒口的顶部常开有出气孔,以保证冒口空腔中的气体在浇注时逸出铸型。

顶冒口常采用明冒口的形式,一般设于铸件最高位置或热节部位的上面,这样补缩压力大,补缩效果好,而且浮渣和排气也比较容易。

当铸件的热节部位处于铸件的侧面和下部时,应选用侧冒口(图 15-1(a))。侧冒口也有明冒口和暗冒口两种形式,依热节在铸件所处的位置而定。

贴边冒口是一种介于顶冒口和侧冒口之间的冒口。它适用于铸件的厚大部位处于铸件的中、下部而垂直壁厚又比较小的情况。此时,需加比较大的补贴工艺余量,才能充分发挥贴边冒口的补缩作用(图 15-1(b))。

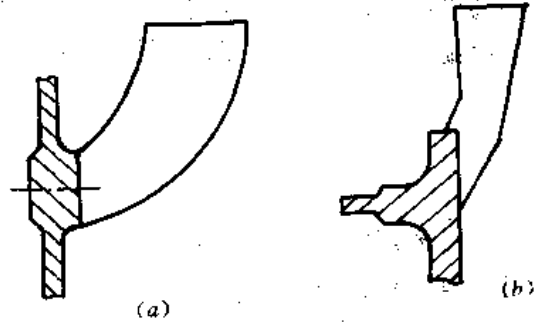


图 15-1 侧冒口和贴边冒口

(二) 冒口的形状

常用的冒口有球形、圆柱形、长方体形、腰圆柱形等。对于具体铸件,冒口形状的选择主要应考虑以下几方面:

(1) 冒口的补缩效果:冒口的形状不同,补缩效果也不同,常用冒口模数(M)的大小来评定冒口的补缩效果($M = \text{冒口体积} / \text{冒口散热面积}$),在冒口体积相同的情况下,球形冒口的散热面积最小,模数最大,凝固时间最长,补缩效果最好,其它形状冒口的补缩效果,依次为圆柱形、长方体形等。

(2) 铸件被补缩部位的结构情况:冒口形状的选择还要考虑铸件被补缩部位的结构形状和造型工艺是否方便。球形冒口的补缩效果虽好,但是造型起模困难,在铝、镁合金铸造生产中较少采用,而应用最广泛的是圆柱形明冒口,这种冒口的补缩效果较好,造型起模方便。有时由于铸件结构形状的需要,亦采用长方柱体和扇形冒口,只是将其四棱的尖角改为较大的圆角,以防止边角效应影响补缩效果。经改进后的这些冒口就称为椭圆柱体冒口和腰形冒口。在铸钢件生产中则经常使用球顶圆柱形暗冒口。

二、冒口的补缩原理

冒口在什么样的条件下才能对铸件起补缩作用?要了解这些问题,就必须阐明补缩通道的形成和变化,阐明冒口的有效补缩距离及影响因素。

(一) 冒口与铸件间的补缩通道

在铸件凝固过程中,要使冒口中的金属液能够不断地补偿铸件的体收缩,冒口与铸件被补缩部位之间应始终保持着畅通的补缩通道。否则,冒口再大也起不到补缩作用。如图 15-2 所示铸件的凝固过程,由于凝固是从下部和从壁的两侧同时推进的,这样在液相线之间便形成了向冒口方向扩张的夹角 ϕ ,角 ϕ 称为补缩通道扩张角。在向着冒口张开的扩张角 ϕ 范围内的合金都处于液态,且始终与铸件凝固区域保持畅通,形成补缩通道,使冒口中的合金液在重力作用下能畅通无阻地补充到铸件凝固区域中去。

补缩通道扩张角的大小和方向决定着补缩通道畅通与否和畅通的程度,扩张角 ϕ 越大,通道越畅通、补缩越容易。扩张角 ϕ 的大小,主要取决于铸件凝固方向上温度梯度的大小,向着冒口方向温度梯度增加,扩张角 ϕ 也变大,向着冒口张开,则补缩通道畅通,促使铸件顺序凝固。温度梯度越大,则 ϕ 角越大;反之 ϕ 角越小。合金种类不同,为保证补缩通道畅通,所需的最小温度梯度也不同。研究表明,对于普通碳钢,为保证板状铸件无缩松,朝着冒口的铸件纵向最小温度梯度应大于或等于 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$,而对于结晶温度间隔较宽的铝镁合金铸件要求达到的最小温度梯度比铸钢件高得多,如Al-7%Mg合金必须达到 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$,Al-4.5%Cu合金为 $4\sim 8^{\circ}\text{C}/\text{cm}$,Al-3%Cu-4.5%Si合金为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$,Mg-6%Al-3%Zn合金为 $4.6\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。

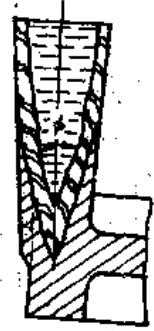


图 15-2
铸件的补
缩通道

(二) 冒口的有效补缩距离

图 15-3 表示一个板状铸件的凝固过程。很明显,在远离冒口的一端由于铸件存在边角,补缩通道扩张角 ϕ_1 比较大,凝固时易于补缩,此区域称为末端区。而靠近冒口的一侧由于冒口中贮存较多的金属液,因而散热较慢,补缩通道扩张角 ϕ_2 也比较大,补缩通道畅通,组织比较致密,此区域称为冒口区。当铸件较长时,在末端区和冒口区之间,会存在一个补缩通道扩张角很小的区域,该区域补缩困难,铸件中部会出现轴线缩松,故称轴线缩松区。上述冒口作用区长度和末端区长度之和称为冒口有效补缩距离。

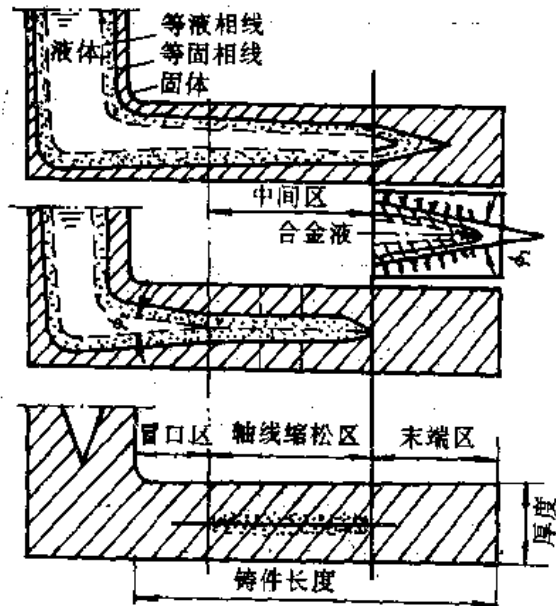


图 15-3 冒口的有效补缩距离

人们常用冒口补缩距离长度与铸件厚度的倍数来表示冒口的有效补缩范围。不同类型的冒口都有一定的补缩范围。冒口补缩距离是指长度方向而言,实际上不仅包括长度方向,也包括周围各方向。现以圆柱形冒口为例,以冒口为中心,以冒口半径加上冒口有效补缩距离为半径画圆,则圆内都属于冒口的有效补缩范围。如果铸件被补缩部分超出冒口的有效补缩范围,就会产生缩孔或缩松,反之,如果被补缩部分小于有效补缩范围,铸件虽然是致密的,但未充分发挥冒口的补缩作用,补缩效率低。由此可见,正确确定冒口的有效补缩距离是很重要的工艺问题。

冒口的有效补缩距离与合金种类、铸件结构、几何形状以及铸件凝固方向上的温度梯度有关,也和凝固时析出气体的反压力及冒口的补缩压力有关。

1. 合金种类的影响

铸造合金的种类不同其凝固特性也不同,因而,冒口的有效补缩距离也有很大的不同。

(1) 铸钢件冒口的补缩距离:碳钢铸件的冒口有效补缩距离如图 15-4 所示,更精确的数据可依图 15-5 曲线查出,这些曲线是用 $w_c = 0.2\sim 0.3\%$ 的碳铸钢件的试验取得的。

(2) 有色合金的冒口补缩距离, 铝合金中结晶温度间隔较窄的 ZL102、ZL104 等合金, 易于形成集中缩孔, 一般可取较大的冒口有效补缩距离, 有关资料认为, 在端部未放冷铁时, 冒口的补缩距离为 $4.5T$ 。而大多数铝、镁合金的结晶温度间隔较宽, 合金比重小, 冒口的补缩效果很差, 冒口的有效补缩距离很小。对铝合金常取冒口补缩距离为 $2T$ 。而对镁合金, 几乎难以确定其补缩距离, 因为不论板件长度如何, 均存在不同程度的缩松, 一般都采用将冒口和冷铁配合使用的方法, 来消除铸件整个断面上分散的疏松缺陷。

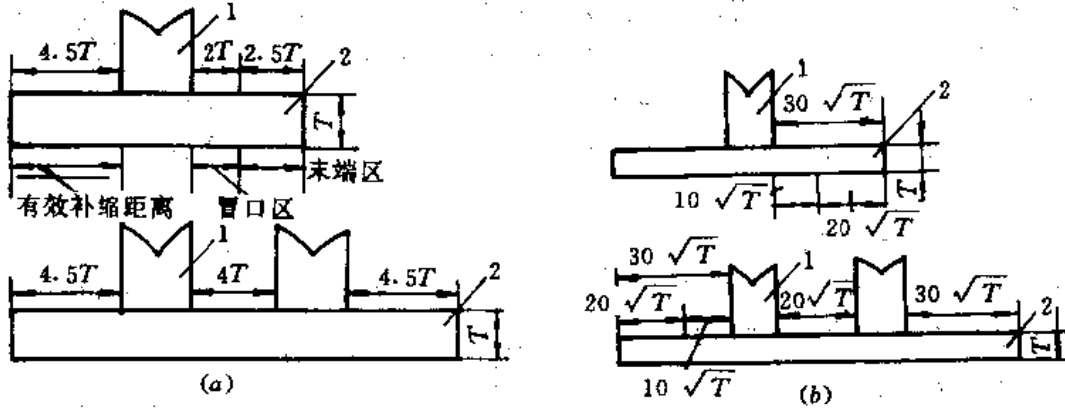


图 15-4 板件及杆件铸钢冒口的补缩距离

(a) 板形件 (b) 杆形件

1—冒口 2—铸件

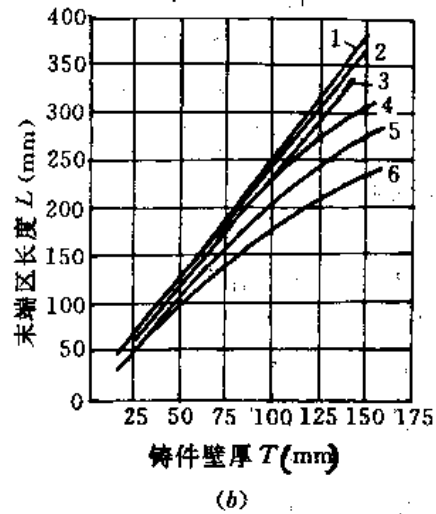
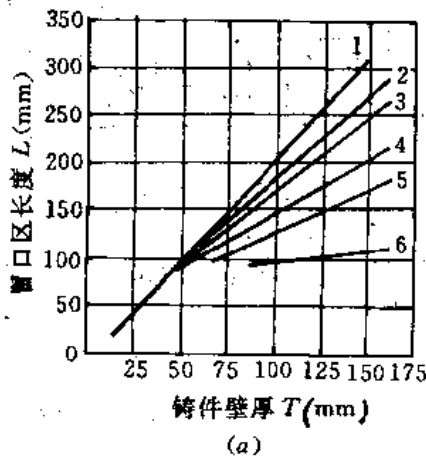


图 15-5

(a) 冒口区长度与壁厚的关系 (b) 末端区长度与壁厚的关系

铸件断面的宽厚比: 1—5:1 2—4:1 3—3:1 4—2:1 5—1.5:1 6—1:1

锡青铜和磷青铜类合金凝固范围一般较宽, 冒口的有效补缩距离较短, 锡青铜板件补缩距离为 $4T$ 、杆件为 $10\sqrt{T}$, 铝青铜和锰青铜的冒口补缩距离为 $5\sim 8T$ 。黄铜的凝固范围较窄, 其冒口补缩距离较大, 锰铁黄铜板件为 $7.5T$ 。

(3) 铸铁件冒口的补缩距离: 灰铸铁件通用冒口的补缩距离如图 15-6 所示。由于可利用石墨化共晶膨胀压力来克服缩松, 灰铸铁件冒口的补缩距离较大。而高牌号铸铁的共晶度低, 结晶温度范围宽, 共晶转变前析出奥氏体, 阻碍补缩, 故冒口补缩距离较小。

球墨铸铁件基本上属于糊状凝固方式,补缩条件不好,因而球铁件冒口的有效补缩距离比灰铸铁小。根据有关资料介绍,当球铁件壁厚在 25.4 mm 以下时,冒口的有效补缩距离在绝大多数情况下为 $(3 \sim 4)T$ 。

2. 铸件的结构形状的影响

铸件的结构和形状对冒口的补缩距离影响很大。形状不同的铸件,其中所形成的补缩通道不一样。板状铸件的补缩通道较宽敞,有效补缩距离可以大一些,而杆状铸件的补缩通道较狭窄,有效补缩距离就应小些,如图 15-4 所示。

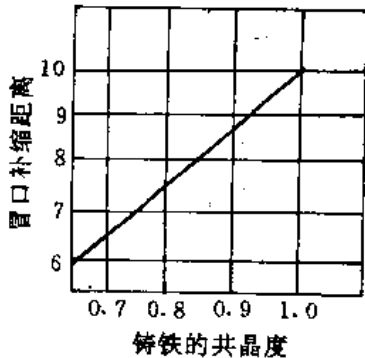


图 15-6 灰铁冒口补缩距离和共晶度的关系

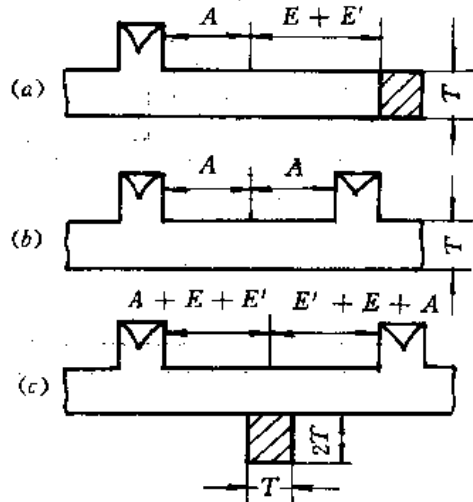


图 15-7 冷铁对冒口有效补缩距离的影响

3. 冷铁的影响

在铸件上合理地安放冷铁利用冷铁的激冷作用使铸件朝着冒口方向的温度梯度增大,加强铸件的顺序凝固,从而增加冒口的有效补缩距离。如图 15-7(a) 所示,由于在板件的端部安放了冷铁,末端区的长度扩大了 E' ,对低碳钢板件 E' 约为 50 mm。

在两个冒口之间放置冷铁,相当于在铸件中间增加了激冷端,如图 15-7(c) 所示,可使原来的冒口作用区 $2A$ 增加了两个末端作用区,于是两个冒口之间的有效补缩距离从 $2A$ 增加到 $2(A + E + E')$ 。

4. 析出气体压力与冒口补缩压力的影响

铸件凝固过程中会析出气体,析出气体的反压力会增加液流补缩的阻力,减小冒口的有效补缩距离。而增大冒口的补缩压力,其有效补缩距离会增加。所以在生产中,采用加大冒口高度,在高压釜中浇注铸件及使用大气冒口等增加冒口补缩压力的措施,都会提高冒口的有效补缩距离。

(三) 工艺补贴的应用

在实际生产中往往有些铸件需补缩的高度超过冒口的有效补缩距离。由于铸件结构或铸造工艺上不便,难以在中部设置暗冒口,此时单靠增加冒口直径和高度,补缩效果很不明显,况且增大冒口会使大量液流经过内浇道,使铸件在内浇道附近和冒口根部因过热而产生疏松。在这种情况下,一般采用在铸件壁板的一侧增加工艺补贴的方法,来增加冒口的有效补缩距离,提高冒口的补缩效率(如图 15-8)。

依在铸件上的位置,补贴可分为垂直补贴和水平补贴两类(如图 15-8)。水平补贴量目前尚无系统资料,对含碳量为 0.25% 的钢铸件实验指出,板形铸件只需 2/100 的斜度;杆件的补贴斜度为 9/100,可供参考。对垂直补贴的板状钢铸件,其补贴厚度与铸件厚度、高度之间的关系曲线见图 15-9。

杆形铸件的有效补缩距离比板件小,需要较大补贴值,才能保证铸件致密。求杆形铸件的补贴值时,首先按杆的厚度从图 15-9 中查出补贴上口的厚度,再根据杆的宽厚比从表 15-1 中查出补偿系数,两者乘积即为杆的补贴上口厚度。

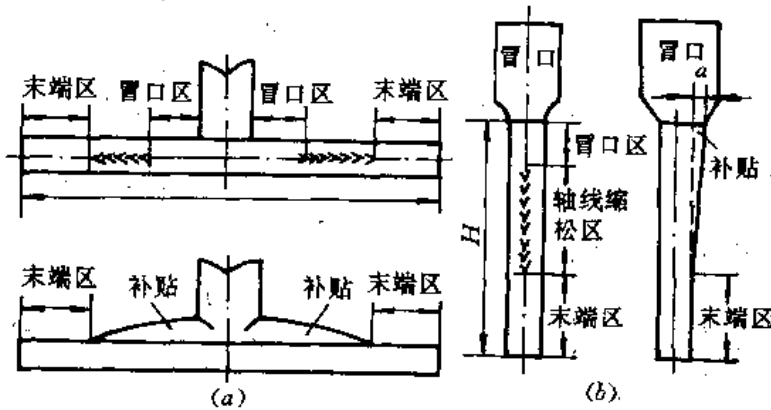


图 15-8 铸件工艺补贴示意图

在铝、镁合金铸造中,工艺补贴一般从铸件末端区之后开始向上取,其斜度为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。有时为了简单,也可以从铸件底部开始向上取,也有用内切圆法来确定冒口的补贴工艺余量。补贴工艺余量,常附加在铸件的加工表面,最后用机械加工的方法切除。

三、冒口位置的确定

冒口位置的选择对获得优质铸件有着重要的意义。冒口位置选择不当,不仅不能消除铸件的缩孔和疏松,反而会使铸件产生裂纹、加重冒口附近的疏松,还会给清理、切割等工序带来不便。

一般情况下,根据铸件结构特点,结合浇注位置、浇注系统类型以及冷铁的应用等工艺因素的影响,先确定铸件的热节位置,侧冒口应就近设在铸件热节的上方或侧旁。冒口应尽量设在铸件最高、最厚的部位。对低处的热节增设补贴或使用冷铁,造成补缩的有利条件。当铸件结构复杂时,通常把铸件划分成几个区域,在每一个区域内设置一个合适的冒口。对于那些壁厚均匀的铸件,则需根据冒口的有效补缩距离来确定冒口的位置和个数。

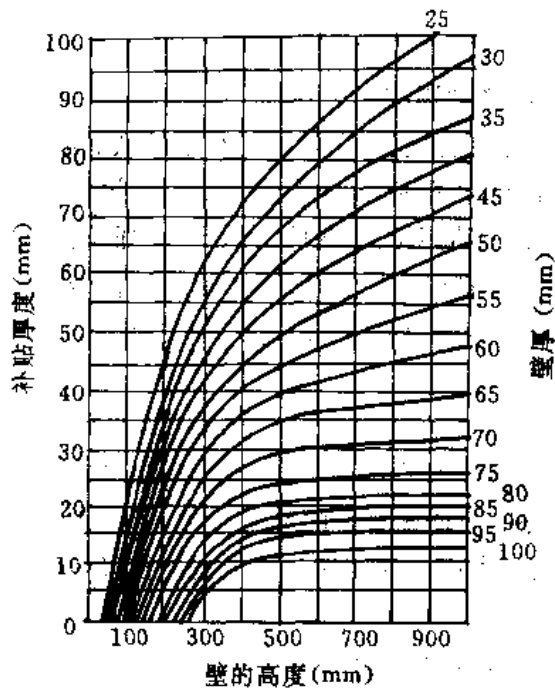


图 15-9 补贴厚度与铸件高度及厚度关系

表 15-1 杆形铸件补贴值的补偿系数

截面宽厚比	补偿系数	截面宽厚比	补偿系数
4:1	1.0	1.5:1	1.70
3:1	1.25	1:1	2.0
2:1	1.50		

在确定冒口位置时应注意下述问题:

(1) 在铸件不同高度上布置冒口时,应采用冷铁等工艺措施将各个冒口补缩区隔离开(如图 15-10 所示),以免引起上部冒口对下部冒口的补缩,使铸件上部产生缩孔或疏松。

(2) 冒口的安置不应使铸件上热量过分集中,否则,不仅会使疏松加重,还会产生热裂。若几个热节相距较近时,可用冷铁或一个尺寸较大的冒口同时补缩这几个热节。

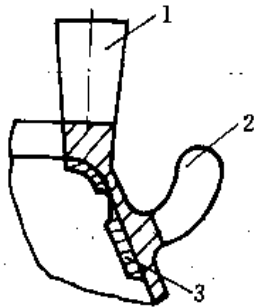


图 15-10 应用冷铁使冒口分区补缩

1—明冒口 2—暗冒口
3—冷铁

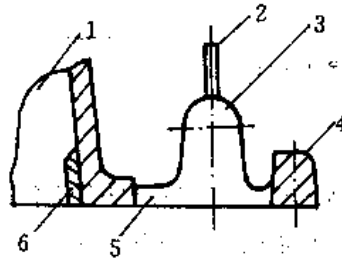


图 15-11 在内浇道上安放冒口示意图

1—铸件 2—出气孔 3—暗冒口
4—横浇道 5—内浇道 6—冷铁

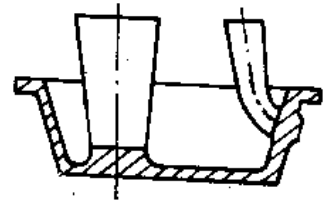


图 15-12 冒口位置不便于切割的实例

(3) 冒口位置应与合金液引入位置相配合,最好安置在内浇道上,使金属液通过冒口进入型腔(如图 15-11 所示)。这样流入型腔的金属液对冒口有预热作用,同时在充填过程中还起一定的挡渣作用。

(4) 冒口的安放应便于铸件的清理、切割、打磨等操作。图 15-12 是冒口位置不便于切割的实例。如将该铸件倒过来放,把冒口移到铸件的上部和外侧,这样既解决了补缩问题,又便于冒口的切割。冒口最好安置在铸件的加工面上,冒口切割后的残痕可在机械加工时去掉。

四、冒口尺寸的确定

合理地确定冒口尺寸,在铸造生产中是一个很重要的工艺问题。目前还缺少一种适合各种合金、各种结构铸件、被大家所公认确定冒口尺寸的办法,往往都采用在特定条件下根据生产经验总结出来的近似算法。因此在应用这些方法时,要注意结合生产的具体情况,才能得到较好的结果。

(一) 比例法

确定冒口尺寸最常用的方法是比例法。尤其是在铝、镁合金铸件的生产中得到广泛的应用。它以冒口根部直径 d_M (或根部宽度) 为冒口的主要尺寸,以铸件热节圆直径 d_j (或厚度 T) 为确定 d_M 的主要依据,即在不同的情况下用 d_j 乘上一定的比例系数求得 d_M ,冒口的其它尺寸

由 d_M 决定。有关工厂根据长期生产实践经验,总结出适用于铝镁合金铸件的比例关系如下。

1. 顶冒口尺寸的确定

(1) 垂直补缩方式 当冒口沿铸件的垂直方向向下补缩时(图 15-13(a)),其补缩效果较好,冒口直径 d_M 与 d_y 的比值可查表 15-2。根据铸件热节圆直径 d_y (或壁厚 T)和铸件高度 H_z 与 d_y 的比值找出 d_M/d_y 的比值,就可算出 d_M 。继而根据冒口高度 H_M 与 d_M 之比值确定冒口高度。根据航空产品铝、镁合金铸件的生产经验, H_M/d_M 约为 1.5 ~ 2.5。冒口高度不能过低(不低于 60 ~ 80 mm),以免补缩效果不好,但也不能过高(不高于 180 ~ 200 mm),因为冒口过高并不能显著提高其补缩作用,反而增加金属液的消耗,使铸件在内浇道附近或冒口附近产生过烧和疏松缺陷。

表 15-2 垂直补缩 d_M/d_y 的比值

d_y (或 T)		< 30	30 ~ 40	40 ~ 70	> 70
$H_z/d_y = 2 \sim 3$	d_M/d_y	1.4 ~ 1.5	1.2 ~ 1.3	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2
		1.5 ~ 1.8	1.4 ~ 1.6	1.3 ~ 1.5	1.2 ~ 1.4

注: d_y ——热节圆直径; d_M ——冒口根部直径;

H_z ——铸件垂直补缩的高度。

(2) 水平补缩方式 冒口沿水平方向补缩铸件(如图 15-13(b)),其补缩效果不如垂直方向好,所以水平补缩的冒口直径要比垂直补缩时大, d_M/d_y 的比值约在 1.1 ~ 2.3 范围内。当铸件较薄时, d_M/d_y 的比值应取大一些,铸件较厚时,则可取小一些。冒口高度的确定方法与垂直补缩时相同。

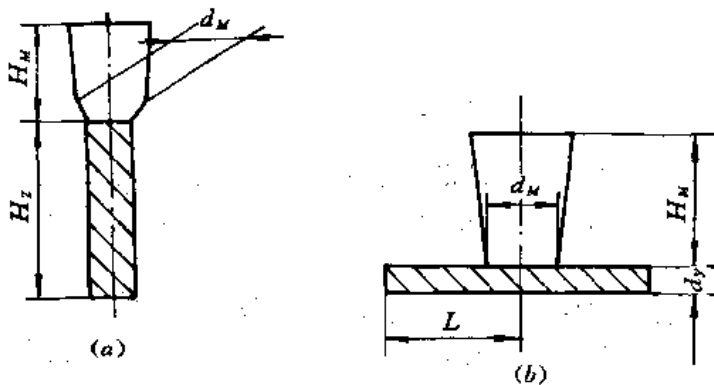


图 15-13 顶冒口的两种补缩方式

在确定了冒口主要尺寸 d_M 和 H_M 之后,还应设计好冒口根部的形状和尺寸。冒口根部与铸件直接相连,因此其形状、大小应与该处铸件的形状大小相符合。当算出的冒口直径小于或等于该处的水平尺寸时(或对补缩作用要求不高时),冒口斜度取 $3^\circ \sim 5^\circ$ (图 15-14(a))。如果算出的冒口直径大于连接处的水平尺寸时(或需要较强补缩作用时),可将冒口根部斜度取为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 直至与算出的冒口直径相连接(图 15-14(b))。如果冒口直径超出铸件水平尺寸很多时(铸件需要很强的补缩作用时),冒口根部的斜度可增至 45° ,或将冒口根部设计成球形(图 15-14(d))。图 15-14(c) 所示的冒口根部形状,尺寸与图 15-14(b) 的基本相同,只是在冒口根部有一个很小的“缩颈”,使冒口根部留有较明显的切割位置标记,便于切割。冒口根部缩颈不宜过高(小于 6 mm),直径不宜过小(不小于冒口根部直径的 90%),否则,将显著影响冒口

的补缩效果。

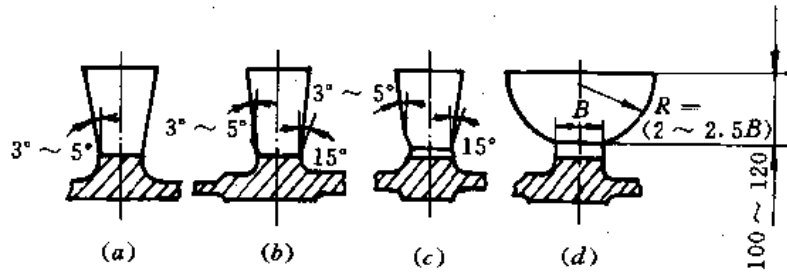


图 15-14 冒口根部与铸件的连接形式

2. 侧冒口尺寸的确定(图 15-15)

由于侧冒口的补缩效果较差,所以选取的比例系数应比顶冒口的大。根据生产中的经验,可按下列比例确定:

$$d_M = (1.5 \sim 2.5)d_y;$$

$$d_m = (1.1 \sim 1.5)d_y;$$

$$H_M = (1.5 \sim 2.5)d_M.$$

当金属液通过侧冒口流入型腔时,冒口尺寸可适当缩小。侧冒口与铸件之间应保持一定的距离,一般可控制在 $(0.15 \sim 0.2)d_M$ 范围内(不小于 15 mm)。如果相距太近将使冒口与铸件之间的型壁受冒口中高温金属液的热作用,加之该处散热困难,从而引起局部过热,使铸件产生缩孔或缩松。相距太远,则会降低冒口的补缩效果。

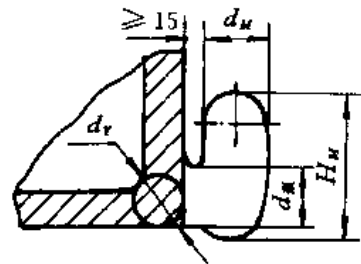


图 15-15 侧冒口尺寸的确定

比例法也适用于各种不同结构的铸钢件,其比例关系式为

$$D = cd$$

式中: D ——冒口根部直径;

d ——铸件被补缩热节处内切圆直径;

c ——比例系数。

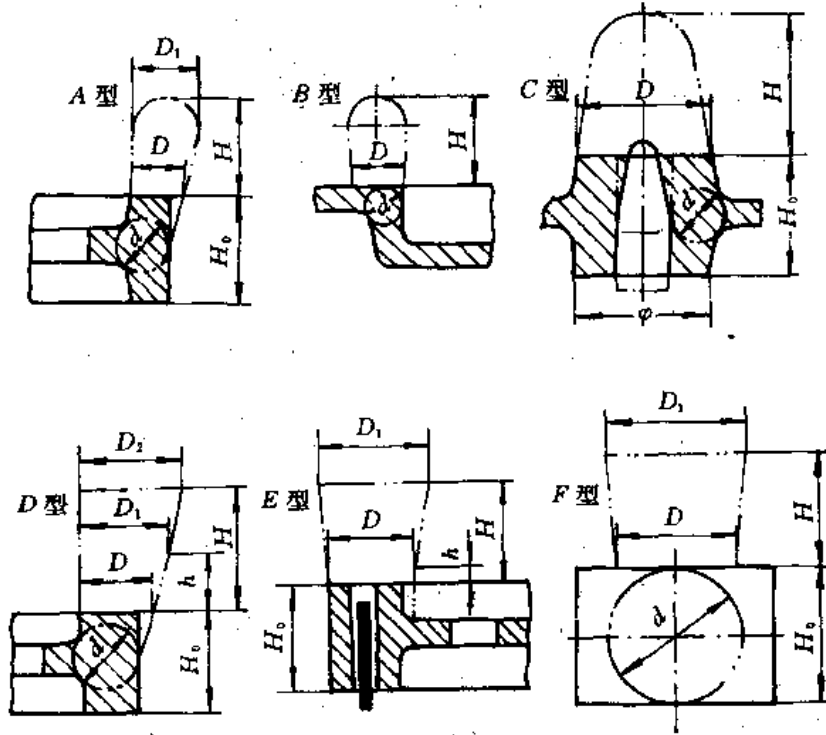
铸件被补缩热节处内切圆的直径可按铸件实际尺寸作图量出,也可以根据铸件相交壁的尺寸计算。比例系数是应用比例法的关键,可根据铸件结构特点及要求高低,参照有关生产经验确定,表 15-3 给出的比例数据,可供参考。应用表 15-3 时应注意以下几点:

(1) 确定 D 的比例系数值在一定范围内变动,当 d 值小时,此值取上限;当 d 值大时,此值取下限。

(2) 冒口 D 值确定以后,再由表 15-3 中选择恰当的比例值确定冒口高度 H 。冒口高度 H 愈大,冒口中合金液的补缩压力愈大,有利于补缩。但是,由于工艺操作等因素, H 也不能选择过大。当 D 值小时,比例系数取上限, D 值大时,比例系数取下限。

(3) 冒口延续度是指冒口根部沿铸件长度方向尺寸之和占铸件被补缩部分长度的百分比。如齿轮铸件轮缘直径为 D_c ,一个冒口沿轮缘长度方向的尺寸为 l ,冒口数量为 n ,则冒口延续度 $L = \frac{nl}{\pi D_c} \times 100\%$ 。相反,按表 15-3 查出冒口延续度,知道冒口个数 n ,据此式即可算出冒口长度 l 值;同样,当 l 值确定时,也可求出冒口的个数 n 。

表 15-3 铸钢件冒口比例关系表



类型	$\frac{H_0}{d}$	D	D_1	D_2	h	H	冒口延续度 (%)	应用实例
A型	< 5	$1.4 \sim 1.6 d$	$1.5 \sim 1.6 D$			$1.8 \sim 2.2 D$	35 ~ 40	车轮、齿轮联轴节
	> 5	$1.6 \sim 2.0 d$				$2.0 \sim 2.5 D$	30 ~ 35	
B型	$1 < d < 50$	$2.0 \sim 2.5 d$				$2.0 \sim 2.5 D$	30 ~ 35	瓦盖
C型	< 5	$D = \phi$				$1.3 \sim 1.5 D$	100	
	> 5	$D = \phi$				$1.4 \sim 1.8 D$	100	
D型	< 5	$1.5 \sim 1.8 d$	$1.3 \sim 1.5 D$	$1.1 D_1$	$0.3H$	$2.0 \sim 2.5 D$	30 ~ 35	车轮
	> 5	$1.6 \sim 2.0 d$				$2.5 \sim 3.0 D$		
E型	< 5	$1.3 \sim 1.5 d$	$1.1 \sim 1.3 D$		15 ~ 20	$2.0 \sim 2.5 D$	100	制动臂
	> 5	$1.6 \sim 1.8 d$				$1.3 \sim 1.5 D$		
F型		$1.4 \sim 1.8 d$	$1.3 \sim 1.5 D$			$1.5 \sim 2.2 D$	50 ~ 100	锤座立柱
		$1.5 \sim 1.8 d$				$2.0 \sim 2.5 D$		

(二) 公式计算法

根据前面所述的冒口设计三条原则,人们推导和总结了各式各样的冒口计算公式。其中尤以“冒口方程式”介绍最多,人们从冒口应比铸件凝固得晚以及冒口应有足够的金属液补偿铸件凝固时的收缩这两条原则出发,经过数学推导,得出了如下通用的冒口方程式:

$$(1 - \beta) \frac{V_r}{V_c} = \frac{A_r}{A_c} \frac{K_r}{K_c} f_r f_b + \beta \quad (15-1)$$

式中： V_r, A_r, K_r ——分别为冒口的体积、表面积和凝固系数；

V_c, A_c, K_c ——分别为铸件的体积、表面积和凝固系数；

β ——需要补缩的金属百分率，常用合金液态和凝固时的体收缩代替；

f_r ——形状因素，表示在体积和模数相同的情况下，铸件和冒口形状对其凝固时间的影响；

f_b ——过热因素，合金过热度对凝固时间的影响。

用“冒口方程式”等公式可以比较方便地算出冒口的尺寸，但所得结果与生产实际尚有一定的差距，因为这些公式都是针对简单形状铸件并作了许多假设推导出来的。而实际铸件结构却比较复杂，影响因素也很多。另外，有关 f_r, f_b 等系数的实验数据很少，所以用公式法来计算复杂的铝、镁合金铸件的冒口尺寸在实际生产中应用还较少。

(三) 模数法

在铸钢件冒口设计中，模数法得到了广泛应用，近年来铸造工艺计算机辅助设计的发展，模数法被认为是一种方便可行的方法。模数法的基本原理有两条：

第一，冒口凝固时间应大于或至少等于铸件被补缩部位的凝固时间。在冒口计算中引入模数概念后，只要满足 $M_{\text{冒}} \geq M_{\text{件}}$ 时冒口就能比铸件晚凝固。

根据实验对于钢铸件来说，只要满足下列比例即能实现补缩。

$$\text{顶明冒口} \quad M_{\text{冒}} = (1.1 \sim 1.2) M_{\text{件}} \quad (15-2)$$

$$\text{侧暗冒口} \quad M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1 : 1.1 : 1.2 \quad (15-3)$$

钢水通过冒口浇注时：

$$M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1 : (1 \sim 1.03) : 1.2 \quad (15-4)$$

式中： $M_{\text{件}}$ ——铸件被补缩处的模数；

$M_{\text{颈}}$ ——冒口颈模数；

$M_{\text{冒}}$ ——冒口模数。

第二，冒口必须具有足够的合金液补充铸件热节处的体积收缩。

$$\text{即} \quad V_{\text{冒}} - V_{\text{冒终}} = \epsilon(V_{\text{冒}} + V_{\text{件}}) \quad (15-5)$$

在保证铸件无缩孔的条件下，式(15-5)也可写成：

$$\epsilon(V_{\text{冒}} + V_{\text{件}}) \leq V_{\text{冒}} \eta \quad (15-6)$$

$$\eta = \frac{V_{\text{冒}} + V_{\text{冒终}}}{V_{\text{冒}}} \times 100\%$$

式中： η ——冒口补缩率， η 的经验数字列于表 15-4；

$V_{\text{冒}}, V_{\text{冒终}}$ ——分别为冒口初始和凝固终了的金属体积；

$V_{\text{件}}$ ——铸件被补缩热节处的体积；

$\epsilon(V_{\text{冒}} + V_{\text{件}})$ ——缩孔体积。

计算冒口时，通常根据第一个基本条件即公式(15-2)、(15-3)或(15-4)确定冒口尺寸，用第二个基本条件校核冒口的补缩能力，即检查是否有足够的合金液补偿铸件的收缩。以上就是模数法确定冒口尺寸的原理。

表 15-4 冒口补缩效率 (η)

冒口种类	圆柱形和腰圆柱形冒口	球形冒口	补浇冒口时	发热保温冒口	大气压力冒口	压缩空气冒口	气弹冒口
$\eta(\%)$	12~15	15~20	15~20	25~30	15~20	35~40	30~35

用以上方法确定和设计的冒口是否合适,尚需生产实践的检验,常用的检验办法是计算铸件实收率。有关工厂都根据本厂铸件的合金种类、结构特点和技术要求的高低,规定了本厂不同类型铸件的冒口设计指标,即铸件实收率的大小。铸件实收率又称工艺出品率,常用下式表示:

$$\alpha = \frac{G_c}{(G_c + G_r + G_g)} \times 100\% \quad (15-7)$$

式中: α ——铸件实收率, (%) ;

G_c, G_r, G_g ——分别为铸件、冒口和浇注系统的重量, (kg)。

将按上式计算的结果与根据生产经验所规定的同类铸件的实收率相比较,若小于经验数据,则说明冒口尺寸过大,应予以适当减小(一般是减小冒口高度)。反之,如果大于本厂的经验数据,则冒口尺寸可能偏小,应适当加大冒口尺寸或采取其它工艺措施提高冒口的补缩效率。

五、评定冒口补缩作用的方法

冒口尺寸确定得是否可靠、合理,冒口是否发挥了有效补缩作用,应通过生产实践的检验,其检验或评定的方法除上述的比较铸件实收率外,还有以下几种方法:

(1) 实际检验铸件质量:按照有关标准和验收技术文件规定的项目来检验铸件质量,如通过 X 光透视检查铸件是否有与冒口设计有关的缩孔和缩松缺陷。此种方法对结晶温度范围较窄,易产生集中缩孔的合金铸件比较有利。

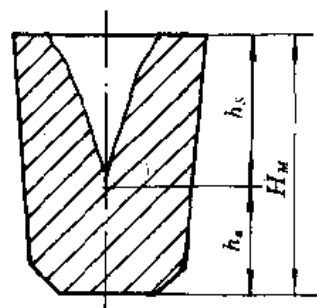


图 15-16 冒口中的缩孔情况

(2) 检验冒口的缩孔深度:从铸件上锯下冒口,再沿其中心线锯开,测定冒口中缩孔的深度,如图 15-16 所示。冒口中的缩孔应与冒口根部有一定的距离(即安全高度 h_a)。因为在缩孔下部附近存有一定的缩松区;同时,冒口中合金液混有某些金属或非金属夹杂物,在补缩过程中它们会随合金液面的下降而下降。

如果缩孔深度(h_s)恰好等于冒口的高度,则缩松区和夹杂物就会侵入铸件。安全高度 h_a 一般控制在 $(0.2 \sim 0.3)d_M$ 的范围内(d_M 为冒口直径)。如果冒口中的缩孔远离根部、即比安全高度 h_a 大很多时,则说明冒口尺寸过大。为了提高铸件实收率,应适当缩小冒口尺寸(一般减小冒口高度)。如果缩孔离冒口根部的距离小于 h_a ,甚至侵入铸件,则说明冒口尺寸过小,应适当增大(一般增大冒口直径或宽度),以保证铸件质量,这种方法对结晶温度范围较窄的合金比较实用。

(3) 测定冒口凝固时间变化率:评定宽结晶温度范围合金铸件的冒口有效补缩作用的最简单易行的方法是测定冒口的凝固时间变化率。冒口凝固时间变化率(F_r)可按上式确定:

$$F_r = \frac{\tau_i - \tau_b}{\tau_b} \times 100\% \quad (15-8)$$

式中： τ_1 ——冒口单独浇注的凝固时间(min)；

τ_2 ——冒口与铸件组合浇注的凝固时间(min)。

把一根套有外径为 2 mm 的双孔陶瓷管的热电偶，置于冒口型腔中心(如图 15-17)，用一台普通的记录仪直接画出冒口凝固时间的温度-时间曲线，则冒口的凝固时间就可从记录纸上量取。

如果冒口在单独和与铸件组合浇注时，所使用的合金种类、浇注温度和铸型材料等工艺条件均相同，当 $\tau_1 > \tau_2$ 时， F_r 为正值，则冒口的补缩通道未被截断，可认为冒口中的热量流向铸件，冒口具有一定的补缩作用。 F_r 增大，冒口给予铸件的热量增多，冒口的补缩作用就大。当 $\tau_1 < \tau_2$ 时， F_r 为负值，说明冒口尺寸过小，热量从铸件流向冒口，冒口比铸件凝固早，起了相反的作用。在用 F_r 来评定冒口补缩作用时，首先要检查冒口与铸件的模数比是否在正常的范围内。

当 $\frac{M_r}{M_c}$ 的比值不在正常范围内时，比较冒口凝固时间变化率 F_r 没有意义。

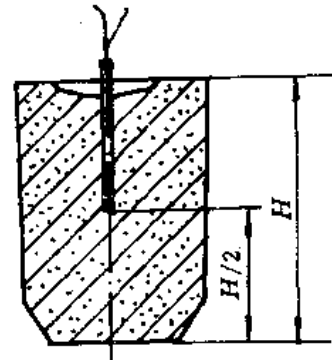


图 15-17 测定冒口凝固时间的示意图

六、提高冒口补缩效率的方法

在铸造生产中，冒口的重量约为铸件重量的 50~100%，在铝合金和镁合金砂型铸造中有的冒口重量甚至是铸件重量的二倍以上，铸件实收率很低，冒口的补缩效率不高、去除冒口的劳动量大。因此，采取措施努力提高冒口的补缩效率，对于节约能量、劳力和降低铸件生产成本具有重要意义。要提高冒口的补缩效率，最有效的途径是增加冒口的补缩压力和延长冒口的凝固时间，在工艺上经常采用的措施有：

(一) 大气压力冒口

在铸钢件生产中，当暗冒口顶面结壳之后会阻断大气压力在液面上的作用，冒口补缩作用差。为克服这一缺点，常在暗冒口顶部插放一个细砂芯，或造型时做出锥顶砂，伸入到冒口中心区，此冒口称为大气压力冒口(图 15-18)浇注后冒口表面结壳，外界大气压力仍可通过砂芯的孔隙作用在内部金属液面上，从而增加了冒口的补缩压力。理论上，大气压力冒口可补缩比冒口高出 1480 mm 的钢、铁铸件。但由于枝晶阻力及金属中气体的析出等原因，实际上的补缩高度 H 约为 200 mm。

机器造型的中小件多用带锥顶砂的冒口，大件，特别是铸钢件多用带砂芯的大气压力冒口。如图 15-18(a) 的暗顶冒口可按前述的普通冒口尺寸确定方法来确定尺寸，冒口高度允许取最小值。大气压力侧冒口(图 15-18(b))其结构尺寸的确定是：首先确定热节圆直径 d_r ，冒口直径 D_m 和冒口颈最小尺寸 b ，其相互之间的比例关系为：

$$b = (1.3 \sim 1.7)d_r \quad (15-9)$$

$$D_m = (2.0 \sim 2.5)d_r \quad (15-10)$$

冒口颈截面最好用椭圆形，短轴长为 b ，长轴为 $(1.2 \sim 1.5)b$ 。

增加冒口补缩压力的特殊冒口还有压缩空气冒口和发气压力冒口等。压缩空气冒口是待冒口和铸件结壳到一定厚度以后，向冒口内合金液面上通入压缩空气以增加补缩压力的冒口，见图 15-19(a)。

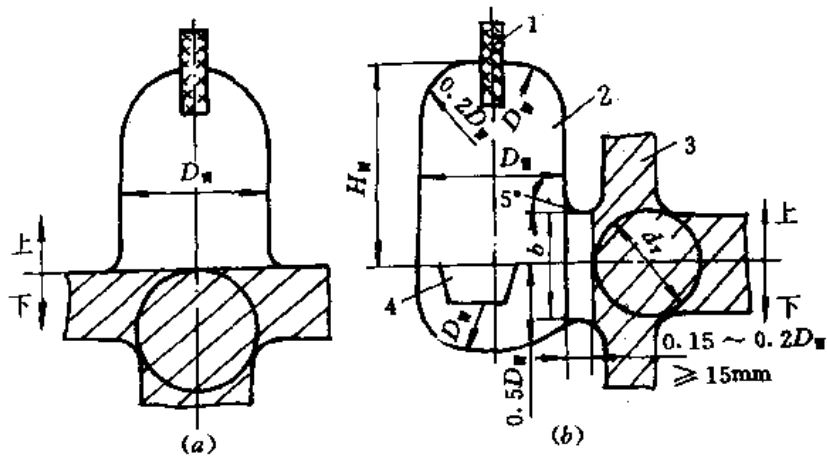


图 15-18 铸钢件用大气压力冒口

(a) 暗顶冒口 (b) 暗边冒口

1—砂芯 2—冒口 3—铸件 4—内浇口

发气压力冒口又名气弹冒口,是利用受热发气的物质作为弹药,装入以耐火材料制成的弹壳内构成“气弹”,将气弹插在暗冒口中见图 15-19(b),浇注后待冒口和铸件已结壳到一定厚度后,气弹内弹药受热发气并爆炸,使冒口内压力达到 0.4~0.5 MPa 大大地提高了冒口的补缩能力。由于发气时间较难控制,且工艺比较繁琐,目前生产上很少采用。

(二) 保温冒口

保温冒口是用保温性能好(即蓄热系数小)的材料制成保温冒口套,置于型腔中,并在冒口顶面覆盖保温板或松散保温粉粒。这些可大大延长冒口的凝固时间,从而提高冒口的补缩效率,减小冒口尺寸,减少金属液的损耗。

保温冒口为什么能够显著提高冒口的补缩效率,我们只要分析一下普通冒口和理想保温冒口的金属平衡图便能确切地回答这个问题。

图 15-20 中 $G_{冒}$ 代表冒口金属重量, $\tau_{铸}$ 、 $\tau_{冒}$ 代表铸件及冒口凝固时间。曲线 a 表示不同时间内由冒口补偿铸件收缩的金属量,曲线 b 表示冒口内尚处于液态和已凝固终止时的金属量曲线,冒口内 1~2 部分表示用于补偿铸件收缩的金属,2~3 部分是为了保持一定压头和防止缩孔及脏物进入铸件的残留金属液余量,3~4 部分是冒口内已凝固的金属。比较图 7-57 普通冒口和保温冒口金属分配情况可以看出,普通冒口 3~4 部分比例特大,且这部分金属对于铸件并不直接起补缩作用,这就是普通冒口补缩效率不高的原因。保温冒口的作用就是把 3~4 部分的金属消耗减少到最低限度。理想的保温冒口要在铸件凝固期合金液完全处于液态,使 3~4 部分趋近于零。

保温冒口的金属利用率与其材料的保温性能有关。保温性能越好,冒口凝固时间越长,冒口的金属利用率就越高。可制作保温冒口的保温材料有:

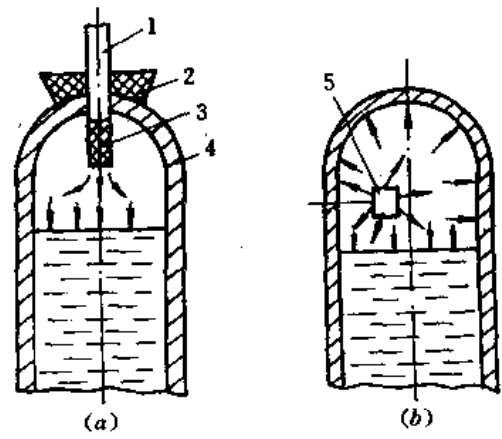


图 15-19 压缩空气和发气压力冒口示意图

(a) 压缩空气冒口 (b) 发气压力冒口

1—压缩空气管 2—耐火砖 3—通气砂芯
4—暗冒口已凝固硬壳 5—气弹

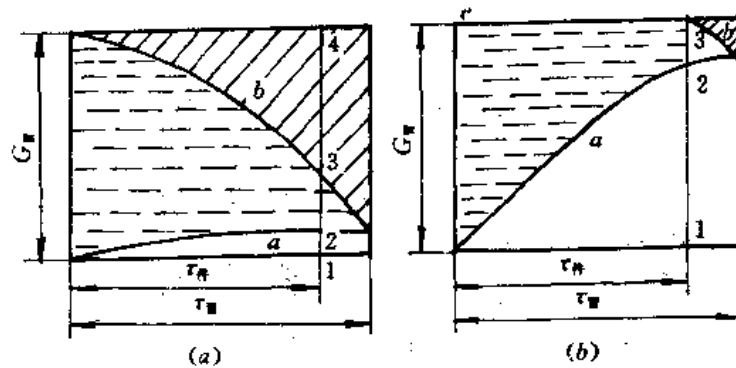


图 15-20 普通冒口和保温冒口金属平衡示意图
(a) 普通冒口 (b) 保温冒口

(1) 纤维类保温材料:常用的纤维类保温材料有矿渣棉和陶瓷棉。矿渣棉是把高炉炉渣或冲天炉炉渣熔化后用高压气体吹成的絮状材料,矿棉中 Al_2O_3 的含量较低(大约 3~20%),保温性能好,但因高温时卷曲收缩大,一般仅用于 500~850℃ 的工作温度。

陶瓷棉是用普通陶瓷(或电熔刚玉)制成的絮状纤维,其中 Al_2O_3 含量一般高于 40% 耐热性能好,可在 850~1250℃ 时使用,但成本较矿棉贵。适用于铝、镁合金铸件的陶瓷棉保温套,唐山陶瓷厂等单位有成品供应。

纤维类保温材料制作保温套一般用木质纤维素作粘结剂,制作工艺比较简单,但劳动条件较差。陶瓷棉具有很好的保温性能,它的蓄热系数约为湿砂型的 1/6。据有关资料报道,在 Al-4.5%Cu 合金板状铸件上应用陶瓷棉保温冒口,与使用普通冒口相比,冒口体积比普通冒口小 4 倍,铸件实收率提高了 25%。

(2) 空心珠体保温材料:此类材料常用的有膨胀珍珠岩和粉煤灰空心微珠两种。膨胀珍珠岩是由含硅土的酸性火成岩矿石经粉碎后在 880~1100℃ 焙烧而成。由于矿石中的水分气化,细粒矿石经膨胀变成空心的珠体,称作膨胀珍珠岩。膨胀珍珠岩耐火度较低,一般在 850℃ 以下使用。膨胀珍珠岩保温性能良好,其蓄热系数仅为湿砂型的 1/5。其材料来源较广,价格便宜,制作冒口套的成型工艺简单(与制造砂芯相仿)。用膨胀珍珠岩制作冒口套时常用水玻璃作粘结剂,其劳动条件较好,在铝、镁合金铸造生产中应用会有明显的效果。

粉煤灰空心微珠是由煤灰经高温熔隔后聚冷形成的玻璃质球。根据其容重大小,一般分为两类:能漂浮于水面的称漂珠,半浮于水中及沉于水底的称微珠,通常通称空心微珠。空心微珠是比较理想的保温材料,颗粒细小、容重低(自然堆集密度 0.34~0.38 g/cm³),热导率极小(常温为 454 J/m·h·℃),保温性能良好,是当前应用较多而且最有前途的保温材料。

在铸钢件的生产中也常用蛭石,大孔陶粒作保温材料来制作冒口套,保温效果也很好。

保温冒口套的厚度和尺寸的设计是否合理对保温效果影响很大。设计保温冒口套时,保温冒口的模数可依下式计算:

$$M_E = \frac{M_r}{E} = \frac{1.2M_c}{E} \quad (15-11)$$

式中: M_E 、 M_r 、 M_c ——保温冒口模数、普通冒口模数、铸件模数;

E ——保温冒口的模数增大系数。

E 可用实验测定。基本原理为:在其它条件相同时,在一型内制造相同几何尺寸的保温冒口,普通冒口各一个。浇注后分别测出两个冒口的凝固时间 τ_E 和 τ 。根据 Chvorinov 公式有

$$E = \frac{\sqrt{\tau_E}}{\sqrt{\tau}} \quad (15-12)$$

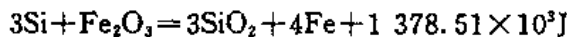
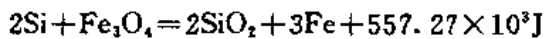
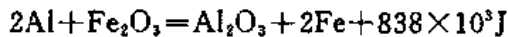
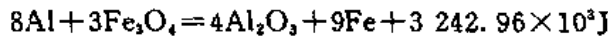
求出保温冒口模数 M_E 后,即可按前述方式确定保温冒口的尺寸。

(三) 发热冒口

发热冒口就是用发热保温材料做成一个发热保温套来代替冒口周围的型砂,构成型腔内表面,浇注后发热套激烈发热,使冒口内合金液温度提高,凝固时间延长,故称发热冒口。图 15-21(a) 为发热明冒口,在合金液面上要撒保温剂。防止冒口顶面散热过快。图 15-21(b) 为发热暗冒口,它比发热明冒口补缩效率更高。

发热冒口主要应用于铸钢件的生产中。它的发热材料由发热剂、保温剂和粘结剂三部分组成,其配方举例见表 15-5。

铝粉、硅铁粉和氧化铁皮等是常用发热剂,在金属液的热作用下,当发热剂的温度超过 1250°C 时,铝和硅都可以激烈氧化而放出大量的热。化学反应生成物的温度可达 3000°C 以上,生成物呈熔融状态成渣子浮在合金液面上,合金液被剧烈加热,温度升高,延长了冒口内合金液的凝固时间,大大地提高补缩效率。发热剂在 1250°C 时产生下列反应:



(四) 易割冒口

为便于铸钢件去除冒口,节省去除冒口劳动量,生产中常在冒口根部放置由耐火材料或油砂芯制成的冒口隔片,以形成冒口根部的缩颈,这种冒口叫做易割冒口,如图 15-22 所示。这对于一些不能用机械方法切除而用气割又容易产生裂纹的高合金钢铸件(如高锰钢)具有特别重要意义。

表 15-5 发热套材料配方举例

序号	膨润土 (%)	木碳粉 (%)	氧化铁 (%)	木屑 (%)	水玻璃 (%)	无烟煤粉 (%)	植物油 (%)	铝屑 (%)	加水 (%)
1	2.5	53.5	10	11	20	—	—	3	20~25
2	2.0	—	15	23	24	30	2	4	适量
3	2.0	25	15	14	25	15	—	4	适量

易割冒口缩颈很小,合金液易于在此凝固而堵塞补缩通道,故合理地确定隔片缩颈直径大小和厚度是关键。在保证足够强度的前提下,隔片越薄越好。此外,在可能条件下,尽量使内浇

口设在隔片上方,让合金液通过隔片和缩颈进入型腔,以延缓缩颈处的凝固时间。

隔片通常用 15% 白泥, 60% 耐火泥, 10% 膨润土, 15% 耐火砖粉, 外加 12% 的水配制而成。制成的隔片要经自然干燥 24 h 后, 再在 1 000~1 100℃ 温度下焙烧 2~3 h 即可使用。

易割冒口尺寸可按以下关系确定:

当铸件被补缩部分延续长度大于 $8d$ 时, $D_{\text{冒}} = (2 \sim 2.5)d$

当铸件被补缩部分延续长度小于 $8d$ 时, $D_{\text{冒}} = (1.5 \sim 1.8)d$

冒口高度: 若为明冒口, $H_{\text{冒}} = (1.5 \sim 1.7)D_{\text{冒}}$; 若为暗冒口, $H_{\text{冒}} = (2.0 \sim 2.2)D_{\text{冒}}$ 。

冒口缩颈 d_1 和 d_2 以及隔片厚度与冒口直径 $D_{\text{冒}}$ 间的关系见表 15-6。

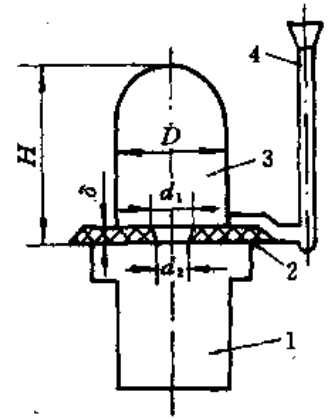


图 15-22 易割冒口结构示意图

1—铸件 2—隔片
3—暗冒口 4—浇口

表 15-6 易割冒口缩颈、隔片厚度与冒口直径的关系 (mm)

冒口直径 $D_{\text{冒}}$	隔片厚度 δ	缩、径 孔 直 径	
		小端 d	大端 d
80	6	25	30
100	7	30	34
120	7	34	40
150	8	34	40
180	10~12	40	46

§ 15-2 冷铁的设计

为增加铸件局部冷却速度,在型腔内部及工作表面放置的激冷物称作冷铁。铸造生产中常将冷铁、浇注系统和冒口配合使用,控制铸件的凝固过程,以获得合格铸件。

冷铁分为内冷铁和外冷铁两种。将金属激冷物插入铸件型腔中需要激冷的部位,使合金激冷并同铸件熔为一体,这种金属激冷物称为内冷铁,内冷铁主要用于黑色金属厚大铸件(如锤座、锤砧等)。外冷铁又分为直接外冷铁和间接外冷铁两类。直接外冷铁是只与铸件的部分内外表面接触而不熔接在一起的金属激冷物,实际上它成为铸型或型芯的部分型腔表面。航空工业常用的铝镁铸造合金,其大部分结晶温度间隔较大,合金密度较小,缩裂、缩松等倾向比较严重,生产中大量使用直接外冷铁来排除铸件的缩松等缺陷。间接外冷铁同被激冷铸件之间有 10~15 mm 厚的砂层相隔,故又称隔砂冷铁、暗冷铁。间接外冷铁激冷作用弱,应用较少。我们主要研究直接外冷铁的设计。

一、冷铁的作用

冷铁的作用分为以下几个方面。

(一) 与浇注系统和冒口配合控制铸件的凝固次序

铸件的缩孔、缩松、热裂等铸造缺陷,大多是在铸件凝固过程中产生的。为了获得合格铸件,必须根据铸件结构特点,确定正确的凝固次序,并控制铸件按这种次序进行凝固。

(1) 形成凝固次序:铝、镁合金铸件常要求铸件按顺序凝固的方式进行凝固,以得到冒口的及时补缩,获得内部组织比较致密的铸件。但是,有时铸件结构本身难以形成顺序凝固,会在铸件内部出现疏松缺陷。如图 15-23 所示的减速机匣铸件,其底部环形安装边厚为 16 mm,液流从侧部开设的内浇道引入,未放冷铁时,底部安装边呈现同时凝固,底部产生疏松缺陷。后来按顺序凝固的原则,在远离内浇道处放置冷铁,使铸件底部的凝固从远离浇道处向着内浇道方向进行,从而得到横浇道(尺寸较大)的补缩,消除了疏松缺陷。

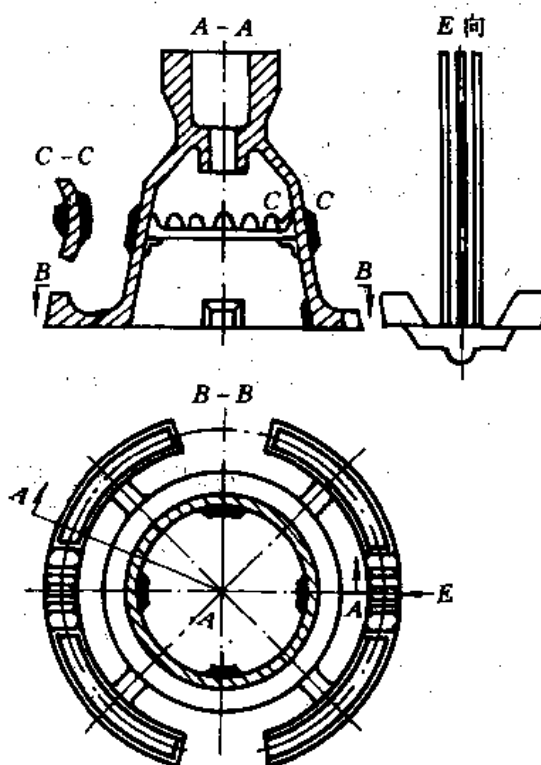


图 15-23 减速机匣的冷铁设置方案

(2) 改变铸件的凝固次序,使之顺序凝固:常见的铝、镁合金铸件为图 15-24 所示的壳体类铸件(机匣等)。此类铸件两端常有安装边或凸台,壁厚较大,而中间部位连接壁较薄。根据铸件结构及浇注系统,冒口的设置情况,铸件中间部位最早凝固,下端法兰次之,上部厚大部位最后凝固。显然按这样的凝固次序,下端法兰的凝固将得不到上部冒口的补缩,在下部法兰边和转角处将会产生缩孔和疏松。如果在下部法兰的底部设置尺寸足够大的冷铁,借助冷铁的激冷作用,改变原来的凝固次序,则成下部法兰首先凝固,中部连接壁次之,上部法兰最后凝固。这种自下而上的顺序凝固,使铸件凝固时得到充分补缩,从而消除下部法兰处的疏松缺陷。

(3) 增大凝固过程的温度梯度,使凝固次序更加明显:铝、镁合金大部分都有较大的结晶温度间隔,如 ZM5(127℃),ZL301(180℃)等。这些合金铸件在凝固时,凝固区宽度较大,补缩性能很差。即使有较大的冒口,铸件凝固时也是顺序凝固,但凝固次序不明显,凝固过程中温度梯度不够大,补缩通道不够畅通,凝固后仍会出现疏松缺陷。

对这种情况,在铸件端部放冷铁,则会加强铸件向着冒口方向的凝固次序,增大铸件凝固时的温度梯度,增强冒口的补缩作用。

(4) 加速铸件局部厚大部位的凝固速度,使之与周围部分同时凝固:由于使用上的需要,铸件上常有局部厚大部位,如凸台、法兰等。在凝固时这些部位由于壁厚较大,往往比周围的连接壁凝固的晚,得不到足够的液体金属补缩,产生缩孔、疏松和热裂纹。在这些局部热节处放置冷铁,可使热节比临近的连接壁早凝固,或与周围的连接壁同时凝固,以防止在这些热节部位产生缩孔或疏松缺陷。

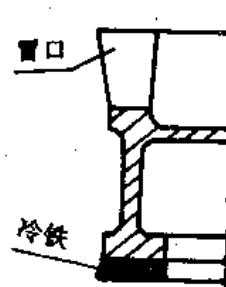


图 15-24 壳体铸件的冷铁设置方案

图 15-23 所示的减速机匣铸件的中部安装边有较多的凸台。每一个凸台都是一个小的热节。最初方案是在凸台的内侧下部安置冷铁,由于激冷作用不够,在凸台外侧经常出现疏松,缩凹和缩裂等缺陷。后来在凸台内外两侧均放置厚度为 5 毫米的冷铁,使凸台与匣体壁同时凝固,消除了疏松等缺陷(如图 15-23 之 C-C 局部剖视)。

常见的铝、镁合金支架类铸件,一般属受力件,但往往对气密性要求不高,允许其中存在程度轻微的轴线疏松。此类铸件的局部厚大部位,一般常用尺寸合适的冷铁激冷,使之与周围连接壁同时凝固,避免在该处出现缩孔,影响铸件的使用要求。

(二) 加速铸件的凝固速度,细化晶粒组织,提高铸件的力学性能

铝合金和镁合金铸件,特别是某些发动机铸件,往往要求整个铸件或局部有很高的力学性能,对气密性也有要求。铸件在凝固过程中不仅要有较大的温度梯度,还要求较快的凝固速度。凝固速度越快,铸件的晶粒越细,晶轴之间的次生相、疏松、气孔和夹杂也越弥散,越细小,热处理后越易于得到均匀组织,因而不论是铸态,还是热处理状态都有较高的力学性能。同一种合金,金属型铸造出来的力学性能比砂型铸造出来的高,就是这个道理。据有关资料介绍,AlSi₇Mg 合金铸件试验表明,砂型铸造使用正确设计的冷铁,拉伸强度提高 50%,延伸率提高 70%,这证明冷铁对提高合金塑性的效果特别显著。

砂型铸造时提高凝固速度的有效办法是放置冷铁,尤其是放置冷铁的板件端部,其凝固速度比不放冷铁时快得多。有关实验资料认为,使用冷铁后凝固速度比湿态砂型提高 1.6 倍,比干砂型提高 1.7 倍。

有资料还介绍,铝、镁合金铸件使用冷铁后可使晶界上的金属夹杂物和杂质弥散分布,从而提高机械性能。例如美国标准 195 合金(相当于我国的 ZL203),糊状凝固方式时,在晶界上大约有占重量 10% 的共晶体,这种共晶体含有 33% 很脆的 CuAl₂ 化合物,使合金力学性能大大降低。使用冷铁后,由于冷却速度加快,有利于 CuAl₂ 呈较大的弥散析出。195 合金在未使用冷铁时,力学性能 $\sigma_s = 254.8 \text{ Mpa}$, $\sigma_t = 171.5 \text{ MPa}$, $\delta = 3\%$,而使用冷铁之后, $\sigma_s = 392 \text{ Mpa}$, $\sigma_t = 205.8 \text{ Mpa}$, $\delta = 18\%$ 。对比证明,使用冷铁后力学性能大大提高。

对于铝合金铸件,使用冷铁还可降低其针孔度。因为铝铸件的厚大部位在砂型冷却的条件下,由于凝固速度慢,合金中的氢易于在晶界间析出而形成针孔。放置冷铁后,由于冷铁的激冷作用,凝固速度加快,氢将饱和于晶粒内来不及析出,从而降低铸件的针孔度。例如,某铝铸件的厚大部位约为 40 mm,薄壁处为 10 mm 左右,在厚大部位放冷铁后,针孔度大大降低,低倍组织观察针孔度为 1~2 级,而未放冷铁的较薄部位,针孔度却高达 3~4 级。

除了以上这些作用外,冷铁还可用来划分冒口的补缩区域,控制和扩大冒口的补缩范围,提高冒口的补缩效率,这些已在有关章节中详细阐明,此处不再赘述。

二、冷铁材料的选择

可以制作冷铁的材料很多,凡是比砂型材料的热导率、蓄热系数大的金属和非金属材料均可选用。生产中常用的冷铁材料有铸铁、铝合金、石墨和铜合金等,各种冷铁材料的热物理系数见表 15-7。

从表上可以看出,铸铁冷铁的蓄热系数较大,可以吸收较多的热量,有比较强的激冷能力。铸铁冷铁制作方便、成本低廉,在铝、镁合金铸造生产中得到广泛应用,尤其放在铸件底部或末端以加强铸件的凝固次序时,一般用铸铁冷铁。但是,铸铁的导热系数比较小,激冷速度比较

慢,对于局部小的热节,要求激冷速度快时,使用铸铁冷铁,效果较差。

表 15-7 各种冷铁材料的热物理性能

材料种类	热性能 温度 (°C)	密度 ρ (kg/m ³)	比热 c (J/(kg·°C))	热导率 λ (W/(m·°C))	蓄热系数 b (J/(m ² ·°C))	导温系数 a (m ² /s)
铜	20	8 930	385.2	392	3.67	1.14×10^{-4}
铝	300	2 680	941.9	273.8	2.52	1.1×10^{-4}
铸铁	20	7 200	669.9	37.2	1.34	7.78×10^{-6}
铜	20	7 850	460.5	46.5	1.3	1.28×10^{-5}
铜	1 200	7 500	669.9	31.5	1.26	6.3×10^{-5}
人造石墨	—	1 560	1 356.5	112.8	1.55	—
镁砂	1 000	3 100	1 088.6	3.5	0.344	1.03×10^{-4}

铜冷铁的激冷能力与铸铁相似,对于一些形状比较规则的矩形、圆形冷铁,常用型材直接加工制作。铸钢件生产中由于浇注温度高,大都使用铜冷铁。

铝质冷铁热导率比铸铁大,激冷速度快。一般工厂,铝冷铁都在本车间生产,制造方便,成本低,周期短,应用广泛,尤其对要求快速激冷的局部热节,常用铝冷铁。由于铝冷铁制备容易,铸件的理论型面,转角处放置的成型冷铁一般都用铝制冷铁。但是铝冷铁熔点较低,所以在受金属液包围,热量不易扩散的部位尽量不使用,以免将冷铁和铸件熔焊在一起。铝的热容量比较小,所以在冷铁体积相同的情况下,其激冷能力比铸铁低,对于热节较大部位应使用铸铁冷铁。铝冷铁使用次数增多时,激冷效应会逐渐降低。这是由于铝冷铁在反复使用后,表面氧化和腐蚀,生成一层热导率,比铝低几十倍的疏松氧化膜,造成很大的热阻而使激冷效果急剧下降。所以铝冷铁最好经过阳极化处理,使用过程中妥善维护、保管,并经常检查表面质量。

对石墨冷铁的激冷作用众说不一,这是由于不同种类石墨的晶形结构有很大差别,激冷效果也相差很大。石墨强度低,易于损坏,所制冷铁难以反复使用,近几年石墨冷铁的应用已越来越少。

从表 15-7 可看出,铜冷铁的热导率和热容量都比较大,激冷作用很强。在金属型铸造中铜冷铁常用于某些要求迅速激冷的部位,以控制铸件的凝固次序。但铜合金价格贵,材料比较短缺,在砂型铸造中较少使用。

三、冷铁的设计

冷铁的设计是铸造工艺设计的一个重要组成部分,它对获得合格、优质铸件起着很大的作用。设计冷铁的主要内容是确定冷铁放置的位置,冷铁的形状和尺寸。

(一) 冷铁安放位置的确定

冷铁能否充分发挥作用,关键在于安放的位置是否合理。确定冷铁在铸型中的位置,主要取决于要求冷铁所起的作用以及铸件的结构、形状,同时还需要考虑冒口和浇注系统的位置。

(1) 要求冷铁所起作用的分析: 确定冷铁在铸型中的位置,必须弄清要求该冷铁所起的作用。由于需要自下而上顺序凝固的铸件,一般将冷铁放在铸型的下部。即使铸件底部不是很

厚大,为了加强铸件自下而上的顺序凝固次序,增加凝固过程的温度梯度,也在铸型底部放置冷铁。如图 15-25 所示的壳体铸件,其上下壁厚基本均匀,但为了加强顺序凝固,仍在铸型底部放置冷铁。

对于铸件上的某些局部热节,为使其早凝固或整个铸件同时凝固,冷铁自然应放于热节部位,或热节附近,如图 15-26 所示。

结晶温度间隔宽的合金,常在转角处产生热裂和缩松,若在转角处设置冷铁,对防止热裂有明显的作。

(2) 铸件结构的分析:为了确定冷铁的安放位置,必须先分析该铸件的结构特点,找出其厚大的部位。在不宜安放冒口的厚大部位一般均应放冷铁。在分析铸件结构时,还应考虑浇注系统,冒口等的影响。有些部位从结构上看不算厚大,但由于大量合金液由此经过,如靠近内浇道处,或被金属液所包围的型芯部位,散热条件很差,也应该放冷铁。相反,铸件某些部位虽然比较厚大,但若该处散热条件极好,或距冒口很近,易于得到充分补缩,也可以不放冷铁。

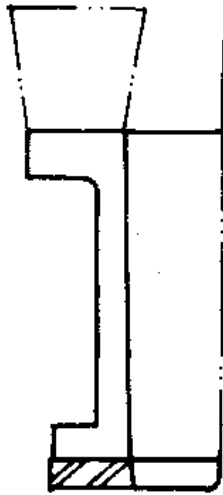


图 15-25 加强顺序凝固时的冷铁位置

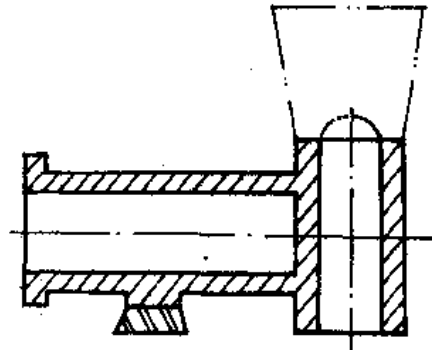


图 15-26 局部热节处的冷铁

壁厚较大的镁合金平板类铸件,水平浇注时,由于水平面积较大,易于燃烧,在铸件底部放冷铁,可以减少铸件的燃烧缺陷。但对于薄壁平板件,则尽量少用或不用冷铁,即使非用不可时,也不应在大面积上使用冷铁,避免铸件产生浇不到缺陷。

(3) 与冒口配合使用:由于冷铁没有补缩作用,铸件和热节的补缩仍由冒口供给,所以冷铁位置的确定应与冒口的位置同时考虑。冷铁位置应与冒口有一定的距离,使铸件凝固时沿着从安放冷铁部位向冒口方向顺序凝固,有人称冷铁与冒口之间的距离为冷铁的作用距离。冷铁作用距离与冷铁材料的热物理性能、铸件的合金种类及壁厚尺寸有关。合金结晶温度间隔越宽,铸件壁厚越小,铸件技术要求越高,冷铁与冒口之间距离应相应缩小。实际生产中此距离应如何选定,由于铸件种类很多,各厂生产条件差别很大,还缺少大家公认的参考数据。对于不同种类的铸件,可参照冒口一节中冒口有效补缩距离的有关经验数据,根据铸件的实际情况和技术要求予以选定。厚大部位放置冷铁时,必须考虑该部位是否能得到冒口的补缩。冷铁距冒口过远或补缩通道过早被堵塞,得不到液体金属的补缩时,即使放置冷铁也不能消除铸件的疏松,只不过使疏松缺陷移向别处而已。

(4) 浇注系统及引入位置的影响:选择冷铁安放位置时,还要考虑浇注系统及引入位置对铸件温度分布和冷铁作用的影响。采用底注式浇注系统时,一般均在铸件底部放置冷铁。采用缝隙式浇注系统时,除在铸件底部放冷铁外,还应在远离缝隙处(两个立缝之间)放置冷铁,增大立筒的横向补缩作用。由于流路影响过热,在缝隙附近有时亦会出现轻微疏松和裂纹,一般用增大缝隙厚度以增强立筒的补缩能力来解决,尽量不用冷铁,避免由于冷铁的激冷作用,使缝隙处先冷而破坏顺序凝固的次序,或者使疏松移位,并产生新的缩裂缺陷。如图15-27所示的镁铸件,壁厚为5 mm,缝隙厚度为6 mm,在缝隙处产生疏松缺陷,在缝隙对面放冷铁后,却在冷铁边缘出现热裂纹。后来增加缝隙厚度,并在缝隙对面,开冷却筋后,疏松被排除。确需在缝隙处放冷铁时,应严格控制冷铁尺寸,并精心设计冷铁的形状。

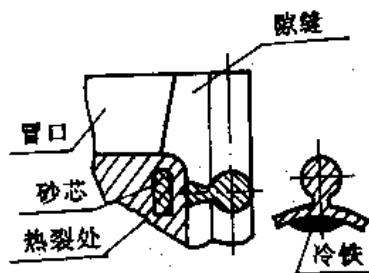


图 15-27 隙缝附近放冷铁示意图

铝、镁合金铸件采用底注式浇注系统时,若内浇道流量过大,会在内浇道附近因局部过热产生疏松缺陷。排除这种缺陷的有效途径是分散开设内浇道,减少流量集中,应尽量避免在内浇道下面放置冷铁。因为大量液流从冷铁上面流过,会使合金温度急剧降低,容易引起铸件冷隔和浇不到。必须设置冷铁时,也应放在内浇道的对面位置。

(二) 冷铁形状的确

冷铁的形状取决于使用冷铁部位铸件的形状和冷铁所起的作用。常用冷铁分为成型冷铁和平面冷铁两类,其形状如图15-28所示。在铸件理论型面及转角处一般使用成型冷铁,冷铁的形状应与放置冷铁的铸件形状相符合。在铸件底部、端部和平面部分,常放置平面冷铁。实际生产中常使用长方形、圆形、方形的冷铁。其厚度一般为10、12、15、20、30 mm。也常制出一批长、宽尺寸不同、直径不同的标准冷铁供生产中选用。这样有利于管理、有利于缩短试制和生产周期。

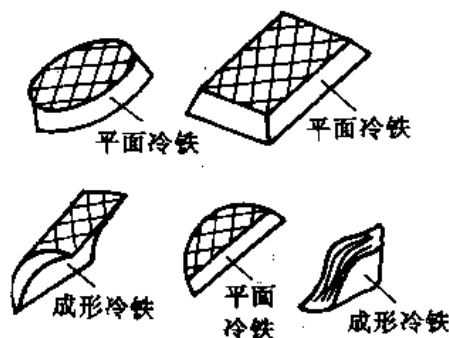


图 15-28 冷铁的形状

(三) 冷铁尺寸的确

(1) 冷铁的厚度:确定冷铁的尺寸主要是确定冷铁的厚度。虽然已有人提出了根据铸件凝固时的热分析或冷铁的激冷能力来计算冷铁厚度的方法,但与实际应用还有很大的距离。目前生产中是根据冷铁的作用和冷铁处铸件热节的大小来确定冷铁的厚度。

为了实现和加强铸件的顺序凝固以提高冒口的补缩效率而设置的冷铁,特别是冷铁置于铸件底部或末端时,冷铁的厚度可选大一些。对铝镁合金铸件,采用铸铁冷铁时,冷铁厚度一般为铸件厚度的1~1.2倍,采用铝冷铁时,冷铁厚度为铸件厚度的1.2~1.5倍。冷铁的激冷效应随冷铁厚度的增加而增加,但到一定厚度后,就不再增加了,因而不能无限制地增大冷铁厚度。

在铸件局部热节处安放冷铁,要求热节处和邻近连接壁同时凝固时,该冷铁的厚度应有严格的要求。对铝镁合金铸件,一般取热节处厚度的0.8~1.9倍,对铸钢件,取0.3~0.8倍,对灰铸铁件取0.25~0.5倍。至于采用单面冷铁还是双面冷铁,可根据热节处的厚度 t 与连接壁

壁厚 T 的大小按下列经验公式确定(图 15-29)。

当 $t \leq 2T$ 时,采用单面冷铁,如图 15-29(a) 所示。当 $2T \leq t \leq (3 \sim 4)T$ 时,采用双面冷铁,如图 15-29(b) 所示。当 $t > 4T$ 时,只用冷铁已不能消除疏松,必须采用冒口补缩才行。一边放冷铁,另一边放冒口或暗冒口,将冒口和冷铁配合使用效果最好。

(2) 冷铁的工作表面积:冷铁有一定的激冷面积,对铸件的大平面,尤其是铸钢件大平面不宜放置壁厚不变的大块冷铁。在大型铸钢件的厚壁平面上常散布若干小块冷铁来组成冷铁组,这样常要计算一个冷铁能激冷多大面积,即要计算冷铁的工作表面积。

设在铸件底面和内侧面的外冷铁,在重力和铸件收缩力作用下同铸件表面紧密接触,称为无气隙外冷铁;设在铸件顶部和外侧的冷铁属于气隙外冷铁。对于铸钢件,无气隙外冷铁的激冷效果,相当于在原有砂型的散热表面上,净增了两倍的冷铁工作表面积($A_i = A_0 + 2A_{c1}$);有气隙外冷铁的效果,相当于在原有的砂型散热面积上净增了一倍的冷铁工作表面积($A_i = A_0 + A_{c2}$)。应用了外冷铁使铸件凝固时间缩短,相当于使铸件模数由 M_0 减小为 M_1 ,由此可导出外冷铁工作表面积 A_i 。

对无气隙外冷铁有

$$A_{c1} = \frac{A_i - A_0}{2} = \frac{\frac{V_0}{M_1} - \frac{V_0}{M_0}}{2} = \frac{V_0(M_0 - M_1)}{2M_0M_1} \quad (15-13)$$

对有气隙外冷铁有

$$A_{c2} = A_i - A_0 = \frac{V_0}{M_1} - \frac{V_0}{M_0} = \frac{V_0(M_0 - M_1)}{M_0M_1} \quad (15-14)$$

式中: V_0 ——铸件被激冷处的体积;

A_i, A_{c1}, A_{c2} ——冷铁工作表面积、砂型等效面积、铸件的表面积;

M_0, M_1 ——铸件原模数,使用冷铁后铸件的等效模数;

$$M_1 = \frac{V_0}{A_i} = \frac{V_0}{A_0 + A_{c2} + 2A_{c1}}$$

其中 A_{c1}, A_{c2} 为无气隙、有气隙冷铁工作面积。

铸造设计人员可依工艺需要确定 M_1 的大小,然后利用式 15-13、15-14 计算出外冷铁的工作表面积。当实现同时凝固时, M_1 等于热节四周薄壁部分的模数;实现顺序凝固时, $M_1 = (0.83 \sim 0.91)M_s$, M_s 是热节旁补缩壁的模数。经验证明,只有满足 $M_s \geq 0.67M_0$ 的条件下,才能用外冷铁消除热节的影响。

(3) 转角处冷铁的尺寸:为了防止铸件转角处产生热裂或缩松而安置的冷铁,对冷铁尺寸要求不很严格,但冷铁形状应与铸件圆角贴切,防止形成尖的砂棱角,避免合箱时掉砂,如图 15-30 所示。

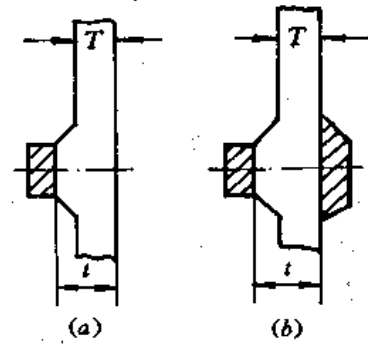


图 15-29 单面冷铁和双面冷铁的应用情况

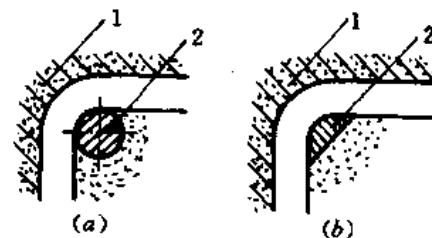


图 15-30 防止冷铁边缘形成尖砂的示例

(a) 不正确 (b) 正确

1—铸型 2—冷铁

各种冷铁的尺寸一般不宜过大,长度尺寸不大于 200 mm。冷铁尺寸过大,反复使用后会 出现变形,既降低冷铁的激冷作用,又影响铸件尺寸精度。较长或面积较大的冷铁,应分块使用,冷铁与冷铁之间应留有间隙。

冷铁之间的间隙一般为 3~5 mm,间隙过小,造型时间隙中的型砂不易紧实,合箱时易掉砂,并易钻入金属液,形成披缝,阻碍铸件的收缩造成热裂缺陷。间隙过大,在间隙处形成热节,出现缩松和缩裂缺陷。

冷铁的厚度大小应逐步向边缘处减薄,使激冷作用缓和过渡,避免铸件在冷铁边缘产生裂纹,对于镁合金铸件,尤为重要。

冷铁工作表面一般应开设通气槽。回用冷铁应进行吹砂处理,以去除表面的旧砂、油污和氧化物。冷铁工作表面应涂敷石英砂,防止冷铁和铸件熔焊在一起。

复习思考题

1. 冒口有什么作用?设计冒口时应遵循哪些基本条件?
2. 冒口分为哪几类?各有什么特点?
3. 选择冒口形状时主要考虑哪些内容?
4. 在铸件凝固过程中,为什么要注意保持补缩通道的畅通?结晶面夹角和补缩通道有何关系?温度梯度与补缩通道有何关系?试分析说明之。
5. 如何根据铸件合金种类、壁厚大小及结构形状的不同来确定冒口的补缩距离?
6. 如何确定工艺补贴的尺寸大小?
7. 如何确定冒口的位置?应注意哪些问题?
8. 如何用比例法来确定冒口的尺寸?
9. 说明公式 $(1 - \beta) \frac{V_r}{V_c} = \frac{A_r}{A_c} \frac{K_r}{K_c} f_r f_c + \beta$ 中各参数的意义及确定方法。
10. 用模数法计算冒口有何优点?
11. 灰铸铁的冒口应如何设计?
12. 如何评定冒口的有效补缩作用?
13. 如何提高冒口的补缩效率?
14. 冷铁在铸件凝固过程中起什么作用?如何根据不同的目的来确定冷铁的放置位置及尺寸大小?
15. 如何选择冷铁材料?
16. 对铝、镁合金铸件为什么提倡将冒口和冷铁配合使用?

第十六章 铸件图和铸型图的绘制

在铸造工艺设计中,特别是航空航天产品的工艺设计中,均需绘制铸件图和铸型图,它们是指导铸造生产的主要工艺技术文件。

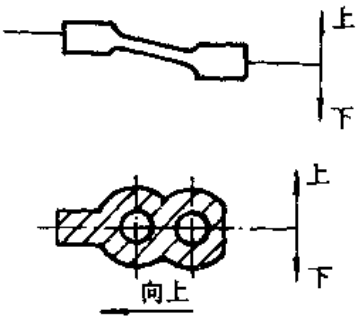
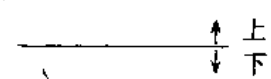
§ 16-1 铸件图的绘制

铸件图是铸造工艺设计过程中,在初步确定铸造工艺方案(画出铸造工艺方案草图)后首先要完成的工作蓝图。它是设计铸型工艺及其装备、编制铸造工艺规程和铸件验收的重要依据。绘制铸件图时,需要参考的资料有:产品零件图、铸造工艺方案草图(有时可在零件图上直接描画出铸件浇注位置、铸型分型面、浇冒口系统形式及其位置和砂芯的大概结构等工艺方案)、铸件专用或通用的技术标准和由各厂自定的铸造工艺设计标准等。

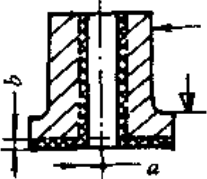
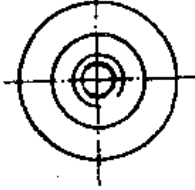
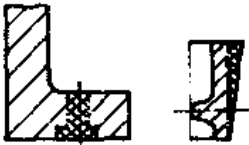
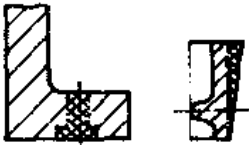
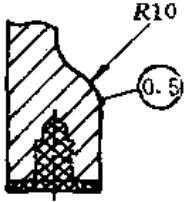
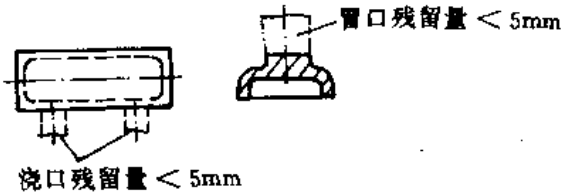
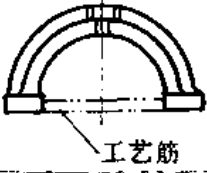
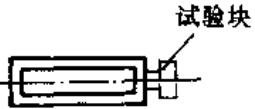
在铸件图上一般应表示下列内容:铸件的浇注位置、铸型分型面、机械加工余量、工艺余量(包括工艺凸台和工艺筋)和工艺补正量、机械加工基准和划线基准、浇冒口切割后的残留量、铸件力学性能的附铸试样和需打印标记的部位等;同时在附注栏中还应说明,铸件精度等级、铸造斜度(拔模斜度)、铸造线收缩率、铸造圆弧半径、铸件热处理类别、硬度检查位置和某些特殊要求等铸件验收技术条件。

铸件图上只需注出铸件主要外廓的长、宽、高度尺寸以及加工余量和需要加工切除的工艺余量、工艺筋等尺寸;铸件尺寸公差除有特殊要求必须标注外,其余一般公差不必在每个尺寸上标注。但也有些工厂习惯于将铸件的全部尺寸都标注在铸件图上,以便于铸型设计、划线检验及机械加工。铸件图实例如图 16-1 所示。铸件图的习惯画法及常用符号如表 16-1 所示。

表 16-1 铸件图上常用符号的表示方法

符号名称	表示方法	说明
浇注位置和分型面		<p>铸件图上的主视图的位置应尽可能选取铸件在浇注时的位置,当浇注位置与分型面位置一致时,可以不再表示(如上图)。否则应用符号“↑”和文字“向上”(如下图)。指出向上的浇注位置</p> <p>分型面就在分型处用符号表示:</p> 

续 表

符号名称	表示方法	说 明
机械加工初基准和划线基准		<p>用符号“↑”指向加工初基准,有时在俯视图平面上可用符号“⊙”表示;划线基准的表示方法与加工初基准相同</p>
机械加工余量		<p>在铸件剖面上用互相垂直交叉的细实线表示机械加工面,原铸件的轮廓线用假想表示,在视图上铸件未剖到的部分也用假想线表示原轮廓线,在图上应注明加工余量的大小</p>
铸件上不加工的槽孔		<p>不铸出的小孔和槽在图中不必画出,而尺寸较大的孔、槽须表示出来,其方法与机械加工余量相同,如左图所示</p>
工艺余量		<p>与机械加工余量表示的方法相同,如右图所示。</p>
工艺补正量		<p>在需要增加工艺补正量部位的旁边画个圆圈,圆圈内填写补正量的数值,并用箭头指向补正部位,如左图所示</p>
浇注系统和冒口的残留量		<p>在内浇道和冒口根部用断裂线表示,并用文字标出规定的残留量</p>
工艺筋		<p>用假想线表示,其尺寸按比例画,并用文字说明</p>
附铸试验块		<p>用假想线表示,并用文字说明</p>

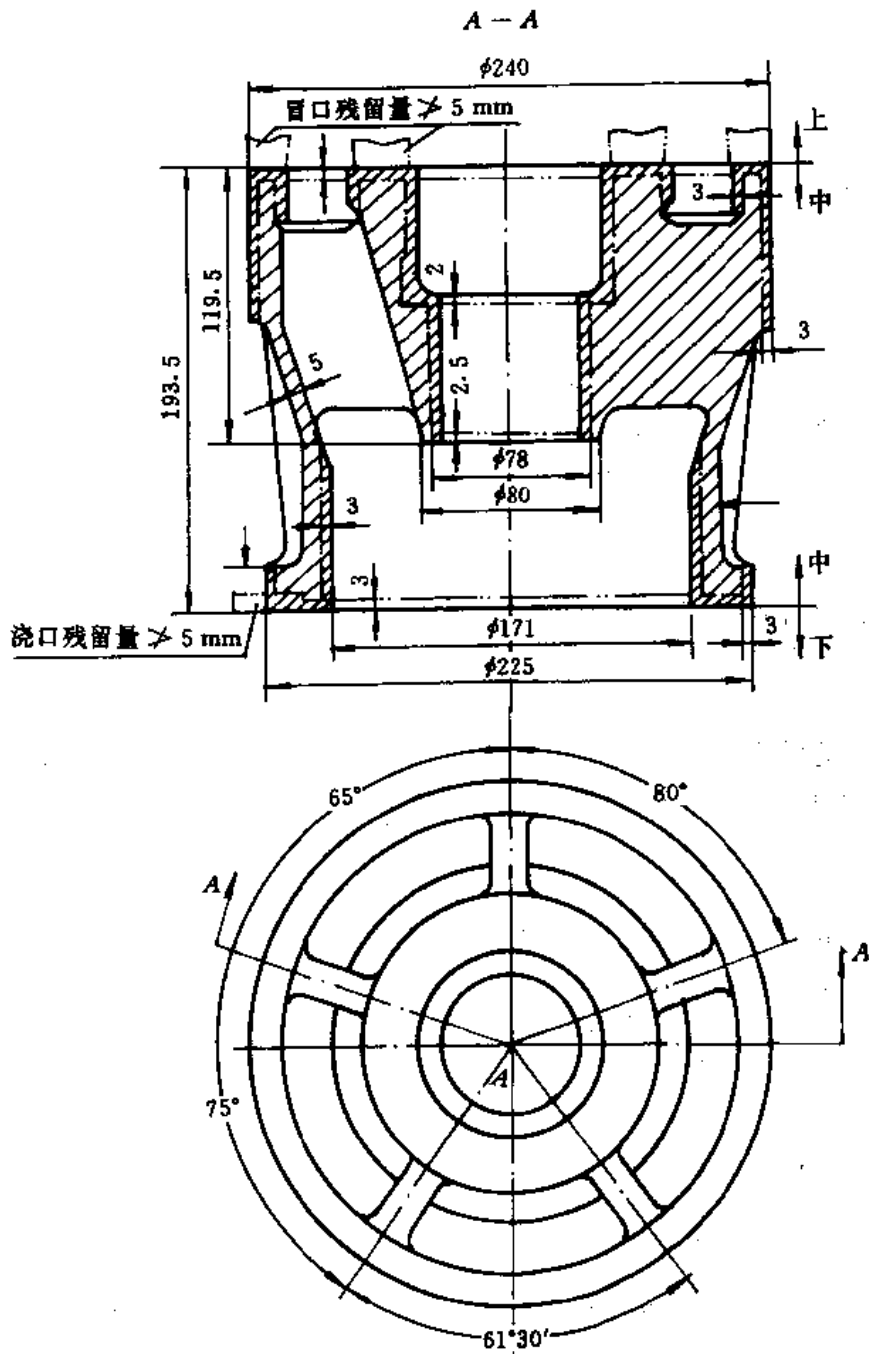


图 16-1 铸件图实例
技术条件

1. 砂型铸造;
2. 铸件收缩余量 1.2%
3. 拔模斜度:外表面 $1^\circ 30'$,内表面 2° ;
4. 铸件尺寸公差按 HB6103—86 之 CT10;
5. 未注铸造圆角 R5;
6. 铸件按 HB963—90 验收;
7. 铸件经 T5 热处理,合金的化学成分及力学性能按 HB962—86 验收;
8. 特种检验项目: X 光、液压试验。

× × 机 械 厂				
设计		离心机匣铸件图		
校对				
描图		比例	材料	ZL105
审批		共	张	第
				张

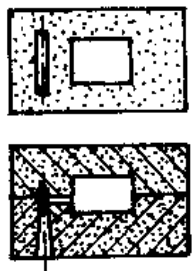
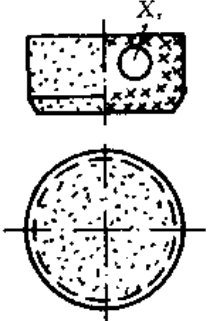
§ 16-2 铸型装配图的绘制

铸型装配图是铸造工艺设计需要完成的最复杂而又重要的技术文件,它反映了铸造工艺方案的全貌,是设计铸造工艺装备和编制铸造工艺规程的主要依据之一。绘制铸型装配图的依据是:零件图、铸件图、铸造工艺方案草图和铸型工艺设计有关的标准、手册或资料。在铸型装配图上除铸件型腔外,一般还应表示出:

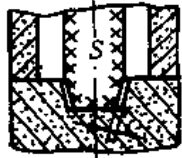
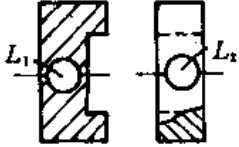
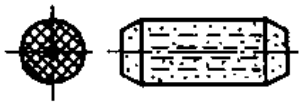
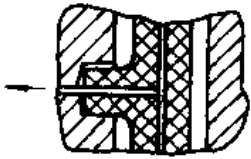

- (1) 铸型分型面;
- (2) 浇注系统和冒口的结构及其全部尺寸、过滤网的规格、安放位置和面积大小;
- (3) 砂芯的形状、相互位置、装配间隙、芯头的大小和定位、排气方法,各个砂芯应按下芯顺序编号。
- (4) 冷铁的位置、数量、大小及编号;
- (5) 铸型的加强措施(如插钉子和挂吊钩等)和通气方法;
- (6) 铸型装配时需要检查的部位及尺寸;
- (7) 铸件附铸试验块的位置及尺寸;
- (8) 砂箱内框的尺寸;
- (9) 若是用专用砂箱,还需画出砂箱的结构及导向、定位、锁紧装置等。

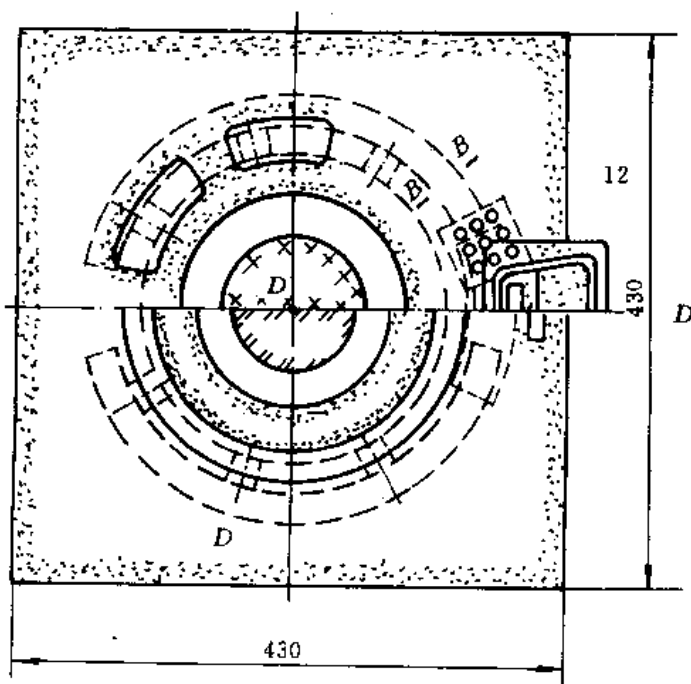
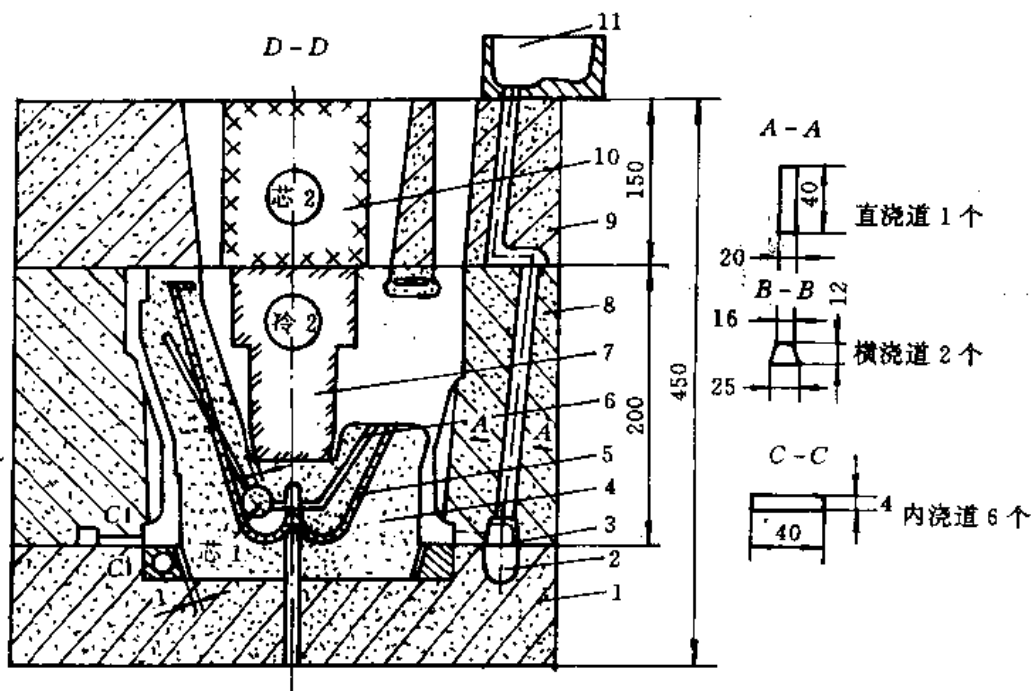
铸型装置图的主剖视图应尽可能选用自然的铸件浇注位置;画俯视图时一般应将上箱揭开,如果型腔结构简单、砂芯少,为了表示冒口布置情况也可不揭开或揭 1/2;为了保持图面清晰,除主要轮廓线外尽可能不用或少用虚线线条。铸型装配图实例如图 16-2 所示。铸型装配图的习惯画法和常用符号见表 16-2。

表 16-2 铸型装配图上常用符号的表示方法

符号名称	表示方法	说 明
铸型剖面与未剖部分		<p>铸型剖面部分需画剖面线,其画法与制图标准相同,剖面线之间的距离约取 5~15mm,在剖面上按习惯再画上一些点子</p> <p>铸型未剖部分在型腔和砂箱的周围画一些密集的点,其中间部位的点子应稀疏些</p>
砂 芯		<p>砂芯的剖面用等距离垂直交叉的细实线表示,如果砂芯较大时,其中间部分可以不画剖面线,在剖面上也应画出点子</p> <p>砂芯未剖部分,只在其边缘画些密集的点,中心部位点子稀疏些即可</p> <p>各个砂芯都应按下芯的顺序编号,最先下入的砂芯为“芯-1”,或“X-1”(X是“芯”字汉语拼音的第一个字母)</p>

续 表

符号名称	表示方法	说 明
砂芯粘合面和 芯头装配间隙	 <p>The diagram shows a cross-section of a sand core assembly. A central vertical core is surrounded by sand. The interface between the core and the sand is marked with a thick solid line and the letter 'S'. Below the core, there is a gap between the core head and the sand seat, which is also indicated by a thick solid line and labeled with a dimension line.</p>	<p>对分别造芯,经烘干后再粘合成整体的砂芯其粘合面用粗实线和符号“S”表示 芯头与芯座之间的装配间隙应放大画出,并注上间隙尺寸</p>
冷 铁	 <p>The diagram shows two cross-sections of chill iron. The left one is labeled 'L1' and the right one is labeled 'L2'. Both show a circular hole in the center of a rectangular block with diagonal hatching.</p>	<p>冷铁的剖面按机械制图规定的标准画,未剖部分用加粗的粗实线画出其外形 各冷铁也应按其在铸型或砂芯中的位置顺序编号,如“冷-1”或“L-1”等;采用组合冷铁时,还应标注冷铁间的间隙尺寸</p>
芯 骨	 <p>The diagram shows two views of core ribs. The left view is a circular cross-section with a grid-like hatching pattern. The right view is a rectangular cross-section with a different hatching pattern.</p>	<p>铸铁或铸铝的大芯骨在剖视图上用剖面画出,未剖部分用较粗的虚线画出其外形;用铁丝弯成的小芯骨,在剖视图上用粗实线画出,不必画剖面线,复杂砂芯采用几种不同规格的铁丝作芯骨时,也分别编号表示</p>
砂芯通气孔道	 <p>The diagram shows a cross-section of a sand core with several ventilation channels. The channels are shown as lines passing through the core. Some channels are larger and more prominent, while others are smaller.</p>	<p>主要或较大的通气道应在图中表示出来,在造芯时用气孔针扎出的小的通气孔道,只在造芯工艺卡上注明,铸型装配图上可省略</p>
金属钉子或弯钩	 <p>The diagram shows a cross-section of a sand core with several metal fasteners (nails or hooks) embedded within it. The fasteners are shown as solid lines with hatching, indicating their position and shape.</p>	<p>在铸型中插入的钉子或埋设的弯钩,用粗实线表示其位置和形状;钉、钩的规格、数量及其位置尺寸不必具体说明(可在造型工艺卡上表示)</p>



11	浇口杯	1	型砂	
10	砂芯	1	型砂	
9	上箱	1	型砂	
8	中箱	1	型砂	
7	冷铁	1	杂铝	由两块粘合成
6	通气孔			
5	芯骨		杂铝	
4	砂芯	1	油砂	
3	冷铁	1	杂铝	圆环状
2	缓冲槽	1		
1	下箱	1	型砂	
序号	名称	数量	材料	备注
× × 机械厂				
设计		离心机匣铸型图		
校对				
描图		比例		材料
审批		共	张	第 张

图 16-2 铸型装配图实例

§ 16-3 铸造工艺规程和工艺卡片的编制

在铸件图、铸型装配图、铸造工艺装备图绘制之后,有些工厂还需要编制铸造工艺规程和工艺卡片。

铸造工艺规程和工艺卡片是铸件生产的依据之一,它对铸件生产的每个工序或对某些工序的主要操作,进行扼要的说明和拟定某些守则,并附有必要的简图。工艺规程和工艺卡片的内容及格式,取决于生产类型、铸件的复杂程度和对铸件质量的要求。大量、成批生产的工艺规程内容比较多,单件生产的工艺规程内容比较简单,有些工厂只制定单张工艺卡片,有的只在铸造工艺方案草图上作一些说明,以代替铸造工艺规程。

铸造工艺规程的内容一般应包括:

(1) 型砂和芯砂的成分、制备工艺及其性能要求。一般情况下,各厂都有自己的型砂和芯砂的技术标准,如无特殊要求时,在工艺规程中只需填写所选定的型砂或芯砂的编号(如1"型砂或4"芯砂等),其余均按技术标准的规定,不必具体说明。

(2) 造型、造芯过程所需要的模具、设备及性能要求。

(3) 造型、合箱与浇注工艺卡片,并画出工艺简图,表示有关的形状、尺寸、装配检查部位及检验测具和样板等。

(4) 砂芯制造工艺卡片,说明砂芯制造中的工艺问题,画出砂芯草图,表示砂芯的形状和主要尺寸、芯骨、冷铁的位置、形状与数量、通气孔的形状及位置、样板的形状及其检查部位、砂芯的烘干工艺规范等。

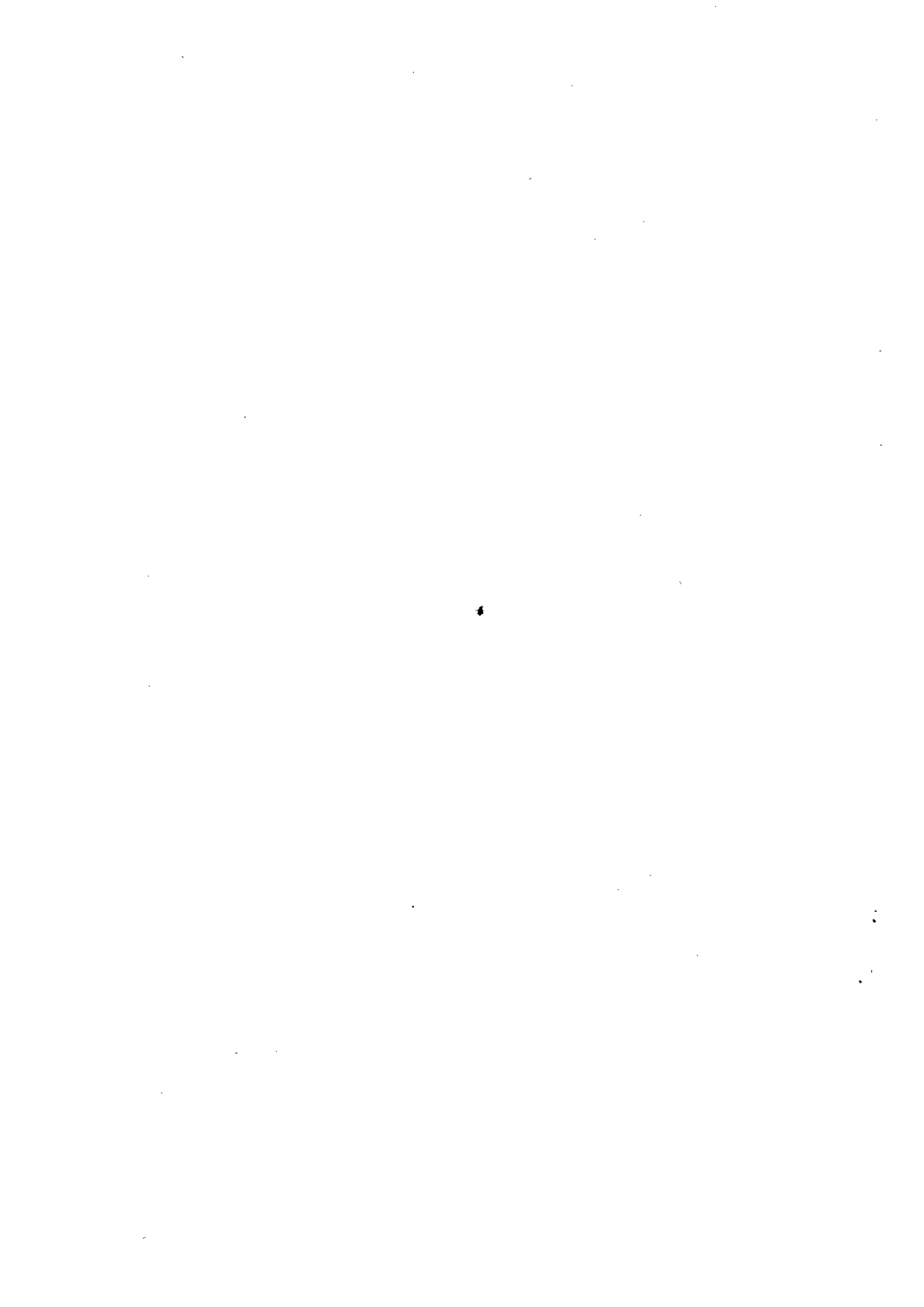
(5) 铸件清理及热处理工艺卡片。

(6) 铸件检验卡片,说明检验项目,具体检验方法及其使用的设备、工具均按铸件检验技术标准的规定。

如果工厂没有合金熔炼的技术标准或采用某种新牌号的合金,则铸造工艺规程和工艺卡片中还应包括合金熔炼操作工艺。

复习思考题

1. 铸件图上应表示哪些内容?如何表示?
2. 铸型装配图上应表示什么内容?如何表示?
3. 铸造工艺规程应包括哪些内容?



第四篇 铸造工艺装备设计

第十七章 砂型铸造工艺装备设计

砂型铸造工艺装备是造型、制芯及合箱过程中所使用的模具和装置的总称。包括模样,模板,模板框,砂箱,砂箱托板,芯盒,烘干板,砂芯修整模具,组芯及下芯夹具,量具及检验样板等。

对于大批量生产的铸件和批量虽小但重要的产品铸件,应经过试制阶段,证明铸造工艺切实可行后,才进行工装设计。所设计的各种模具应满足铸件要求,加工、使用方便和成本低廉。

§ 17-1 模样及模板

一、模样

(一) 材料的选择

(1) 木模:优点是轻便,易加工,来源广,价格低廉。但强度低,易吸潮而变形,精度低,寿命短,适用于单件、小批生产的各种铸件以及航空产品铸件的试制模具。

木材在干燥过程中各向收缩不同,年轮方向收缩 6~12%,径向收缩 3~6%,纵向收缩 0.1~0.3%。制模前木材应经干燥处理,要求水含量小于 8~12%。坯料拼接时,同层木板的纹理应正反交叉排列,相邻层木纹相互垂直。这样可利用木材的变形规律彼此制约,减少木模的变形。

(2) 金属模:表面光洁,尺寸精确,强度高,刚性大,使用寿命长。但难加工,生产周期长,成本高。适用于大量、成批生产的各种铸件以及航空航天产品铸件的定型模具。制造前,应经过专门的设计。常用金属材料有铝、钢和铸铁。

(3) 塑料模:大多为环氧树脂玻璃钢结构。制造、修理简便,表面光洁,不吸潮,变形小,轻巧耐磨,寿命长,成本为金属模的 20~50%。但导热性差,不能加热,不宜在型砂周转快、砂温高的流水线上应用。多用于成批生产的中小铸件。

(4) 聚苯乙烯泡沫塑料模(气化模):造型后不取出模样,直接浇注。模样遇金属液气化烧去。要求模样气化迅速,烟尘和残留物少,密度小(0.15~0.03 g/cm³)。单件生产的中大模样,一般用泡沫板粘合加工成需要的形状。常用的粘合剂为聚酯酸乙烯乳液。大批量的中、小模样,一般直接发泡成型。把少量经过预发泡的聚苯乙烯珠粒放于金属阴型内,吹入蒸汽和热空气,加热 8~20 min,珠粒熔融,内部气体膨胀使珠粒长大并相互粘结。冷却后即得到光洁的模样。

使用泡沫塑料模能简化造型,节约砂芯,铸件尺寸精度高,易实现机械化、自动化生产。但模样只能用一次,春砂时模样易变形,浇注时有烟尘。用于铸铁件易产生皱皮缺陷。多用于负压实型铸造小铸件和单件生产的中大型铸钢件。

其它材料的模样,如水泥模、菱苦土模在航空铸件生产中应用很少。

(二) 金属模样的结构设计

结构设计总的原则是在满足铸造工艺要求的前提下,便于加工制造。特别复杂,难于加工的模,可采用陶瓷型等精密铸造法铸出。一般金属模应尽量采用机床加工,减少钳工量。

(1) 模样本体结构类型:可参照表 17-1 选择。平装式结构简单,容易加工,最常用。嵌入式在特殊条件下应用,如模样部分表面凹入分型面以下;分型面以上模样过薄,加工、固定困难;分型面通过模样圆角等。选定模样结构后,便可依据铸造工艺图确定模样的外形。

表 17-1 模样本体结构

分类方法	模样名称	主要特点	适用范围
有无分模面	整体式	模样为一整体,无分模面	极其简单的铸件
	分开式	模样分成两半或多块	各种铸件
是否装配	整铸式	模样与模底板整铸在一起	简单的小双面模板
	装配式	平装式:模样平装在模底板上	一般模样的模板
		嵌入式:模样嵌入模底板上表面	特殊需要时用

(2) 壁厚及加强筋:在保证模样使用寿命和足够强度和刚度的前提下,应尽量减轻模样重量,除了小于 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 或高度低于 30 mm 的薄小铸件以外,都应制成空心结构。平均轮廓尺寸大于 150 mm 的模,内部设加强筋。加强筋的形式和模样壁厚选择见图 17-1。

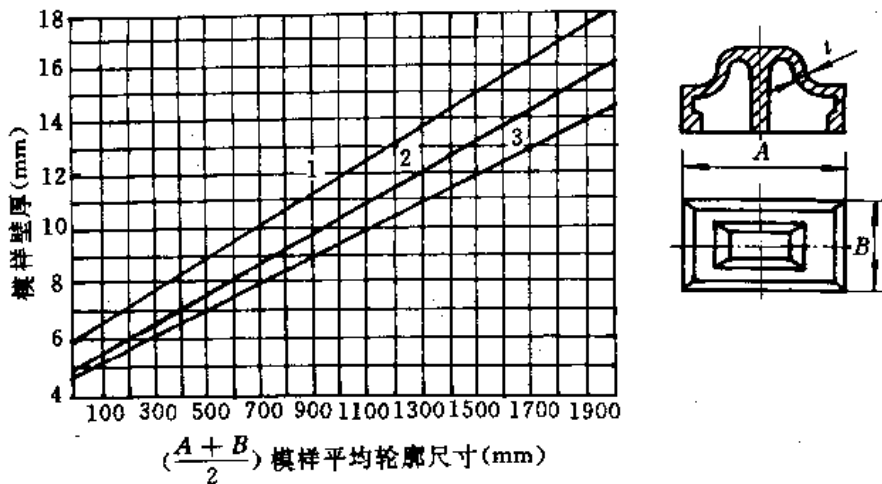


图 17-1 确定金属模样壁厚的图线

1—铝合金 2—铸铁 3—青铜

金属模样的壁厚也可用下列经验公式确定

$$t = x(1 + 0.0008L) \tag{17-1}$$

式中: t —— 模样壁厚(mm);

L —— 模样平均轮廓尺寸(mm);

x —— 经验系数(铝模样取 6,铜合金和铸铁模样取 5)。

从图线查得或由公式计算的壁厚值应取整数,一般应使壁厚略偏厚一点,给更改和修正模样尺寸留有一定的余量。高压造型用模样,其壁厚应比图 17-1 所给的加大 50~100%。

加强筋的排列取决于模样内腔的形状,可有矩形和辐射形两种,依模样大小和使用要求来布置加强筋,筋距 150~400 mm,厚度一般取模样壁厚的 80~100%。模样内腔要尽量使模样毛坯铸造方便,力求壁厚均匀,内腔壁和加强筋应留有铸造斜度,非工作表面应有合适的铸造圆角。

(3) 模样在模底板上的定位与紧固,设计装配式模板上的金属模样时,要考虑模样与模底板的装配形式和定位紧固问题。其装配形式如图 17-2 所示。

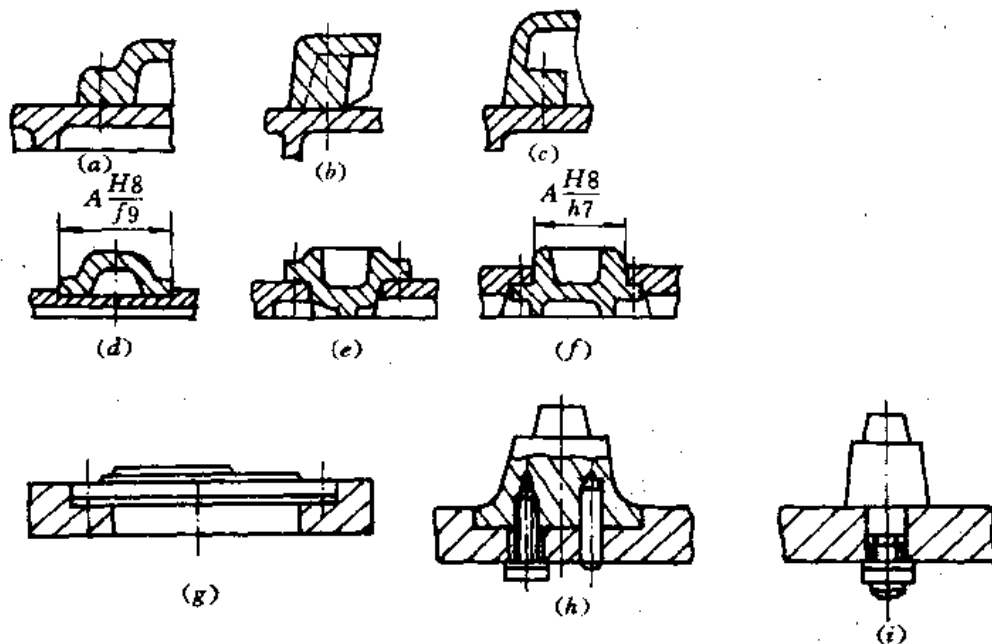


图 17-2 金属模样的装配形式结构

(a)、(b)、(c) 平放式装配的凸耳结构 (d)、(e)、(f)、(g)、(h) 嵌入式装配结构

(i) 圆柱体芯头模样装配

模样和模底板的装配形式基本上有平放式(图 17-2(a)、(b)、(c))和嵌入式(图 17-2中(d)、(e)、(f)、(g))两种。采用平放式装配,尽量利用模样上的外突缘和凸耳等来布置装定位销和紧固螺钉(图 17-2(a));当模样上没有现成的凸耳可利用时,应在模样内腔的侧壁设计出凸耳、定位孔和螺钉孔,以便装定位销和紧固螺钉(图 17-2中(b)、(c))。嵌入式装配结构模样一般都设计出凸缘或凸肩供装配用。图 17-2中(d)、(g)和(h)都属于浅嵌入式结构,适用于分型面处有圆角、细薄凸缘或要求定位稳定的模样。图 17-2(e)属上深嵌入式,适用于分型面以下虽有深的凹坑但有现成凸耳尚可利用定位固定的模样。分型面以下虽有深凹坑但没有现成凸耳的模样,则设计成图 17-2(f)所示的下深嵌入式结构。图 17-2(i)表示模样为圆柱体,可直接用同轴圆柱体定位装配,不必另用销钉。

模样上钻通孔,螺钉穿过模样与模底板固定,称为上固定法。其优点是:便于选择螺孔位置,钻孔和装配方便。其缺点是:破坏模样的工作表面,紧固后需用塑料或铝、铅等填平模样表

面上之螺钉孔坑;模底板上钻通孔,模样上攻螺丝孔的固定方法称下固定法。优点是模样工作表面不受损害。缺点是确定螺孔位置要躲开模底板底部之筋条,还要让出扳手空间,安装不甚方便。下固定法用于模样高大且四周没有低矮的突边可利用的条件下。

螺栓孔位置应尽量靠近模样四周,并均匀分布。定位销孔的位置应选在模样上矮而平的部位,两孔间距尽量远。每块模样上至少应设2个,至多不超过4个(大模样)。定位销用于防止模样在使用中位置移动。一般在安装完毕或试生产后证明模样位置准确后才配钻、配铰销孔。最后打入定位销。

(三) 模样(芯盒)的尺寸确定

金属模样的尺寸直接影响到铸件的尺寸,因此正确地确定金属模样的尺寸极为重要。模样的尺寸有两类:一类是与铸件有关的尺寸;另一类为非关联尺寸,如芯头长度等。凡与铸件有关的尺寸,都应把铸件尺寸(包括铸件工艺尺寸)按铸造收缩率(K)加以放大。可依下式计算,并准确到0.1 mm。

$$L_{\text{模}} = (L_{\text{件}} \pm L_{\text{工}})(1 + K) \quad (17-2)$$

式中: $L_{\text{模}}$ —— 与铸件有关的模样尺寸;

$L_{\text{件}}$ —— 零件尺寸;

$L_{\text{工}}$ —— 铸造工艺尺寸(如加工余量、铸造斜度、工艺补正量等之和),“+”号用于凸体尺寸,“-”号用于凹体尺寸。

非关联尺寸按铸造工艺图上的尺寸标注,不加放收缩率。

金属模样(芯盒)工作表面均用标注尺寸偏差、粗糙度和分模面平面度等要求。其偏差一般为铸件公差的1/3~1/4。模样在模底板上的装配偏差:在保证上、下模样的装配相对位移偏差不大于0.1 mm的条件下,模样在模底板上的位置偏差规定为:单面模板 ≤ 0.7 mm,双面模板 ≤ 0.5 mm。模样工作表面的粗糙度应不低于 R_a 值1.6 μm ,分模面上一般在 R_a 值3.2~1.6 μm ,定位销孔取 R_a 值1.6~0.8 μm ,固定螺钉孔在 R_a 值6.3~3.2 μm 。

浇冒口模的尺寸偏差为:内浇道模对有箱造型为 ± 0.3 mm,对无箱造型为 ± 0.15 mm。其余部位对有箱造型为 ± 0.7 mm,对无箱造型为 ± 0.5 mm。

二、模板

模板是将模样、浇冒口系统沿分型面与模底板装配成整体的造型模具。采用模板造型,可以简化造型操作,提高造型效率,而且形成的型腔尺寸准确。所以模板不仅在大批、大量的机器造型中使用,就是在小批生产的手工造型中,如大部分航空产品铸件,为提高铸型质量也多使用模板造型。

(一) 对模板的要求

模板尺寸应符合造型机的要求,模底板和砂箱、各模样之间应有准确的定位,模板应有足够的强度、刚度和耐磨性,制作容易,使用方便,尽量标准化。

(二) 模板种类

常用模板种类见表17-2。实例见图17-3、图17-4。

(三) 模底板结构

航空产品铸件生产中大多采用单面模板,其单面模底板的结构见图17-5。

表 17-2 模板按结构分类

类 别		特 点	材 质	应 用	
双面模板	平 面	模底板两面都有模样和浇冒系统,一块模板可以造出上、下铸型。底板板面有平面型和曲面型两种。曲面可增加模板刚度、防止错箱,但制造麻烦	木 材 塑 料 铝 合 金	多用于小件、大量成批生产的脱箱造型	
	曲 面				
单面模板	普通单面 模 板	顶箱式	铝合金 铸 铁	各种生产类型的大、中、小件均可应用	
		漏模式	铝合金 铸 铁	主要用于模型高,斜度小,起模困难和精度要求高的铸件	
		翻转式	铝合金 铸 铁	成批大量生产中、大型铸件,特别适于造下箱	
	坐 标 式	底板上有坐标孔,模样上有定位销孔定位,用螺钉紧固。更换模样方便,用一块底板可进行多种模样生产。模底板制造困难	HT200 QT500-7	单件小批生产中、大型铸件	
	快换模板	普 通	设有模板框,模板紧固在框内,可以迅速更换模板,节省时间	木 材 铝 合 金	适用于中、小件
		组 合	同一模板框内,可放多种模板,可更换其中任意一块模板,充分利用砂箱面积,实现多品种铸件生产	铝合金 HT200 QT500-7	便于组织多品种流水线生产
	高压造型模板	高压造型机用模板,强度、刚度和表面光洁度要求高;模板装有电加热装置	HT200 QT500-7	成批大量生产中、小件	
射压造型模板	适应于射压造型机用的模板,强度和耐磨性要求较高。装有排气孔(塞)和电加热装置。	HT200 QT500-7	成批大量生产中、小件		

模底板上应有与砂箱定位用的定位销、同造型机连接用的突耳、供运输用的吊轴和手把、顶杆起模用的通道等。翻转造型机用的模板上还应具有固定砂箱用的机构或突耳等。

通常模底板外廓和砂箱一致。模底板的高度、壁厚和筋的有关尺寸可参见表 17-3。

模底板高度和模板框的高度,还应满足造型机的工艺要求。例如,Z148B 造型机要求:490 mm < (砂箱高 + 模底板高 + 压头体高 + 浇口杯模高) < 750 mm,造型机工作台到压头体底座

面之最小距离为 490 mm,最大距离为 760 mm。

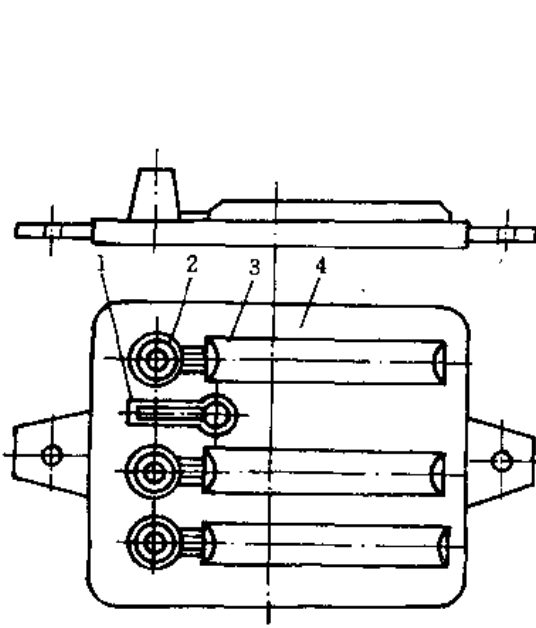


图 17-3 单面模板图例
1—浇口 2—冒口 3—模样 4—模底板

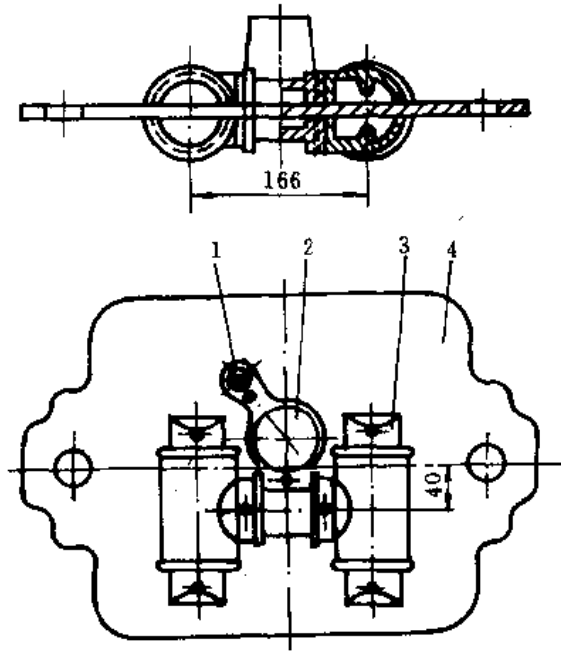


图 17-4 双面模板图例
1—浇口 2—冒口 3—模样 4—模底板

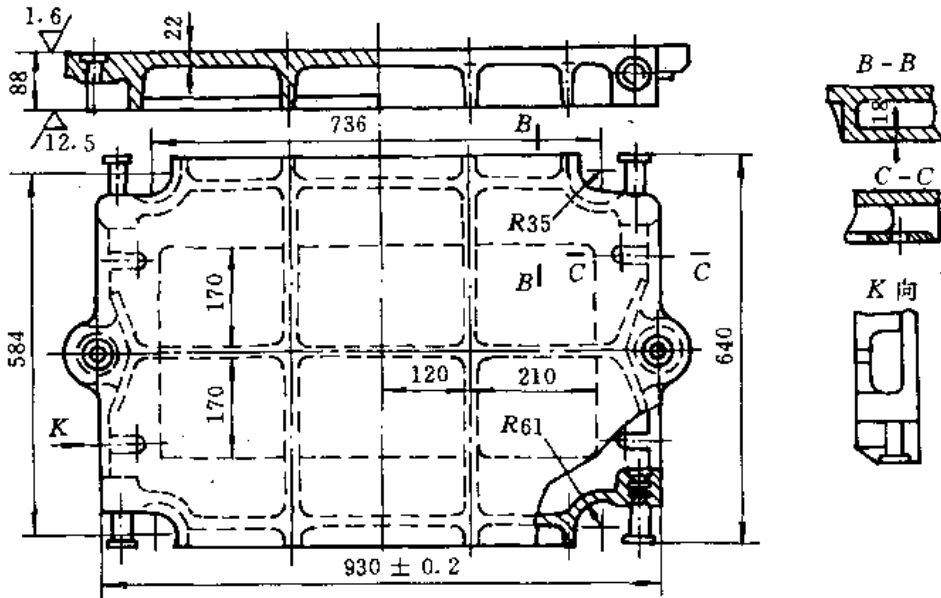


图 17-5 顶杆式模底板结构简图

(四) 模板与砂箱的定位

造型时,砂箱在模板上应用导销定位,两个导销分别安装在底板中心线两端的耳台上,底板上装定位销耳台的结构如图 17-6 所示。当底板上模样不太高时,一般设计成单层销耳台如图 17-6(a)、(b) 所示,当模样较高时为保持导销稳定,需设计成如图 17-6(c) 所示的双层销耳

台。销耳台上装导销用的孔径和技术要求应与导销相配合；两个装导销孔的中心距应与砂箱上装导套孔的中心距相一致。

表 17-3 普通单面模底板的高度、壁厚及筋尺寸 (mm)

砂箱平均轮廓尺寸 (长+宽) / 2	铸 铁 模 底 板				铸 钢 模 底 板			
	高 度	壁 厚	筋 厚	筋 距	高 度	壁 厚	筋 厚	筋 距
≤ 750	80	14	16/12	250/300	70	10	14/10	300
751 ~ 1 000	90	16	18/14	300	80	12 ~ 14	14/12	400
1 001 ~ 1 500	120	18	20/16	350/300	90	14 ~ 16	16/12	400
1 501 ~ 2 000	160	22	24/20	400/350	110	18	20/16	450
2 001 ~ 2 500	190	25	28/22	450/400	130	22	24/20	500
2 501 ~ 3 000	220	28	30/24	450/400	150	25	27/23	500
> 3 000	250	32	32/26	500/400	160	28	30/26	500

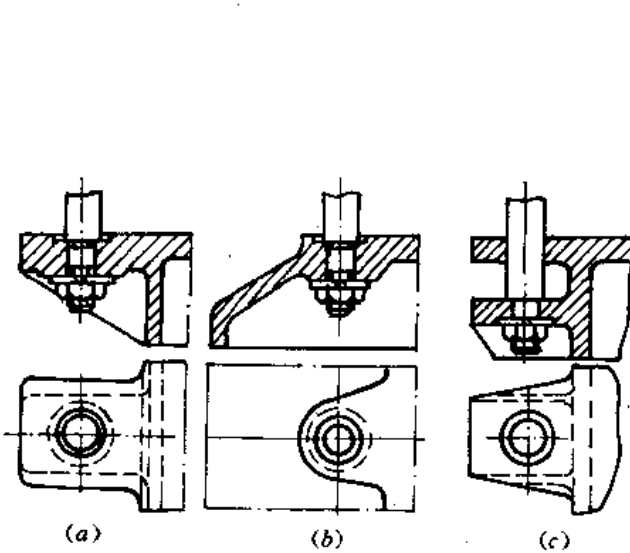


图 17-6 底板上固定导销的锁耳台结构
(a)、(b) 单层销耳台 (c) 双层销耳台

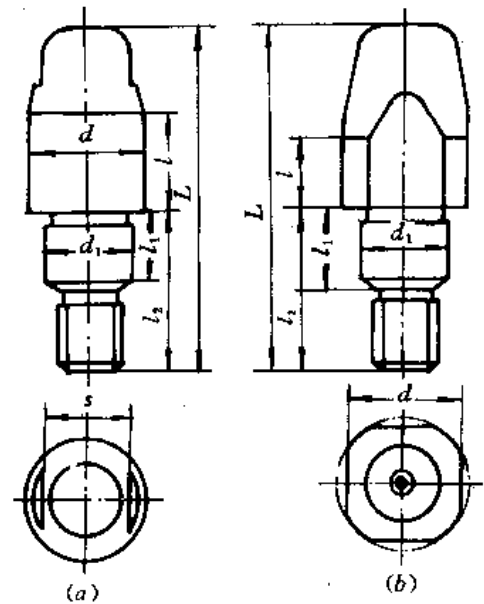


图 17-7 模板用的导销结构
(a) 定位导销 (b) 导向导销

导销的结构见图 17-7。截面是圆形的称为定位导销，截面形状呈平面形的为向导导销。定位导销与砂箱上的圆孔定位导套相配合起定位作用，向导导销与砂箱上椭圆形或平面开口导套相配合起导向作用。导销上根据各段作用不同可划分为导向段($L-l-l_2$)、定位段(l)和固定段(l_1)，模样较高且铸造斜度小时，定位段就要长些。

(五) 底板上的吊轴及手把

对于平均尺寸 < 500 mm 的小型底板，可以不设吊轴，有必要时可设手把。中、大型底板为便于翻箱起模和吊运要设计吊轴。常用吊轴分为整铸式和铸接式两类，铸铁和铸铝底板用铸接式，铸钢底板用整铸式。铸接式吊轴及手把常用 A₃、20 和 45 钢制造。

底板常用螺栓固定在造型机工作台上,因此底板上应设计出供紧固用的耳台结构。

§ 17-2 砂 箱

砂箱是砂型的成型和运输工具。其结构和尺寸合理与否,对铸件质量、生产效率、劳动强度有很大的影响。砂箱设计的内容有:选择砂箱类型和材质,确定砂箱尺寸,结构设计,定位及紧固等。

一、设计和选用砂箱的基本原则

(1) 满足铸造工艺要求。如砂箱和模样之间应有足够的吃砂量;箱带不妨碍浇冒口的安放、不严重阻碍铸件的收缩;定位装置的公差配合应保证铸件的尺寸精度等。

(2) 尺寸和结构应符合造型机、起重设备、烘干设备的要求。砂箱的吊轴、吊环、手把和紧固装置要稳定可靠。

(3) 有足够的强度和刚度,使用中保证不断裂或发生过大变形。

(4) 对型砂有足够的粘附力,使用中不掉砂或塌箱,但又要便于落砂。

(5) 经久耐用,制造方便,材料来源广,价格低廉,使用轻便。

(6) 应尽可能标准化、系列化和通用化。

二、砂箱类型的选择

(1) 专用砂箱和通用砂箱:

专用砂箱:专为某一复杂或重要铸件设计的砂箱。例如飞机发动机离心机匣铸件的专用砂箱。

通用砂箱:凡是模样尺寸合适的铸件均可使用的砂箱。多为长方形。

(2) 依制造方法分为整铸式、焊接式和装配式。

整铸式:用铸铁、铸钢或铸铝合金整体铸造而成的砂箱。应用较广。

焊接式:用钢板或特殊轧材焊接成的砂箱,也可用铸钢元件焊接而成。

装配式:由铸造的箱壁、箱带等元件,用螺栓组装而成的砂箱。用于单件、成批生产的大砂箱。

(3) 依造型方法及使用条件分为手工造型用砂箱,机器造型用砂箱,高压造型用砂箱。根据砂箱尺寸大小和重量不同,可分为小型砂箱(内框尺寸 $300 \times 250 \text{ mm} \sim 500 \times 400 \text{ mm}$,空箱重不超过 25 kg),中型砂箱(内框尺寸 $500 \times 350 \text{ mm} \sim 1200 \times 900 \text{ mm}$,箱重不超过 65 kg),大型砂箱(内框尺寸大于 $1200 \times 900 \text{ mm}$)三类。

各类砂箱有其特点和适用范围,应根据铸件结构大小和生产性质合理地选择砂箱类型。

三、砂箱结构设计

(1) 砂箱名义尺寸:砂箱名义尺寸是指分型面上砂箱内框尺寸(长 \times 宽)乘砂箱高度。砂箱内框尺寸的确定,主要根据模样的大小和数量,浇冒口的尺寸和位置,并应在四周留有合适的吃砂量。吃砂量的最小数据见表 17-4。算出的尺寸应进行标准化和系列化,即将算出的尺寸数字上进到系列尺寸上。

表 17-4 吃砂量的最小值 (mm)

模样高	8	10	15	25	30	35	40	50	60	70	90	120
吃砂量	15	18	20	24	26	28	32	35	38	40	45	50

(2)箱壁结构:箱壁的断面形状及尺寸影响砂箱强度和刚度,要根据砂箱的工作条件、内框大小和材质参照有关资料决定。图 17-8 是普通砂箱常用的断面形状,图中 (a) 适用于小型砂箱,图中 (b) 适用于中型砂箱,图中 (c) 适用于大型砂箱。铸钢件造型用的砂箱,由于浇注的钢水温度较高,所以箱壁应比铸铁件的厚一些。

设计和选用箱壁形式时,应注意以下几点:① 简易手工造型砂箱,常用较厚的直箱壁,不设内外凸边,制造简单,容易落砂。

② 普通机器造型砂箱,常用向下扩大的倾斜壁,底部设凸边,防止塌箱,保证刚性,便于落砂,箱壁上留出气孔。

③ 中箱箱壁多为直壁,上下都设凸边。大砂箱内应有箱带以防止塌箱。

④ 高压造型用砂箱,尽量不加箱带,以便落砂。因受力大,要求砂箱刚度大。小砂箱用单层壁,大砂箱用双层壁。箱壁上不设出气孔。

⑤ 为了提高箱壁的结构强度,节省材料,减轻重量,在箱壁外侧面设纵向或横向的加强筋。筋厚一般取箱壁厚度的 80~100%。

(3)箱带结构:箱带又名箱档。其作用是增加型砂对砂箱的附着面积和附着力,提高砂型总体强度和刚性,保证铸型在吊运、翻箱、合箱和浇注过程中不掉砂和不塌箱,延长砂箱的使用期限。但箱带使紧砂和落砂困难,限制浇冒口的布局,故只在中、大型砂箱中安设箱带。设计箱带时应注意以下几点:

① 为了减轻砂箱重量,便于舂砂和落砂,对于手工造型 500×400 mm 以下的砂箱可不设箱带。长度大而宽度小于 500 mm 的长砂箱,可只做出横向箱带,其间距一般取 150~200 mm;当砂箱宽度大于 600 mm 时,既要设横箱带,又要设纵箱带。普通机器造型的下砂箱可不设箱带。

② 箱带与模样之间应留有合适的吃砂量,箱带布置不应妨碍浇冒口的布局和铸件的收缩。

③ 箱带厚度一般取箱壁厚度的 75~100%;箱带与箱壁连接处应圆滑过渡。

(4)砂箱定位:造型合箱时,砂箱与模板,砂箱与砂箱要严格定位。上、下箱之间的定位方法有多种:泥号、楔榫、箱垛、止口及定位销等。在机器造型和湿型手工造型时常用定位销套定位,该定位装置由定位箱耳、定位套和合箱销组成,定位销套装在箱壁的定位箱耳上。定位销套及合箱销的结构见图 17-9 所示。

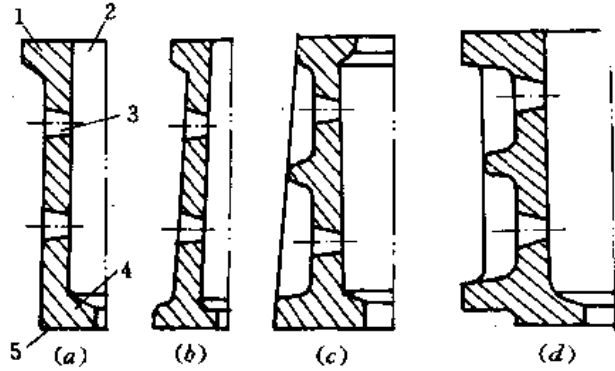


图 17-8 箱壁断面形状

1—外凸边 2—填砂面 3—排气孔
4—内凸边 5—分箱面

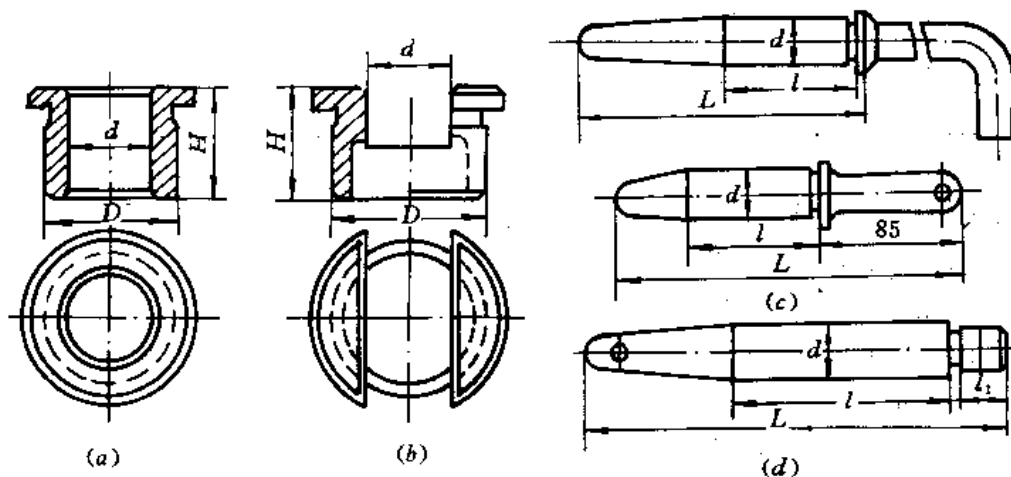


图 17-9 定位销套及合箱销

(a) 定位销套 (b) 定向销套 (c) 合箱插销 (d) 合箱座销

定位箱耳多布置在砂箱两端长度方向的中心线上。一端装圆孔的定位销套，一端装长孔的导向销套。销套一般采用静配合压入箱耳孔中，也可用易熔合金浇入。

合箱销分为合箱插销(图 17-9 中(c))和合箱座销(图中(d))两种，插销多用于成批生产的矮砂箱，座销用于大量生产的各种砂箱。合箱销一般都作成圆形，其工作段形状尺寸结构与装在模板上的导销一样，应与合箱销套相配合。

(5) 搬运、翻箱结构：箱把、吊轴和吊环是搬运和翻箱操作必需的装置。手把用于小型砂箱，吊轴广泛用于各种中大砂箱，吊环主要用于重型砂型。这些吊运结构的设计，应使吊运平衡，翻箱方便，特别强调安全可靠，要绝对杜绝人身事故。要考虑最大的负荷。例如，应以一次起吊一叠铸型的最大重量作为计算吊轴和吊环的依据，应给出较大的安全系数。

吊环、吊轴和手把一般用钢材制造，用铸接法同砂箱相连接。小手把也可用螺纹连接。铸接必须牢靠。吊轴、吊环上的铸接部分应加工出沟槽或倒刺。也可用整铸法，但应保证无缩孔、裂纹等缺陷，为此吊轴常设计成中空的，或应用内冷铁。

(6) 砂箱的紧固：为防止胀箱、跑火等缺陷，上下箱间应紧固。生产方式不同，紧固方式也有以下几种：

① 对于铝、镁合金铸造或平均轮廓尺寸大于 2 500 mm 以上的重大砂箱，靠上箱自重，或者压铁紧固。

② 单件、小批生产，手工造型中、大砂箱常用螺栓或螺栓卡具紧固。平做立浇铸型常用 M16 ~ M30 螺栓紧固。

③ 成批生产机器造型，砂箱平均尺寸小于 1 500 mm 的中小砂箱，通常用楔形卡子紧固；大量生产流水线上用脱箱造型时，为简化锁紧操作，常用自动成型压铁压紧。

除用压铁压重以外，其它锁紧方法砂箱上都应设有供锁紧的凸耳结构或楔形凸台。锁箱凸耳和楔形凸台应对称地设置四个，一般常设在箱壁两侧下面的凸边上。

§ 17-3 芯 盒

芯盒是制造砂芯的专用模具。芯盒尺寸精度和结构合理与否，将在很大程度上影响砂芯的

质量和造芯效率。

设计芯盒时应以铸造工艺图、生产批量以及造芯设备的条件为依据,根据砂芯的结构形状和尺寸大小,来确定芯盒的类型、材质、结构形式和尺寸。

一、芯盒的类型和材质

(一) 芯盒的类型

芯盒依制芯方法分为普通芯盒、热芯盒、壳芯盒和冷芯盒。普通芯盒应用广、有代表性。依分盒面和内腔的结构情况不同芯盒又可分为整体式、拆开式和脱落式三大类,如图 17-10 所示。

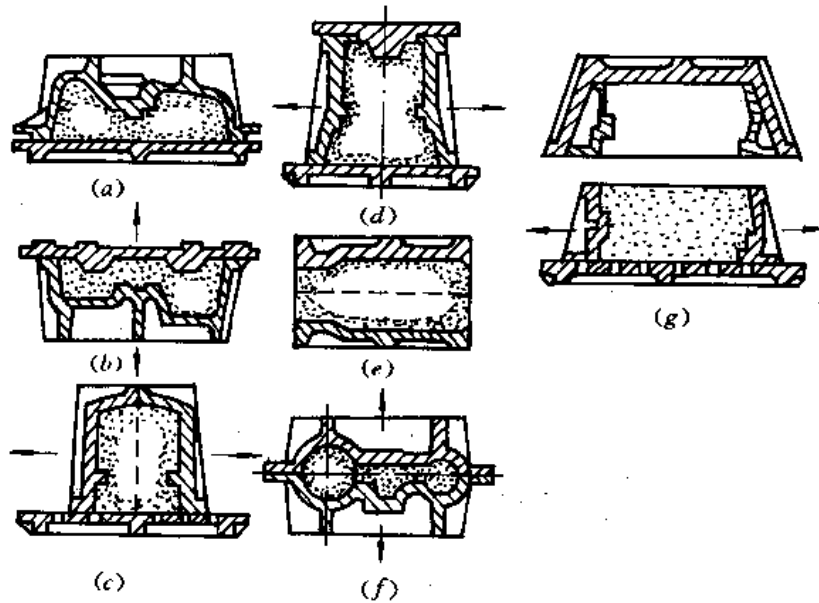


图 17-10 芯盒结构型式

(a)、(b) 整体式 (c)、(d)、(e)、(f) 拆开式 (g) 脱落式

图 17-10(a) 和 (b) 是整体式芯盒,它的四壁是不能拆开的。造芯时填砂紧实完毕,翻转芯盒即可倒出砂芯。这种芯盒一般用来制造形状简单、高度不大及具有较大斜度的砂芯。

拆开式芯盒如图 17-10(c)、(d)、(e)、(f) 几种形式,由两部分以上盒壁组成。填砂前先把芯盒锁紧,填砂完毕拆开盒壁便取出砂芯。此种芯盒依拆开面的位置不同又分为水平拆开式(图 17-10(e))和垂直拆开式(图 17-10(c)、(d))两种。

脱落式芯盒如图 17-10(g) 所示。由内外两层盒壁组成。外层壁作为固定内层壁的套框。内层壁是形成砂芯形状和尺寸的成型壁,起芯时随砂芯一齐倒出,然后从不同方向将内壁与砂芯分离,完成起芯操作。这类芯盒广泛用于制造形状复杂的砂芯。

(二) 芯盒的材质

中小芯盒常用 ZL101、ZL102、ZL104 和 ZL201 等铝合金铸造。铝合金芯盒轻巧,易加工,表面光洁,不生锈,应用较普遍。但强度、硬度低,不耐磨。在经常受摩擦的表面上镶装耐磨钢片,可延长铝芯盒的使用寿命;大型芯盒多用 HT150、HT200 铸铁制造。铸铁芯盒强度、硬度高,耐磨,价格便宜。但沉重易锈;铜合金及钢材,多用于制作芯盒中的镶块和活块,满足高耐磨性的

要求。

二、芯盒的结构设计

(一) 分盒面的确定

一个砂芯往往存在几个分盒面,分盒面选择得恰当与否,直接影响砂芯质量,制芯效率及芯盒的结构等。确定分盒面主要根据砂芯的形状和尺寸,并应从以下几方面进行考虑对比:

- (1) 应有较大的敞开面,便于填砂、紧砂、放芯骨、开通气道及出芯操作。
- (2) 砂芯烘干时应有大平面支撑,尽量避免用成型烘干机,以简化工装。
- (3) 应使芯盒结构简单,便于制造。

在多数情况下,都以砂芯的最大断面作为分盒面,有时为适应砂芯形状,可采用曲折分盒面,甚至多个分盒面。

(二) 芯盒的主体结构

芯盒主体一般都设计成带有边缘并设有加强筋的薄壁盒体结构。

(1) 壁厚及加强筋:壁厚大小及加强筋的布置应根据芯盒大小和材料选定。图 17-11 为确定铝合金芯盒壁厚的图线。从图上看,中、小芯盒的壁厚都在 10 mm 左右。为了提高芯盒强度和刚度,防止芯盒变形,在芯盒外壁上都设加强筋。加强筋的厚度取盒壁厚度的 80~100%。一般根部取 100%,下部取 80%,使筋带斜度。筋的高度一般在 15 mm 以内。

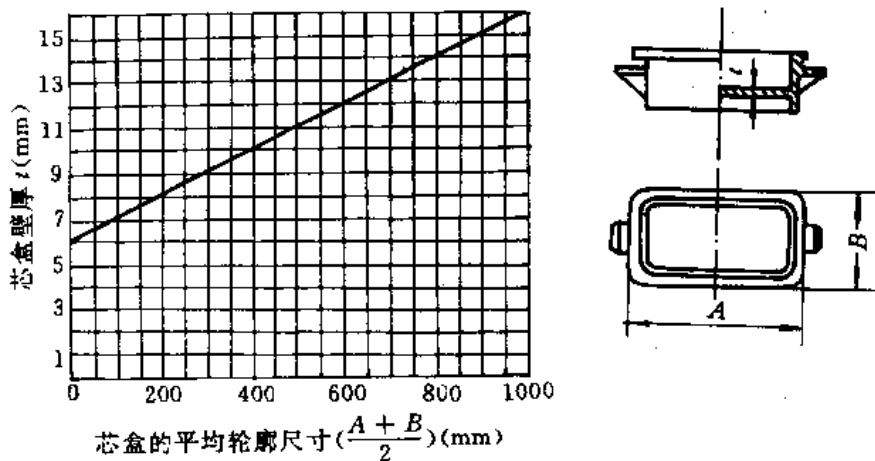


图 17-11 确定铝合金芯盒壁厚图线

(2) 芯盒边缘及耐磨片:芯盒边缘要加厚加宽,以增加芯盒刚度。为防止磨损,在填砂面和刮砂面的边缘上应镶钢板耐磨片。耐磨片用 30 钢制成,用沉头螺钉固定在盒体边缘上。

(3) 活块、镶块:妨碍砂芯取出的部分应制成活块。活块同芯盒本体之间可用定位销、棒及燕尾槽定位。应使活块重心落入芯盒窝座内,以保证制芯和起芯时活块处于稳定位置。一般先加工窝座,然后钳工用涂色法修配活块,使之松紧适度。

为加工方便,常将芯盒内某些局部——镶块分开加工,然后镶装在本体上,故叫镶块。采用镶块结构是为了尽量采用机床加工代替钳工操作,所以盒体中的圆柱体、圆锥体、平面方体以及妨碍盒体进行机加工的局部结构可设计成镶块。

(三) 芯盒外围结构

(1) 定位、锁紧结构:对开式芯盒都有定位机构。常用如图 17-12 所示的定位销套定位。定位销套设在芯盒两端或对角位置,销子装在下芯盒上,销套装在上芯盒上。销子、销套用工具钢制造,工作部分淬火, HRC40~45,销子直径一般为 $\phi 8$ 、10、12 以适应芯盒大小。芯盒也有用止口凸阶定位的,上半芯盒边缘上做出凸阶,下半芯盒边缘上做成凹阶相配合。这种止口凸阶定位适用于立放在平板上填砂、实砂的小芯盒。

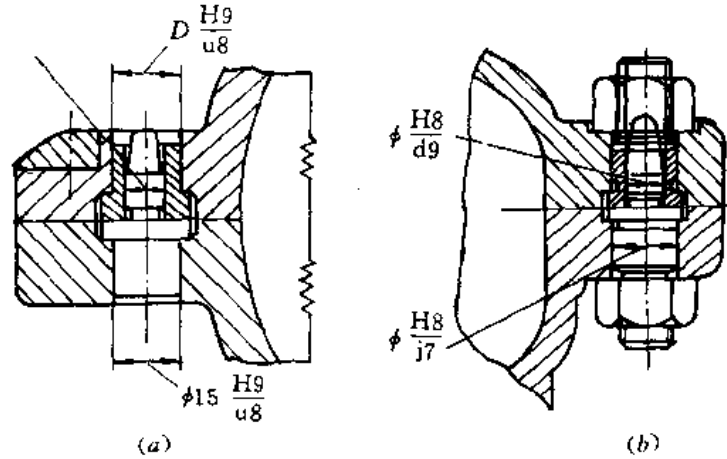


图 17-12 对开芯盒销套定位结构
(a) 静配合固定销套 (b) 用螺母固定销套

芯盒应有操作方便、灵活耐用的锁紧装置。手工造芯的简单芯盒可用钢丝制的弓形锁紧。而成批生产的芯盒常用的锁紧装置有蝶形螺母、双螺母铰链及偏心锁等。

(2) 搬运翻转结构:为便于搬运和造芯时翻转操作,一般中、小芯盒都需设置手把,中、大芯盒需设吊轴。还有一些小芯盒也可利用锁紧耳台当手把用。图 17-13 为常见的手把和吊轴结构。

用于机器造芯的芯盒都设计出固定耳台,以便与造芯机台面连接,其位置和尺寸应和工作台面上的“T”形槽一致。

(四) 对金属芯盒的技术要求

(1) 为减少变形、箱体要进行人工时效处理。

(2) 箱体主要工作部位的尺寸公差一般为 ± 0.1 mm 范围。

(3) 分开式芯盒分盒面之间的允许间隙,当芯盒平均轮廓尺寸小于 300 mm 取 0.1 mm,大于 300 mm 取 0.2 mm;曲折分盒面取 0.3 mm。

(4) 芯盒上定位销孔距公差,当不用成型烘干器的芯盒取 ± 0.25 mm,用成型烘干器的芯盒取 ± 0.05 mm。

(5) 芯盒使用过程中允许磨损量,对工作面部分允许 0.4~0.6 mm,其它组合面、分盒面及刮砂面允许 0.4 mm。

(6) 对芯盒表面粗糙度要求:内腔、活块、镶块的工作面及分盒面、刮砂面的 R_a 值为 $1.6 \mu\text{m}$ 。底面及经常接触表面 R_a 值为 $12.5 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。其余非工作表面不需加工。

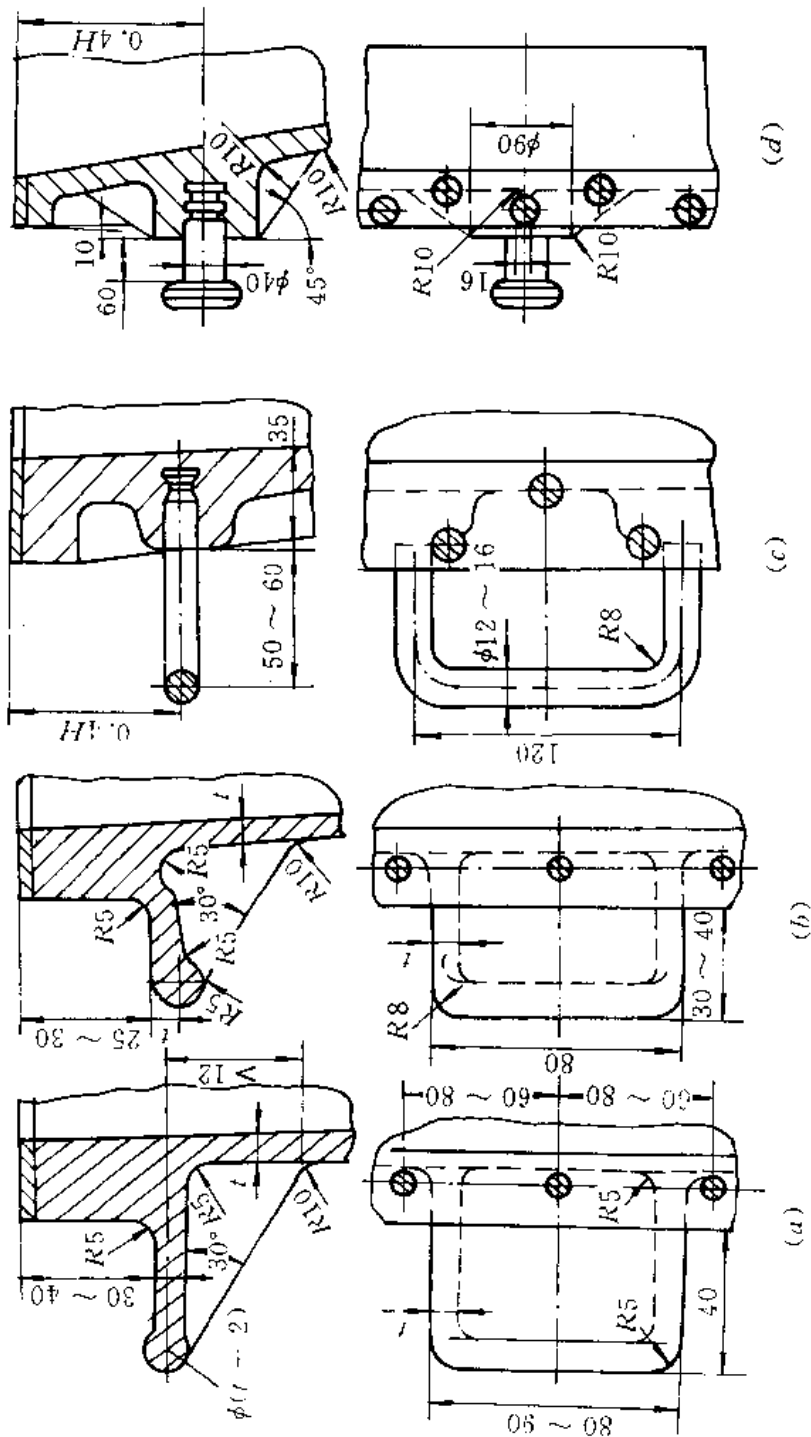


图 17-13 芯盒的把手和吊轴结构
(a)、(b)、(c) 芯盒带把手 (d) 芯盒设置吊轴

复习思考题

1. 铸造工艺装备包括哪些?铁水包算不算工艺装备?
2. 如何区分模样或芯盒的凸体尺寸和凹体尺寸?这样划分尺寸的目的是什么?
3. 模样在模板上如何定位?怎样固定?
4. 设计和选用砂箱的基本原则有哪些?
5. 砂箱与砂箱、砂箱与模板之间如何定位?
6. 各种芯盒各有什么特点?哪种芯盒造芯最简便?
7. 仔细比较各种芯盒的定位、紧固及吊运装置的结构特点。

第十八章 金属型设计

§ 18-1 金属型的结构形式

一、金属型的分类和组成

金属型的结构形式很多,根据其分型面数目、分型面的方向和铸型型体运动的方式等特征,将金属型分类(见图 18-1)。

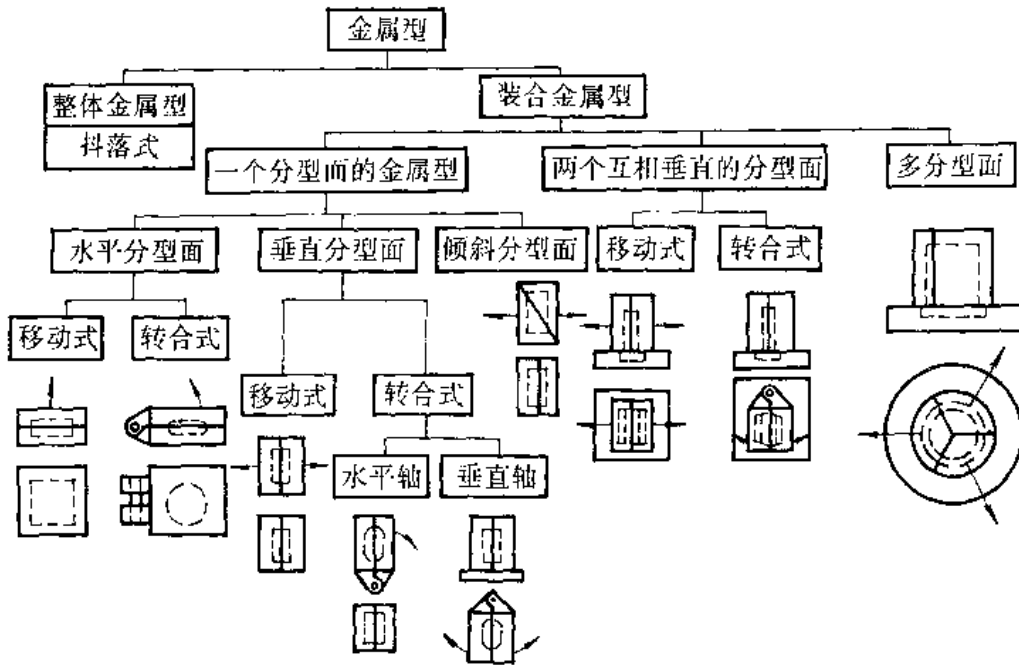


图 18-1 金属型分类示意图

金属型的结构很复杂,它是由具有不同作用的许多部分组成的。最完整的金属型包括下列各部分:

- (1) 型体:内有形成铸件的型腔。
- (2) 底板:用来支承型体,有时,其中也有部分型腔。
- (3) 型芯:包括金属型芯和砂芯、壳芯。
- (4) 导向装置:使金属型各部分移动时位置正确,不发生歪斜。当金属型安装在浇注机上时,金属型本身不设导向装置。
- (5) 定位装置:使金属型各部分相对位置准确。
- (6) 锁紧装置:使金属型型体各部分互相紧固。
- (7) 通气装置。

- (8) 加热和冷却装置。
- (9) 顶杆:将铸件从型腔中顶出。
- (10) 操作机构:有时为金属型的一部分,有时为金属型浇注机的一部分,包括开合型和抽芯机构。
- (11) 固定装置:将型体固定在底板上或浇注机上。
- (12) 搬运装置:螺纹吊环。

二、典型金属型结构实例

图 18-2 所示壳体金属型为具有两个互相垂直分型面的典型结构。型腔设置在左右半型 3 和底板 4 内。左右半型在开合型时都要移动,相互之间用定位横销定位。左右半型与底板之间用六边形凸台定位,部分型腔即位于此凸台内。上型芯用螺杆抽芯机构抽出。左右半型安装在浇注机上,通过浇注机的开合型机构实现开合型动作。开型后铸件总是留在底板上,下型芯起中心支撑作用,可防止铸件在开型时随左右半型移动。为了便于底板上的型腔加工,采用了镶块结构,在镶块 6 上先加工出型腔,然后再把镶块 6 用螺钉紧固在底板上,组成一体。左右半型合型后,用锁扣 7 锁紧。

这种结构的金属型,可在任一方向安置型芯,便于采用各种形式的浇注系统和冒口,实施良好的工艺措施。因而,适用于铸造各种大小的简单和复杂的有色合金铸件。

§ 18-2 金属型的结构设计

金属型结构形式的确定取决于:铸件的形状、大小和浇注位置;分型面的方向和数目;浇注系统和冒口的形式;型芯的种类和数量;铸造合金种类;铸型中铸件的数量;生产批量的大小和采用的机械化程度。

设计金属型的原始资料是:零件图、合金牌号、生产技术条件和生产批量。当具体铸件的浇注位置、分型面、浇注系统和冒口等基本确定之后,金属型的结构设计就成为满足各项工艺要求的重要条件。

一、金属型结构设计的一般要求

铸件的质量,不仅受铸造工艺规范的影响,同时,也受金属型结构及其制造精度的影响。金属型设计的主要原则是与铸造工艺问题紧密相关、互相制约的,所以,以上两者要同时考虑,综合解决。对金属型结构设计的一般要求是:

(1) 应保证与已选定的工艺要求相适应,如铸件的浇注位置、分型面的方向和数目、浇冒口的结构和尺寸等。同时,还应能实现某些合理的工艺因素,如设置冷却或加热装置来保证金属型中铸件合理的凝固条件和温度规范。

(2) 当生产量不大时,应使主要工序(开合型、抽芯、安放砂芯、取出铸件等)操作简单、方便、迅速,可采用手动操作机构;当生产量大时,应尽量采用机械化或自动化的浇注机。这样不但可以保证产品质量,同时,也可以提高劳动生产率。

(3) 金属型结构应具有合理的强度和刚度,以保证金属型不变形和损坏。

(4) 金属型的结构应使装配、拆卸方便可靠,以便于清理和准备铸型。

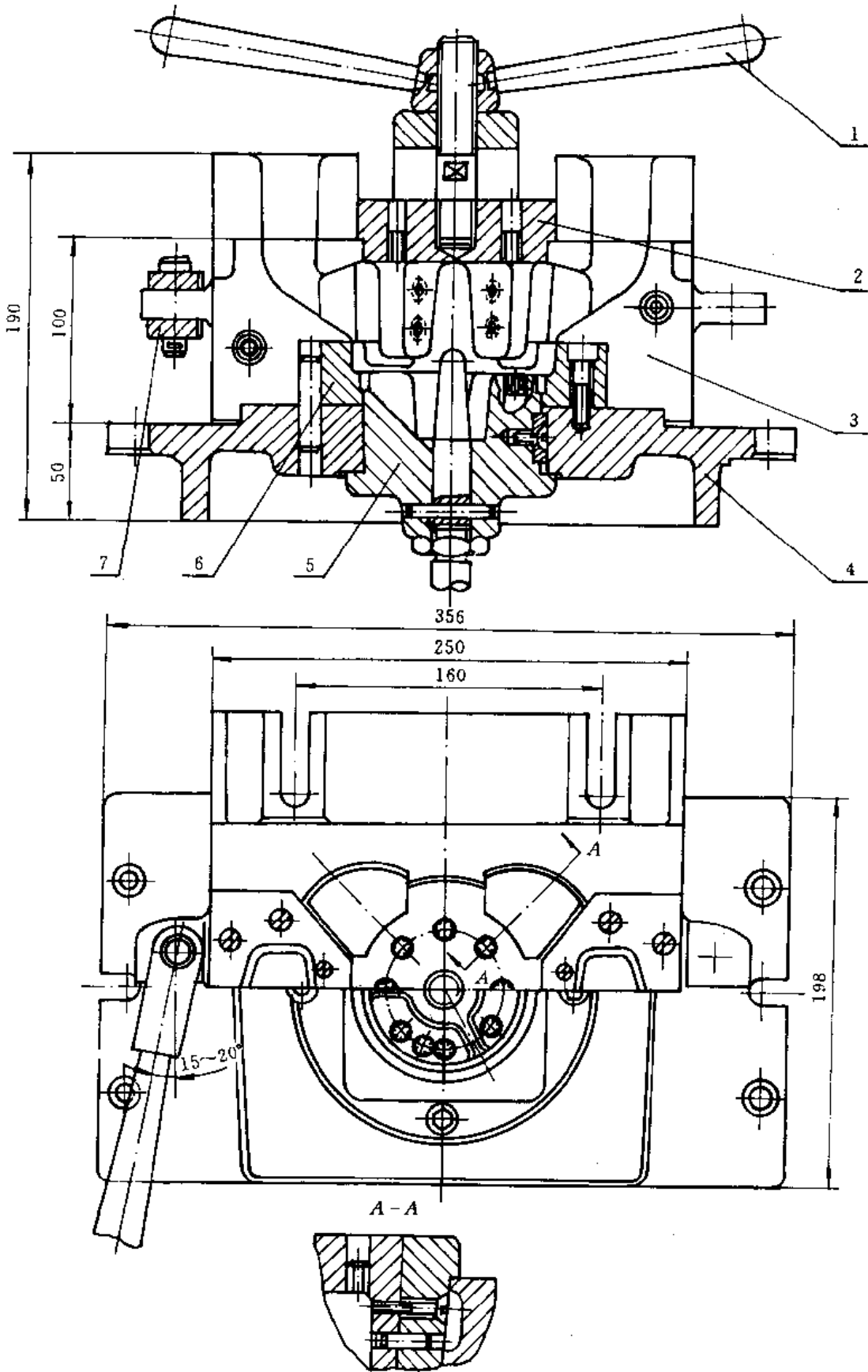


图 18-2 壳体金属型

1—抽芯机构 2—上型芯 3—左右半型 4—底板 5—下型芯 6—镶块 7—锁扣

(5) 金属型结构应使其具有良好的加工工艺性,使制造和维修简单方便。

(6) 应尽可能地采用典型结构和标准化、规格化的零部件,这样可以简化设计和制造工作,大大地缩短生产准备周期。

二、型体和底板的设计

型体和底板是金属型的主要零件。它的结构形状取决于铸件的形状、分型面和浇注系统的形式,也和金属型的制造方法(铸造或锻造毛坯)及操作金属型的方法有关。如手工操作、手工机械操作及机械化等就要求不同的铸型结构。

(一) 型体结构

形成铸件的型腔大部分在型体内,型体的外部形状与型腔大致相似。型体沿分型面水平方向的长度,应能容纳铸件型腔、浇冒口以及某些结构件,如定位、锁紧和操纵机构(见图 18-2)。自型腔边到金属型的外缘最小应为 30~40 mm。型体的宽度(水平分型时则为高度)应保证能抵抗挠曲所必要的结构强度和刚度,为此型体的背面应作成框形,即在背面的四周有一圈垂直于分型面方向的凸起边缘。对大尺寸的型体,其中间还置加强筋(见图 18-3)。

为了保证型体放置稳定和运动平稳,故把底边加宽。型体的高度应保证能容纳铸件型腔、浇冒口及必要的附属结构件。

型体的轮廓形状应和浇注机上安装型体的位置相适应,根据型体尺寸大小和采用的浇注机的不同,型体背面的形状也会有所不同。如图 18-3 所示是安装在手动通用浇注机床的水平滑板上的型体,适用于小型铸件;图 18-4(a)一般是安装在专用浇注机床上的型体,适用于中型铸件;图 18-4(b)、(c)是安装在气动、液压通用浇注机床的垂直安装板上的型体,适用于中、小型铸件。

左右两半型之间用定位横销定位,定位横销可以设置在金属型分型面的轮廓范围内,也可设置在专用的凸耳中(见图 18-5)。

当金属型是手动、机动(丝杠螺母、齿轮齿条)开型时,应在分型面上开有 4~6 mm 的凹槽,以使用撬杠撬开(见图 18-5)。

为了便于型体加工及铸型通气,特别是解决大型型体变形,采用组合型体是比较合理的。如图 18-6 所示的型体,它是由几块板子组成的,相互间用定位销定位,分别加工成型后,用螺钉牢固地连接在一起,组成一个半型。

组合型体的优点如下:

- (1) 简化型体的机械加工和修理;
- (2) 金属型很大时,这样作可以分散应力,避免型体出现较大的挠曲变形;
- (3) 型体上容易损坏的部分可以单独更换,如在浇注铸铁件时,浇注系统就常作成可拆换

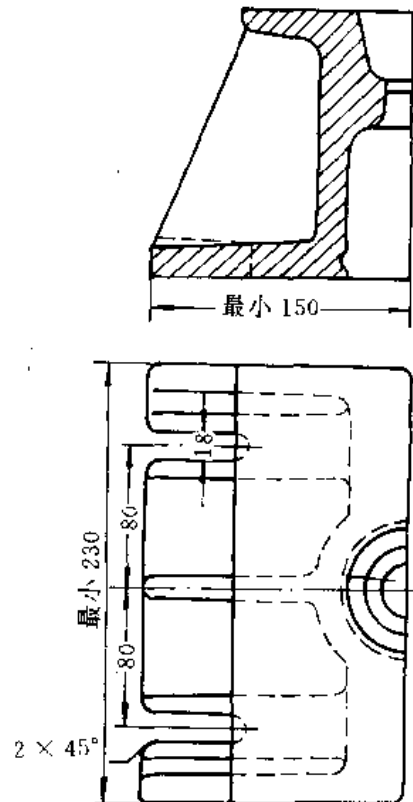


图 18-3 金属型型体结构

的：

- (4) 各组合件之间的接触面可以排气；
- (5) 根据不同的需要选用不同的材料，既可延长铸型寿命，又可节约优质材料；
- (6) 在大的金属型中，便于按区域分别地加热或冷却。

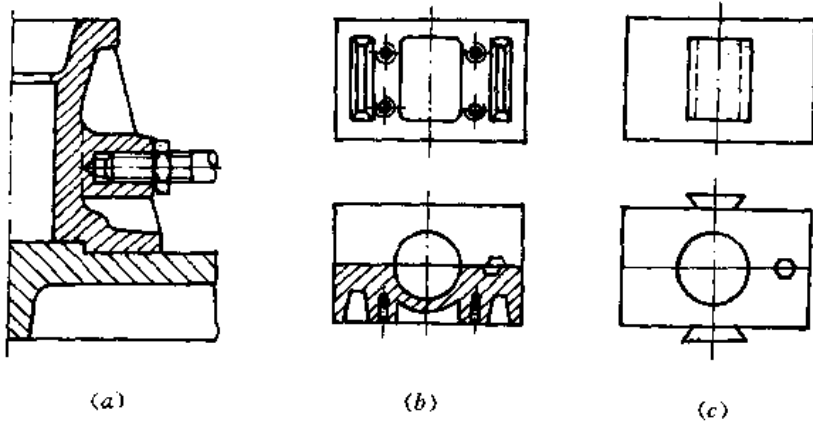


图 18-4 金属型型体结构

- (a) 安装在丝杠螺母机构上的型体
- (b)、(c) 安装在气动、液压浇注机床上的型体

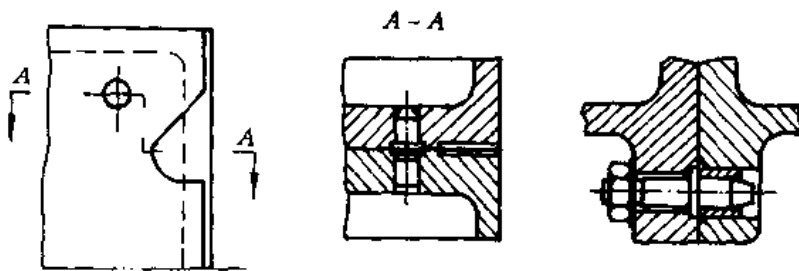


图 18-5 型体上的撬开槽和定位横销

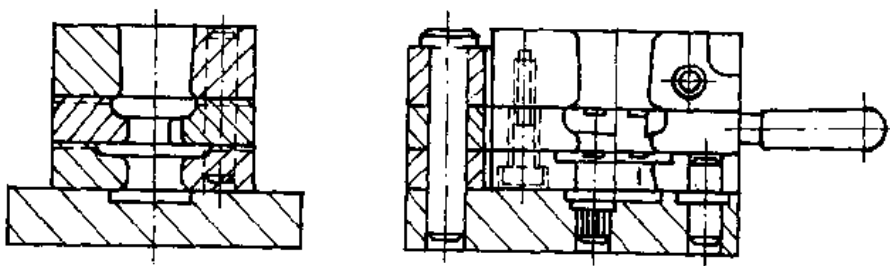


图 18-6 组合结构的型体

(二) 底板结构

底板的作用是：作型体安装及移动的基板；形成型腔的一部分；安装型芯和抽芯机构。

根据对底板要求的不同，其结构可以由简单到复杂，底板各部分的尺寸因半型和铸件的尺寸而异。底板的长度应保证半型拉开后，能方便的自型腔中取出铸件。若金属型是安装在浇注机床上工作，则半型可在机床床面上移动，故此时底板可作得比两个半型宽度之和还小。底板的高度应保证具有必要的刚性和能安置下金属型的抽芯和顶出铸件的机构，故底板也应作成

框形,并设有加强筋,见图 18-7。

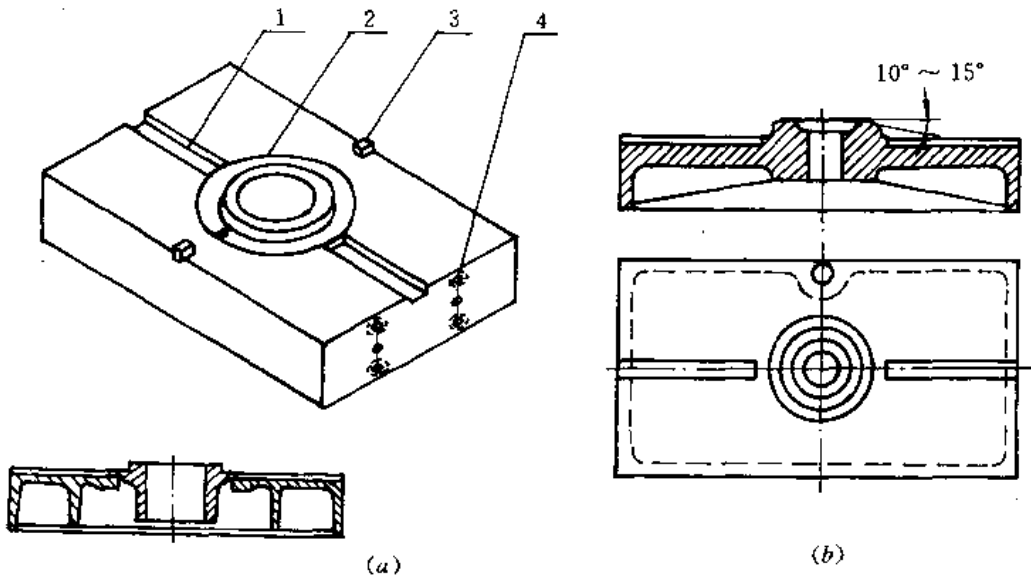


图 18-7 金属型底板结构

1—导向键槽 2—底板 3—定位键 4—开合型机构安装孔

在互相垂直分型面的金属型中,其底板上常作有形成铸件的部分型腔,这时就必须保证型体和底板能可靠的定位,为此底板上作有圆形或长方形的凸台(见图 18-2、图 18-7)。型腔多在凸台内,它的对称中心线要和金属型的垂直分型面非常准确地吻合。凸台和底板可以是整体的,也可以是镶嵌结构。凸台的高度不低于 10 mm,其上表面向垂直分型面的两边倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,如图 18-7(b) 所示。

中小金属型安装在浇注机床的水平滑板上,型体运动时的导向靠机床的导向装置得以实现。为保证大型金属型型体在底板上的运动准确可靠,需设置导向装置,常用的形式是在型体底部装有导向键,在底板上加工出相应的键槽,如图 18-7 所示。

水平分型的金属型和转合式的金属型,其底板只起支承型体的作用,一般不设专门的导向装置。

(三) 金属型的壁厚

金属型经常处在高温下,材料强度易降低,而且在开型、抽芯、取出铸件时受力很大,为了防止挠曲变形,金属型要有足够的结构强度和刚度。为此,除了型体、底板的背面作成框形和设有加强筋外,型壁也应当有必要的厚度。欲获得优质铸件,在设计金属型时,选择适宜的金属型壁厚是至关重要的。因为铸件质量在很大程度上取决于冷却凝固条件,而这个条件又恰好和金属型壁厚有着直接的关系。金属型壁厚对铸件凝固速度的影响,受型壁的蓄热能力(和铸型材料的热容量有关)和它放热至周围介质的能力(和铸型材料的热导率及其表面温度有关)两个因素所制约。这两个因素对不同合金的铸件,起着不同的作用。

(1) 有色合金及铸铁,其熔点较低,在金属型中冷却时,型壁减薄,会引起蓄热能力的显著降低。此时虽然型壁外表面的温度升高,但不显著,所以以对流和辐射的方式向周围介质的放热增加不多。因此,减小壁厚就降低铸件的凝固速度。而增加壁厚则提高铸件的凝固速度;

(2) 高熔点合金在金属型中冷却时,减小型壁厚度虽然减小了蓄热能力,但此时金属型外

表温度升高很快,因而,以对流和辐射的方式向周围放热迅速增加,故铸件凝固速度增大;而壁厚增加时,相反凝固速度减小。

(3) 浇注铸钢时,减小型壁厚度会降低蓄热能力,但也会使型壁外表面向周围介质的放热增加。因此,在一定的范围内改变型壁的厚度,对凝固速度不起多大影响。但另外也有人认为,在铸钢时增加型壁厚度,会增大凝固速度。

实际上上面这些影响还和下列因素有关:铸件壁厚、铸造合金和铸型材料的种类、铸件与铸型的相对位置、铸型涂料等。有色合金铸件的壁厚一般都较薄,在这种情况下型壁的蓄热能力起主导作用。至于铸件热导性的影响,是因为液态金属和型壁接触后,会很快凝结成一层硬壳,内部的金属液必须通过它来散热,故铸件的热导率就起较大的作用。所以同样是铸钢,由于碳钢的热导率比某些高温合金要大得多(约大一倍),型壁厚度对凝固速度的影响也就不同。铸件和铸型的热导率大,型壁厚度增加时凝固速度增大。铸件与铸型的相对位置,是指铸件包围铸型(如型芯及型壁凸出部分),还是铸型包围铸件。在上述后一种情况下,铸件表层凝固冷却时要收缩,而铸型却要膨胀,在它们之间必然要形成一层空气隙,这样就会大大地降低热传导速度,从而,减弱型壁厚度对铸件凝固速度的影响。前者因不会形成空气隙,故必然增强型壁厚度变化对铸件凝固速度的影响。

综上所述,决定金属型壁厚时要考虑两个因素:金属型的结构强度和刚度;型壁对铸件的散热(或冷却)条件。

直到现在尚无确定金属型壁厚的可靠而简单的计算方法。一般是根据经验来确定的。例如,根据分型面的轮廓尺寸的平均值来决定金属型壁厚,见表 18-1。

表 18-1 用于有色合金铸造时铸铁金属型壁厚 (mm)

分型面平均尺寸	< 130	130 ~ 175	175 ~ 200	200 ~ 350	350 ~ 500	> 500
金属型壁厚	15	16	18	20	25	30

一般有色合金铸造用的金属型,壁厚多取 20 ~ 25 mm,当采用人工加热时则壁厚减小为 15 ~ 18 mm,锻造的钢质金属型可达 40 ~ 50 mm,直径为 100 mm 或更大的金属型芯应做成中空的,其壁厚为 15 ~ 20 mm。

至于铸铁件,主要是考虑到要保证铸出的铸件没有白口层。对黑色金属铸件的型壁厚度,可根据铸件的平均壁厚和金属型的工作情况来确定,见表 18-2。

表 18-2 用于黑色金属铸造时铸铁金属型壁厚 (mm)

金属型的工作情况	钢铸件的壁厚			铁铸件的壁厚		
	< 20	20 ~ 50	> 50	< 15	15 ~ 30	> 30
间歇很久的定期浇注	20	25 ~ 40	$(0.7 \sim 0.9) \times \text{铸件厚}$	15	20 ~ 30	$0.8 \times \text{铸件厚}$
连续地进行浇注	25	40 ~ 50	$1.0 \times \text{铸件厚}$	20	30 ~ 40	$1.0 \times \text{铸件厚}$
连续地进行浇注 (人工冷却)	20	30 ~ 35	$0.8 \times \text{铸件厚}$	15	20 ~ 30	$0.8 \times \text{铸件厚}$

三、型芯的使用及其设计

型芯用以形成铸件内部空腔或铸件的侧凹(妨碍开型的凹入部分)。在金属型铸造使用两类型芯:金属型芯和砂芯(含壳芯等)。

(一) 金属型芯

根据抽芯时间的不同可将金属型芯分为三种:① 抽出式型芯,开型前抽出的型芯;② 拆卸式型芯,在开型以后从铸件上取下;③ 上述两种型芯的综合形式。

根据型芯的结构不同又可分为整体型芯和组合型芯。

(1) 整体型芯:多为抽出式的型芯,只构成简单形状的内腔,如图 18-8 所示。型芯定位利用带凸肩的芯头,芯头的直径应比型芯的最大直径大 2 mm,以保证抽芯时,型芯上的涂料不致被刮掉。当用手抽芯时,芯头上应有两层凸肩,以使用撬杠撬出。非圆形截面的型芯,为了使其不致转动,可用键定位(见图 18-8(a)),或将圆形凸肩削出一个平面,用来定位(见图 18-8(b)、(c)、(d))。型芯一般是沿直线方向抽出,需要时,也可沿圆弧形方向抽出,甚至螺旋线方向抽出。

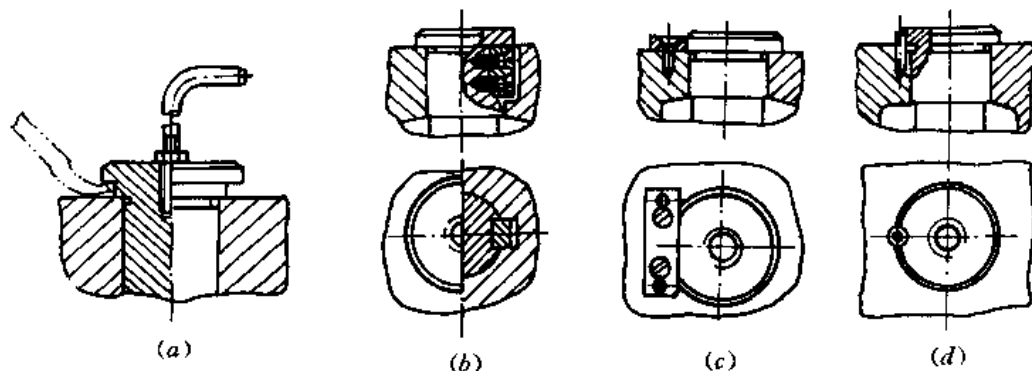


图 18-8 整体金属型芯及其定位

(2) 组合型芯:多为拆卸式和综合式型芯,如图 18-9 所示。

图 18-9(a) 中由件号 3~8 组成型芯的拆卸部分,借芯头导向部分或者用燕尾槽将其固定在型芯的中心部分 2 上。抽芯时先将中心部分 2 抽出,再由铸件上取下拆卸部分,先取件号 3、5、7,再取件号 4、6、8。

有时铸件上内孔的形状并不妨碍将型芯一次抽出,但由于铸件和型芯的接触面很大,抽芯时,需要很大的抽芯力,同时也容易拉坏铸件,这种情况下,也应设计成组合型芯。如图 18-10 所示就是其中一例。型芯为套环式,抽芯时,先抽中央型芯,抽出一定距离后,中央型芯碰到外环型芯时才抽动外环型芯。

在设计金属型芯时必须考虑到下列问题:

- (1) 型芯要有斜度,在非加工面上取 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}30'$,在机械加工面上取 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$,或者更大些;
- (2) 在铸件凝固冷却时应能及时迅速的取出型芯,取出过早可能带坏铸件,取出过晚会使抽芯困难,甚至使铸件形成裂纹;
- (3) 型芯定位要很准确,导向可靠,保证型芯移动不发生歪斜,以免拉伤铸件;
- (4) 对型芯表面情况要有作仔细观察的可能,因为安装和抽芯时容易损坏,涂料易于

脱落。

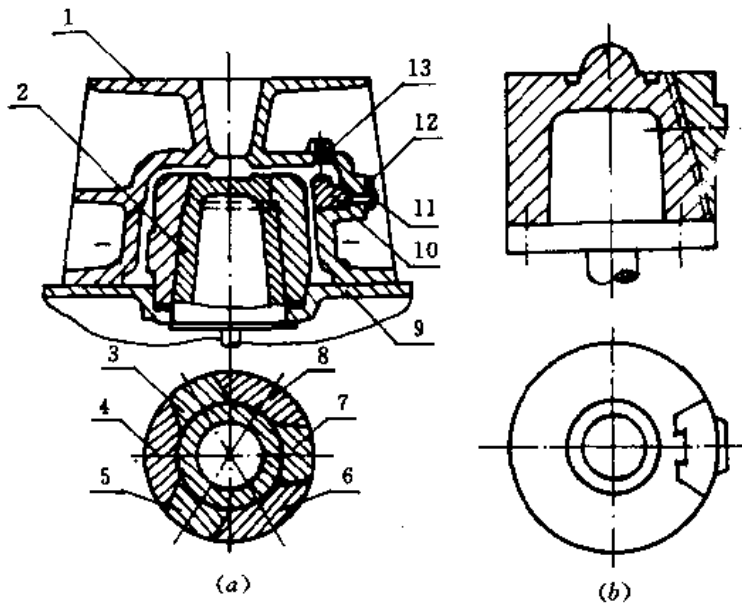


图 18-9 克服抽芯障碍的组合型芯

(a) 四周受阻的型芯 (b) 局部受阻的型芯

1—左半型 2~8—装配好的组合型芯 9—右半型
10—活块 11—销钉 12—楔 13—通气塞

(二) 砂芯

金属型铸造中采用金属型芯有很多优点,一般希温尽可能采用它。但在下列情况下,则必须采用砂芯(含壳芯等)。

(1) 铸件内腔结构使得不可能取出金属型芯,或者不能迅速及时的将金属型芯取出,如轮毂的下部内腔(图 18-11)按形状来说是可以采用组合型芯,但当型芯中央部分取出后,其环形部分的许多型芯块只能在铸件出型后才能取出,这时铸件收缩已快终止,芯块对铸件会有很大的阻力,因而在铸件中产生很大的应力并引起裂纹,所以这种情况下必须采用砂芯;

(2) 铸件的內腔结构使得组合型芯非常复杂,在制造、装配、取芯时很困难,并且型芯也会很快磨损,这时最好采用砂芯;

(3) 铸造合金的工艺特性限制,不能采用金属型芯,如热裂性很大的合金就要用砂芯,铸铁主要是采用砂芯,而铸钢则只用砂芯;

(4) 铸件某些部分需要缓慢冷却以保证良好的凝固条件则采用砂芯。

金属型铸造中采用砂芯的结构形式多种多样,主要取决于铸型和铸件的结构。垂直分型的金属型中砂芯最好定位在底板上,也可定位在一个半型中。水平分型的金属型中砂芯一般定位

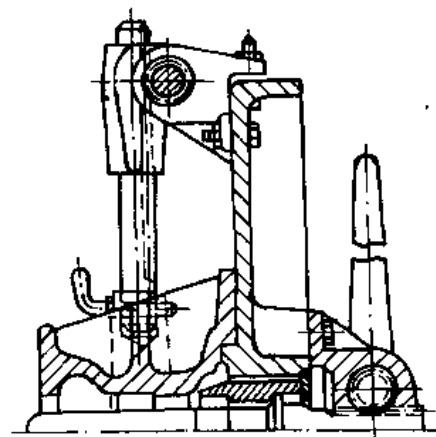


图 18-10 分解抽芯力的组合型芯

在下半型。至于芯头、芯座的形式，配合间隙等与砂型铸造类同，这里就不赘叙了，需要时可查手册。

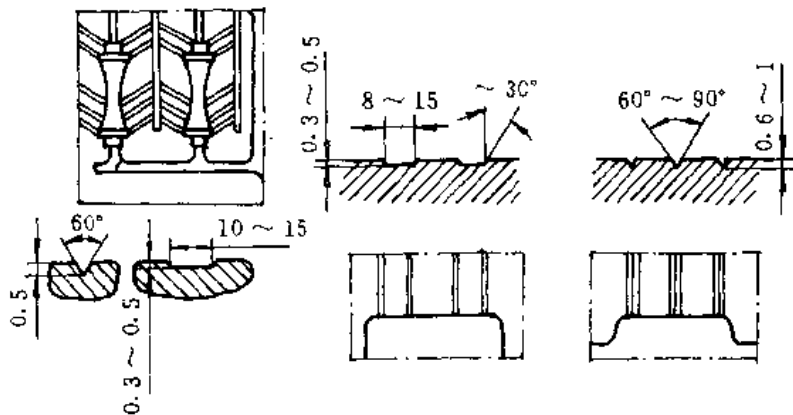


图 18-11 轮毂铸件图

四、金属型通气系统的设计

由于金属型材料没有透气性，故在设计金属型时，要很好地考虑型腔的排气问题。否则，易使铸件产生冷隔、浇不足或轮廓不清晰，甚至在铸件中形成气孔等缺陷。在有色合金铸造时，由于其表面氧化膜厚，表面张力大，上述缺陷会更加严重。为了避免形成上述缺陷，必须设计相应的排气系统和尽量利用金属型上的排气孔道。现分析如下：

(一) 利用浇注系统和冒口排气

在确定铸件在金属型中的位置及设计浇注系统和冒口时，必须考虑到金属液的运动能使型腔中的气体顺利地排出。对于形状复杂的铸件，在局部凸起处和暗冒口内会形成气袋，故在垂直分型面内的该处，应设置出气口，通常作成直径为 3~4 mm 的圆孔或 (2~3) × (5~10) mm 的扁孔，直接通向金属型外部。

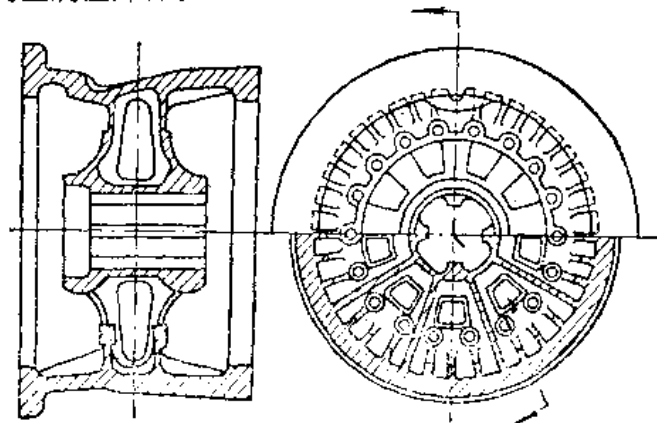


图 18-12 金属型分型面、分界面上的排气槽

(二) 从分型面、分界面(组合型体、镶块)、导向面(金属型芯、推杆)的间隙排气

由于要避免形成毛边，上述间隙一般很小，约为 0.1 mm，可是这样的间隙又不能保证气体的迅速排出。所以，需要时应在这些分型面及分界面处开设专用的排气槽(见图 18-12)。槽宽为 8~5 mm；槽的深度，当浇注铸铁和青铜时为 0.25 mm，浇注有色合金时为 0.5 mm。若开设

三角形排气槽时,其深度为 0.6 ~ 1.0 mm。

(三) 设置排气塞

排气塞的形式如图 18-13(a) 所示。其安装位置的选择如图 18-13(b) 所示。为了自金属型的局部凹坑导出气体,广泛采用安装在贯通孔内的排气塞,对不大的圆柱形凹坑,排气塞的直径与凹坑直径相同,面积较大的凹坑,则应在其中安装若干个排气塞。有时,非凹坑的大平面上也要安装排气塞。在铸件的局部厚大处安装排气塞还可加速冷却,防止疏松。

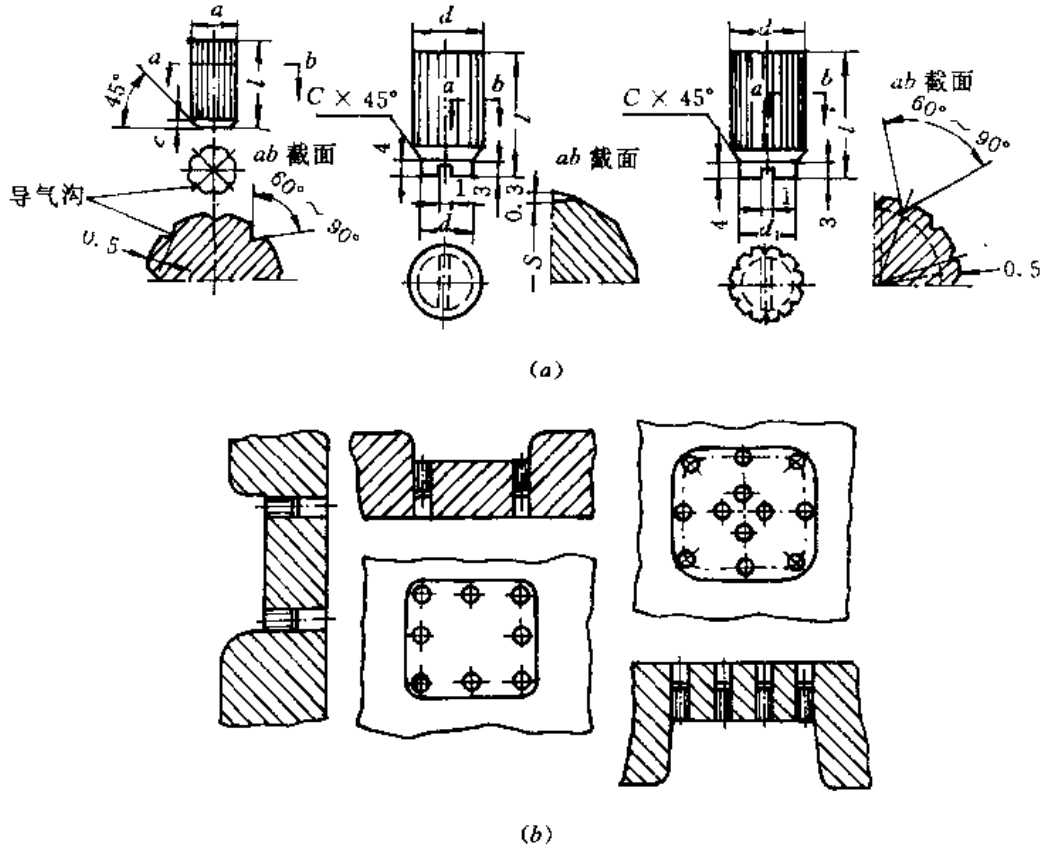


图 18-13 排气塞的形式和安装位置
(a) 排气塞的形式 (b) 排气塞的安装位置

(四) 设置抽气装置

浇注薄壁复杂铸件,以及气体经由排气槽自然排出的效果不好时,采用人工抽气方法排气。如风冷发动机气缸头,有很多很薄的散热片,当金属液充填这些狭窄的散热片型腔顶部时,易形成闭塞的气袋,使金属液流充填阻力增大;并且这些狭窄的型腔中的金属液冷凝得较快,易造成浇不足的缺陷。在这种情况下,采用人工抽气(见图 18-14),不仅排除了气体对金属液流的阻力,同时形成负压,也有利于金属液能迅速充满型腔。当浇注镁合金薄壁复杂铸件时,采用人工抽气更为有利,因为这样能迅速排除合金液保护剂硫磺燃烧时产生的 SO_2 气体。

(五) 砂芯和壳芯排气

砂芯和壳芯在浇注金属液时会产生很多气体,必须很好地将其排外型外。为此,砂芯本身要有通气孔由芯头端面通出,在金属型芯的芯座上要作出向外的通孔。有时,复杂的大砂芯其

大部分被金属液包围,而芯头又很小,则也要采用人工抽气。

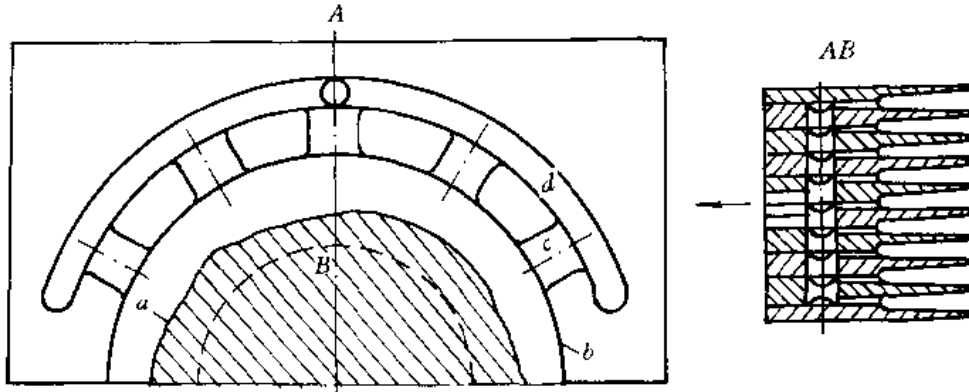


图 18-14 人工抽气的导气系统

a—正进入型腔的合金 b—筋肋的外轮廓 c—导气缝 d—导气集流沟

(六) 利用涂料层排气

在已有良好通气系统的结构的情况下,当浇注时被转入金属液内或由金属液析出的部分气体,仍然可能保留在金属液和型壁之间,为了使这些气体在金属静压力下,不致进入铸件中去,就必须考虑涂料层的排气作用,由于涂料是多孔性的,浇注金属后型壁与金属间的细小气泡就可能沿着涂料层颗粒所形成的毛细管上升而排入大气中。为此目的涂料层颗粒愈大,气体就愈容易排出。

五、金属型的加热和冷却系统设计

为了使铸件获得良好的凝固和补缩条件,根据金属型的热平衡计算,有时需要使局部加快或减缓冷却速度,因而,需在金属型上设计特殊的加热或冷却装置,以便在工作过程中加热或冷却金属型。

(一) 金属型的加热方法及加热装置

(1) 用箱式电炉加热:这种加热方法效果良好,能保证金属型各处均匀加热,没有弯曲变形的危险。适用于中小型金属型喷涂料和浇注前的加热。

(2) 用电加热器加热:大的金属型很难搬到箱式电炉中加热,另外,有的大而复杂的金属型,在浇注时由液态金属中所获得的热量,不足以保持必要的工作温度;有的金属型为了保证铸件有良好的凝固、补缩条件需要局部加热。在上述情况下多采用电加热器加热。

图 18-15(a) 所示为固定式专用电加热器。这种电加热器由螺旋状电阻丝或折叠状电阻带构成,安置在金属型外壁的特制空位内,或者安放在型体和底板背面的筋肋之间。电热元件用螺栓和耐火材料套管固定在镶有绝热材料的钢盖板上,盖板固定于金属型的外壁,也可将电加热器直接固定在金属型上。电热元件的数量和尺寸要根据金属型的大小和必须保持的温度,通过热平衡和功率计算来确定。对复杂而要求很高的铸件,为了使金属型各部分的温度不一致,以造成铸件良好的顺序凝固条件,可在不同的部位安装功率不同的电加热器,分别用自动控温仪表来保持规定的温度。为了保证操作者的人身安全,电加热器要使用安全电压(36 V)。

为了喷涂料和浇注前预热大、中型金属型,可采用活动式电加热器(见图 18-15(b))。电热元件安装在架子上,用人工或起重设备将它置于半开的金属型中。和固定式电加热器相比,不

同的是,它可以使用正常电压(220 ~ 380 V),不用变压器,且结构简单,加热速度快,可缩短加热时间。

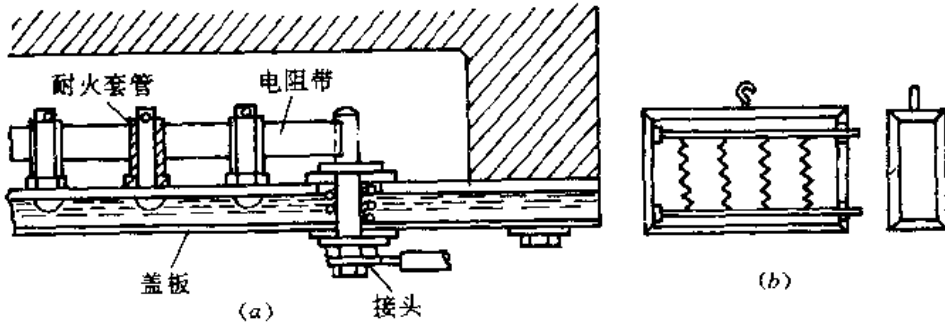


图 18-15 金属型上加热用的电热器简图
(a) 固定式电热器 (b) 活动式电热器

在某些情况下,还可使用管状电加热器。金属型壁厚在 35 mm 以上时,可在其上钻孔装入管状加热器(见图 18-16)。这种装置热效率高,使用安全,装拆方便,寿命较长,但会影响金属型的寿命。管状加热器现已商品化,可以外购或由工厂自制。

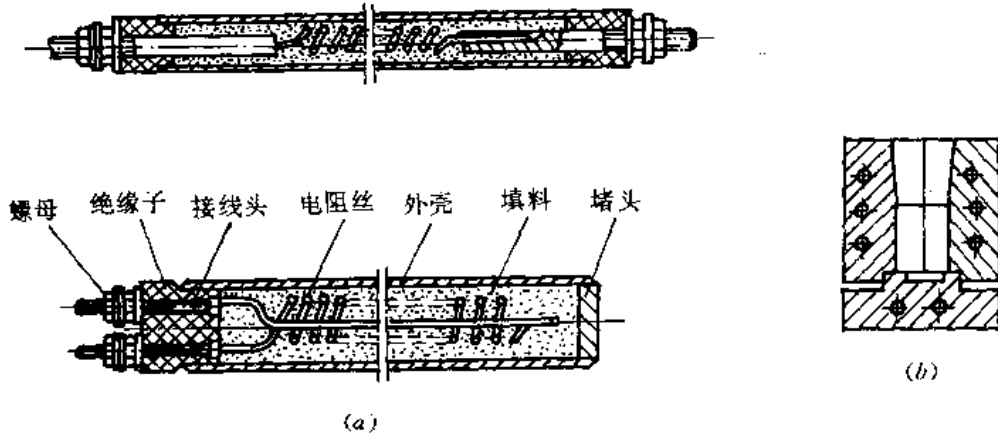


图 18-16 金属型用管状加热器及其安装
(a) 管状加热器 (b) 安装示意图

(3) 用煤气、液化气加热;对小型金属型可用移动式的喷嘴直接加热;对大、中型金属型以及工作过程中需要局部加热的情况下,可在金属型上安装固定式喷嘴加热(图 18-17)。这种加热方法,不易准确地控制和调节金属型的温度,而且,容易使金属型发生扭曲变形甚至产生外裂。可用于喷涂料和浇注前加热,也可作为金属型工作过程中的加热。

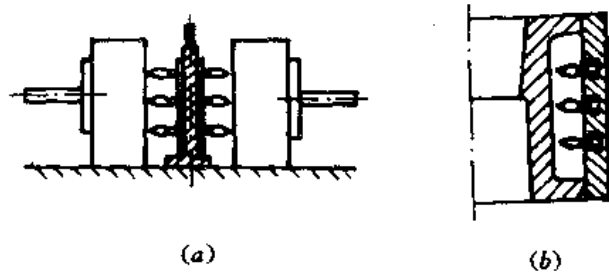


图 18-17 用煤气加热金属型的装置
(a) 移动式加热 (b) 固定式加热

(二) 金属型的冷却方法及冷却装置

上面我们阐述了金属型工作过程中需要加热的原因和方法,可有些情况金属型

不仅不需要加热,相反还要冷却。例如:由于浇注周期短、金属型结构特殊(散热表面积小),在连续不断的浇注过程中,它的温度显著升高,超过温度规范就会使铸件质量降低,而且也容易使金属型加快损坏。铸造黑色合金时这种情况尤为严重。在这种情况下,需要对金属型进行冷却。还有铸件局部特别厚大处,为了造成良好的凝固条件,也必须进行局部冷却。冷却的方法有下列几种:

(1) 增加金属型的散热表面积:通常采用增加金属型底壁、侧壁和上壁的长度,增加金属型外表面筋肋的高度和数量。最好是在金属型外壁上铸出散热针或散热片(见图 18-18(a))。散热针成棋盘状排列,其间距为 30~40 mm,高度比侧壁低 3~5 mm,平均直径为 15~20 mm。利用它可使冷却面积增加 30% 左右。多用于浇注黑色金属的金属型。

(2) 强制空气冷却:可直接用移动的压缩空气管,周期的吹金属型的外表面及型腔;将压缩空气固定地装在金属型某一需要加强冷却的部位;在金属型的背面用盖子密封起来,采用抽气冷却方式(见图 18-18(b))。

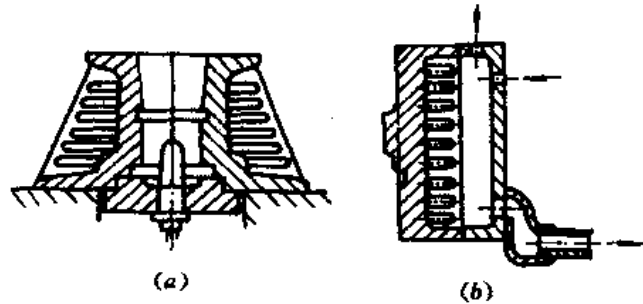


图 18-18 金属型的冷却装置
(a) 散热针冷却 (b) 抽气冷却

(3) 液体冷却:在金属型上设计冷却水道,通入循环的冷却水冷却。这种冷却方法其作用非常强烈,能缩短浇注周期;但铸型上被冷却与非冷却部分温差很大,会在铸型中引起很大的内应力,加速金属型的损坏。

(4) 金属型局部冷却体:当铸件壁厚不均匀,某些特别厚大处,凝固时又很难从浇冒口中得到金属液补充,因而容易产生缩孔、疏松,所以应加强该处的冷却速度,使之和周围同时凝固。为此,常采用局部冷却体。它是用紫铜制成的镶嵌件,一端构成工作型腔的一部分,另一端直通型体外面(见图 18-19)。为了达到良好的冷却效果,冷却体应有足够大的质量,它和铸件的接触面积应尽可能加大,需要时还可将其外端作成散热片状。若用压缩空气或水吹洗散热片,会进一步增强冷却作用。

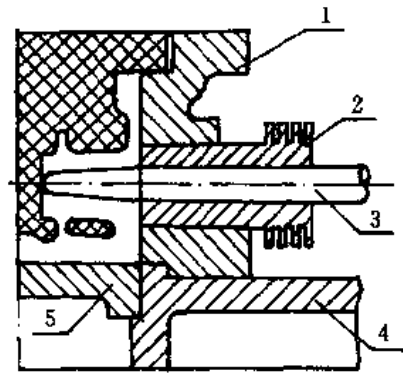


图 18-19 金属型的局部冷却体
1—半型 2—肋片式冷铁 3—活动型芯
4—铸型底板 5—在铸型底板中的冷铁

六、金属型的开合型和抽芯机构设计

(一) 开型力和抽芯力的确定

影响金属型的开型力和抽芯力的因素很多,例如:铸造合金的种类、金属型和型芯的大小和结构、铸造斜度、铸件出型和抽芯的温度、铸件在铸型中停留的时间、涂料的成分和厚度等。这些因素的影响一般难以准确的量化,特别是铸件的结构和尺寸(包围铸型的面积)变化很大,形状又不规则,因而,难以计算。生产中通常采用根据经验总结出来的数据,作为设计时的参考。

铸型的不同操作工序所需的力是不同的。在移动铸型的力、锁紧力、开型力、顶出铸件的力

当中,开型力是最大的,只要能够满足开型的需要,也就足以移动铸型和顶出铸件,故一般多计算开型力和抽芯力。

(1) 开型力的确定:一般可根据铸件在垂直于铸型分型面上的投影面积来估算开型力

$$P = F \cdot p \quad (18-1)$$

式中: P ——开型力(kN);

F ——铸件在垂直于铸型分型面上的投影面积(m^2);

p ——单位投影面积的开型力(kPa)。

表 18-3 提供的单位投影面积的开型力,仅适用于铝合金铸造。由于铸造镁合金的弹性模量($E = 400 \sim 410 \text{ MPa}$)比铸造铝合金的弹性模量($E = 696 \text{ MPa}$)小,浇注镁合金时的铸型温度也高些,加上镁合金的结晶温度间隔也大些,所以,浇注镁合金铸件时,由表中查得的数值需乘一修正系数 0.7。

表 18-3 铸造铝合金时单位投影面积开型力 (p)

分 类	简 单	一 般	复 杂
p (kPa)	0.0005 ~ 0.001	0.001 ~ 0.0015	0.0015 ~ 0.006

注: (1) 简单:指圆筒、圆锥形铸件,无强制阻碍出型的金属型;

(2) 一般:指带有法兰边、凸耳等一些阻碍出型的金属型;

(3) 复杂:指带有很多强制阻碍出型的金属型。

此外,还可按照根据实测统计,总结出的开型力和铸件重量的关系,制成的图表确定开型力。见图 18-20。

(2) 抽芯力的确定:抽芯之所以需要很大的力,是因为铸件在凝固冷却时,于弹性区温度下降引起收缩,对金属型芯产生很大的压力(包紧力)。在抽芯时,这个压力形成摩擦力,阻碍型芯抽出。一般型芯上都有铸造斜度,其斜度角为 α 。铸件向型芯的几何中心进行收缩,其收缩压力总是垂直于型芯表面。型芯上受到的总压力 P_0 的轴向分力是帮助型芯抽出的。型芯上受的总压力和抽芯时受的阻力计算如下:

$$P_0 = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)\pi l p \quad (18-2)$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \mu P_0 \cos \alpha - P_0 \sin \alpha \\ &= P_0 (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)\pi l p (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) \end{aligned} \quad (18-3)$$

式中: P_0 ——型芯上受到的总压力(kN);

P_1 ——抽芯时型芯所受的阻力(kN);

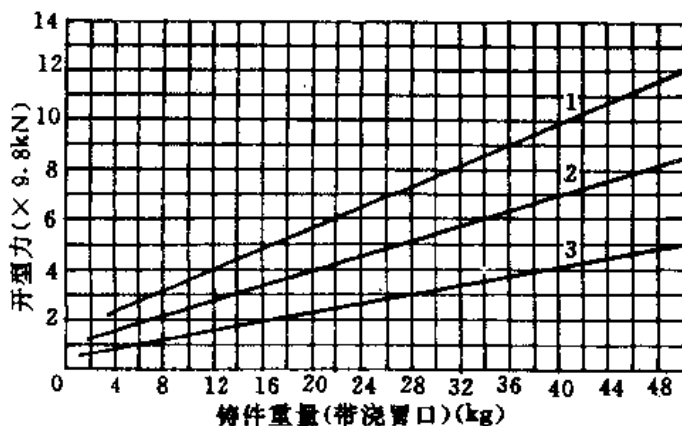


图 18-20 铸造铝合金时金属型的开型力

1—复杂型腔,阻碍铸件收缩的能力很大

2—中等型腔,阻碍铸件收缩的能力较大

3—简单型腔,阻碍铸件收缩的能力较小

d_1, d_2 ——型芯被铸件包紧部分的大小头直径(m);

l ——型芯被铸件包紧部分的长度(m);

p ——挤压应力(kPa);

(与抽芯时铸件的温度和弹性模量有关,铝合金为 10 000 ~ 20 000 kPa;镁合金则再乘以 0.7)

μ ——铸件与型芯之间的摩擦系数(0.2 ~ 0.3);

α ——型芯的铸造斜度(°)。

抽芯力和抽芯方向有关,当抽芯时,除克服上述阻力 P_1 外,还要克服型芯的重力 G 和惯性力 I 。故抽芯力的计算如下:

向上抽芯时:

$$P = P_1 + G + I \quad (18-4)$$

向下抽芯时:

$$P = P_1 - G + I \quad (18-5)$$

水平抽芯时:

$$P = P_1 + \mu' G + I \quad (18-6)$$

式中: P ——抽芯力(kN);

P_1 ——抽芯时型芯所受的阻力(kN);

G ——型芯及与型芯固定为一个整体的抽芯机构的重力(kN);

I ——使型芯运动所需的惯性力(kN)(一般取 $I = 0.25 G$);

μ' ——型芯头与型芯座之间的摩擦系数(0.25)。

另外,还可用根据生产中总结的图表(图 18-21)确定抽芯力。

(二) 开合型和抽芯机构

金属型在浇注前要合型和插芯,浇注后要抽芯、开型和取出铸件。这些工序都要借助于一定的机构或机器来完成。

设计金属型时,应尽可能把它安装在通用浇注台或浇注机上进行工作。这时,金属型本身不须设计开合型和抽芯机构,只需在金属型背面设计与浇注机床的开合型机构、抽芯机构相连接的连接件即可,如图 18-4 所示。有时,需要为某些金属型设计专用的浇注台或浇注机。在这些专用和通用浇注台或浇注机上,常用的开合型和抽芯机构有:齿轮齿条机构、螺纹机构、偏芯机构和气动、液压机构。其特点如下:

(1) 齿轮齿条机构:齿轮齿条机构的啮合效率比较高,一对啮合效率可达 90%,考虑到两对滑动轴承的摩擦损失及径向力产生的侧面摩擦损失,总效率仍可达 80% 左右。其特点是,开型距离比较大,开型力较小,适用于中小型金属型的开、合型和下部型芯的抽出(见图 18-10)。齿轮模数一般用 2.5 ~ 4,齿数为 10 ~ 20。

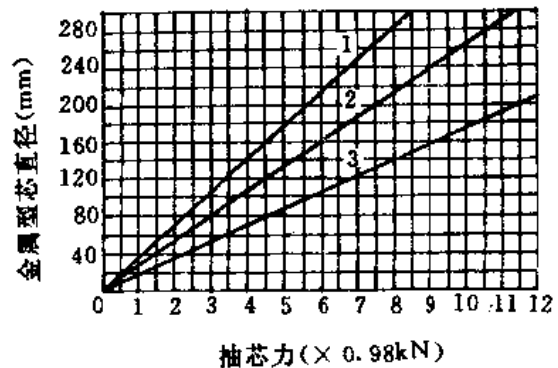


图 18-21 型芯长度为 10 mm 的抽芯力
(铝合金铸件)

1—型芯铸造斜度为 3°

2—型芯铸造斜度为 2°

3—型芯铸造斜度为 1°

(2) 螺旋机构: 螺旋机构可以用作中小型金属型的开、合型和上部型芯的抽出。如图 18-22、图 18-23 所示。一般采用梯形或矩形螺纹, 而不采用普通螺纹, 以减少摩擦损失。有的端面还使用止推轴承。螺母的扣数不超过 10 扣, 扣数过多会由于螺距的积累误差使有效接触面积大为减少。

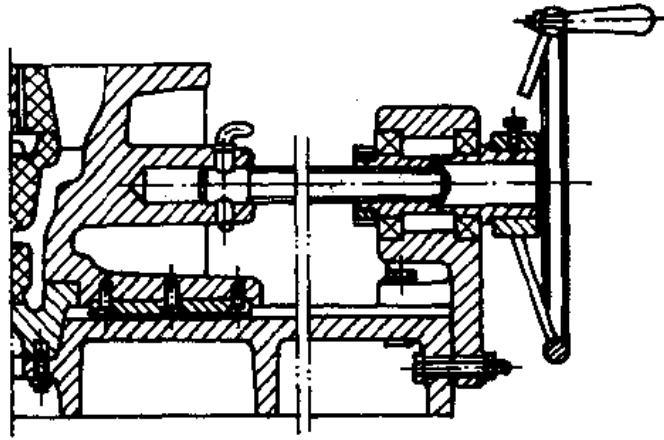


图 18-22 螺纹开合型机构

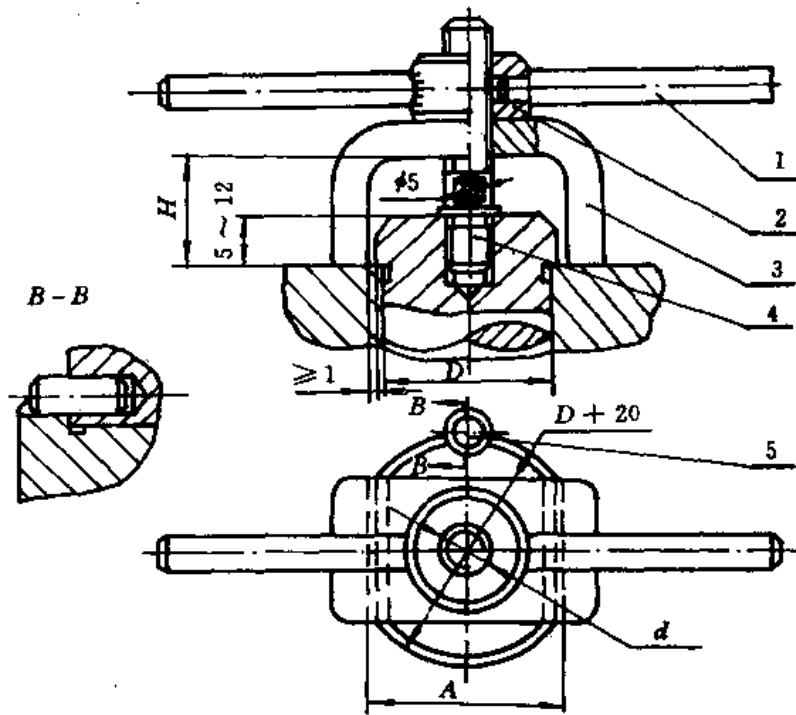


图 18-23 螺纹抽芯机构

1—手柄 2—螺母 3—支架 4—螺杆 5—定位销

(3) 偏心机构: 偏心机构多用于抽芯及顶出铸件。其动作原理如图 18-24 所示。最大行程等于二倍偏心距 e (e 一般选用 $5 \sim 10 \text{ mm}$) 减去锁紧值。 $e - e \sin \alpha$ 称为锁紧值, 它是考虑到有配合间隙的条件下仍能保证型芯顶到位, 其值在 $0.7 \sim 1.5 \text{ mm}$ 之间。型芯到位后不掉下来还要靠手柄重量的帮助。到位时 α 也只能用到 60° 左右, 余角 30° 左右称为锁紧角, 否则偏心轴及扁

孔略为磨损后即发生“曲轴现象”。锁紧值在设计中应保证 $B = A + e \sin 60^\circ$ 。

常用的偏心机构有偏心轴和偏心板两种结构。见图 18-25 所示。偏心轴机构的偏心轴支承在底板或型体内，偏心部分插入芯头内垂直于轴心的长孔内，扭转偏心轴即可使型芯沿轴心方向往复运动（见图 18-25(a)）。这种机构制造较复杂，有自锁作用，抽芯力大，但行程小，易磨损，由于有较大的摩擦分力，所以容易造成型芯的偏动。

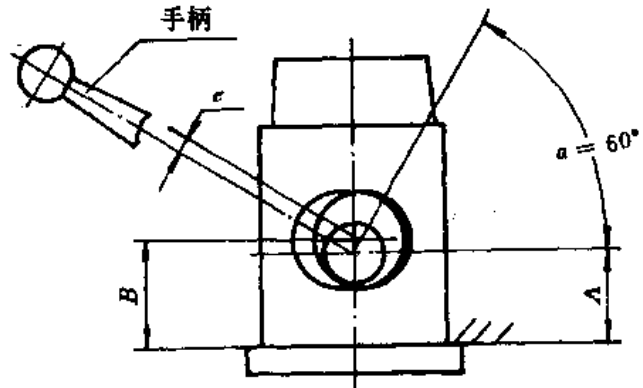


图 18-24 偏心机构动作原理图

偏心板机构，是在芯头凸肩两边铣出两个平面，带手柄的偏心板用与型芯轴线垂直的销轴和芯头连接，扳起手柄，由于偏心的作用，即可抽出型芯（见图 18-25(b)）。偏心板厚度为 8~20 mm，制造简单，能平稳地抽出型芯。多用于中小型的上部或侧部型芯。

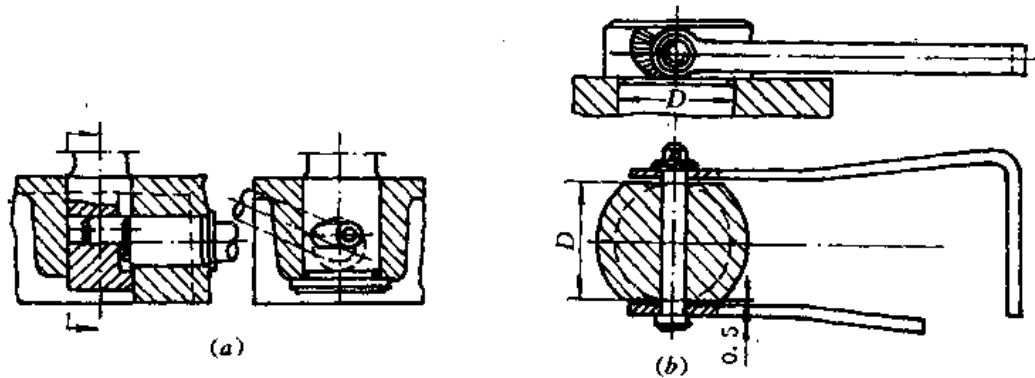


图 18-25 偏心抽芯机构
(a) 偏心轴机构 (b) 偏心板机构

(4) 气动、液压机构：气动由于它存在着一系列的缺点如：开型力受到一定的限制、气体可以压缩动作平稳性差、容易产生撞击、噪音大等。在金属型铸造中采用液压油缸开、合型、抽芯者日渐增多。因为，它运动平稳，在同样功率下，油缸较气缸体积小、重量轻、结构紧凑。

七、金属型锁紧装置的设计

金属型合型后必须将两半型夹紧，使分型面的间隙最小，更重要的是可防止金属型挠曲。除用有自锁作用的合型机构（如螺纹）外，皆需在金属型上安置有锁紧装置。常用的锁紧装置有以下几种：

(1) 偏心锁：可直接安装在金属型的端面上或端面的凸耳上（见图 18-26）。将锁扣搭钩在偏心轴上，转动偏心手柄，即可将两半型拉紧和闭锁牢固。偏心锁工作方便可靠，效率高。图 18-26(a) 多用于小型的转合式金属型。图 18-26(b) 多用于中型移动式金属型。

(2) 摩擦锁：安装在金属型端面的凸耳上（见图 18-27）。锁扣是一个带有手柄的卡子，套在另一半型凸耳的斜面上，即可锁紧。摩擦锁制造简单，操作方便，多用于小型金属型。

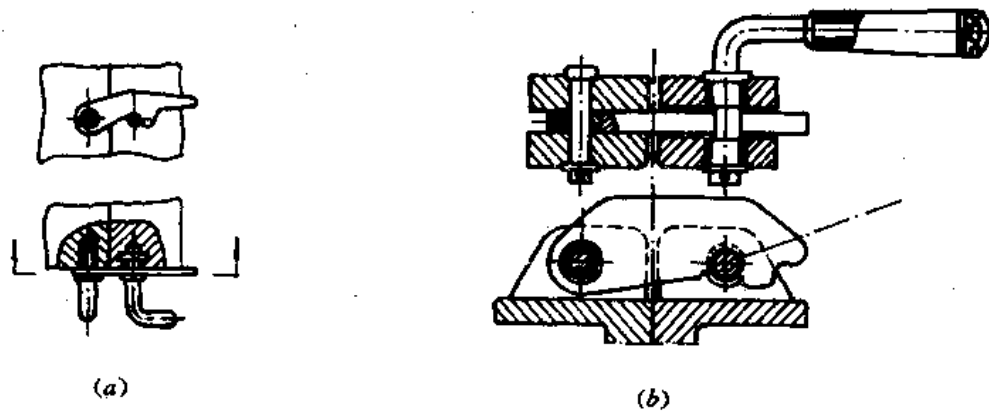


图 18-26 偏心锁
(a) 转合式金属型用偏心锁 (b) 移动式金属型用偏心锁

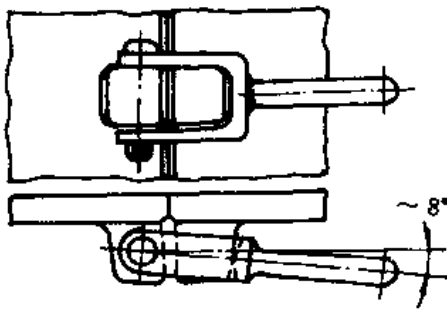


图 18-27 摩擦锁

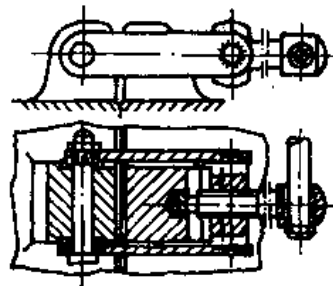


图 18-28 螺纹锁

(3) 螺纹锁: 安装在金属型端面的凸耳上(见图 18-28)。螺纹最好作成梯形, 并加大间隙以防受热时螺纹咬合。螺纹锁的作用力很大, 工作十分可靠, 但操作费时, 多用于大中型金属型。

对于金属型高度不大于 250 ~ 300 mm 时, 每边各装一个锁紧装置; 高度更大的金属型, 每边要装两个锁紧装置。

八、铸件顶出机构设计

铸件在金属型中冷却时, 会因收缩而包紧在金属型型腔的凸起部分上, 为了能完好迅速地取出铸件, 就要设置顶出机构。

(一) 铸件在开型后的位置

当考虑在金属型中设置顶杆时, 首先要决定在开型后铸件应该恒定地留在金属型的哪一部分。这要根据铸件的形状、铸件在金属型中的位置和分型面等情况来决定。

(1) 互相垂直分型面的金属型, 铸件部分的由底板形成, 或有下部型芯, 开型后铸件应停留在底板上。这种情况, 一般不需要顶出机构就能方便的把铸件取出。

(2) 垂直分型面的金属型, 一个半型是固定的, 另一个半型是移动的。当生产量小时, 可使铸件停留在固定半型中; 当生产量大时, 可停留在移动半型中。

(3) 水平分型面的金属型, 当有大的上部砂芯时, 则可留在上半型中, 吊起上半型的同时也就把铸件带出, 然后敲击浇冒口打下铸件。在其他情况下, 均应把铸件留在下半型中, 以便安

装顶杆。

为了保证铸件停留在恒定的位置,选择分型面时,应使铸件对金属型包紧力最大的部分位于设置顶杆的半型中;如果铸件对称于分型面,则可将一个半型的铸造斜度作小些,而另一半型的铸造斜度作大些,或者使浇冒口不对称地布置。当上述措施仍不能满足要求时,可在某一半型的铸件或浇冒口上,附加专用的工艺凸块使其包紧铸型,以后再切除掉。

(二) 顶杆结构

形状简单或铸造斜度大的铸件,对金属型的包紧力很小,可不设计顶杆,只需用榔头轻击浇冒口,再用铁钳取出铸件。需设计顶杆时,应和开型机构综合考虑。一般有两种情况:

(1) 垂直分型的金属型,当生产量小时,铸件停留在固定半型中,采用靠弹簧复位的顶杆,装在固定的半型上,便于用榔头敲击顶出铸件。当生产量大时,铸件停留在移动的半型中,其顶出机构与压铸型的顶出机构相似(见图 19-48)。

(2) 铸件预留在底板或下半型中,若不能用铁钳取出铸件,则应在底板或下半型中设置顶杆,这种顶杆多用机械或气动、液压装置操纵和保持一定位置,而不用复位杆。

(三) 顶杆位置的选择

在考虑顶杆的分布和位置选择时,要避免在顶出铸件时损伤铸件的可能性,这种铸件损伤多是由于在铸件成型时发生歪斜,或局部变形和压皱所致。因此,在设置顶杆时要注意以下几点:

- (1) 在包紧力最大的地方布置顶杆;
- (2) 应有足够数量的顶杆,而且应分布在铸件的各个地方,以免铸件成型时发生歪斜;
- (3) 顶杆最好布置在铸件的厚大部位;在铸件薄壁处布置顶杆时,可能发生局部变形,为避免铸件表面被压皱,顶杆与铸件接触的面积应足够大;
- (4) 顶杆应尽可能布置在浇冒口上;
- (5) 当铸件本身不便设置顶杆时,应设置专门的工艺凸块来承受顶杆。

为了不致在铸件上形成不应有的凹凸部分,必须保证顶杆端面和型腔壁齐平。顶杆一般都作成圆形截面,这样加工和使用维修都方便。

§ 18-3 金属型的尺寸

一、金属型型腔尺寸计算

计算金属型的型腔和型芯尺寸时,除计入铸件的基本尺寸及公差外,还应考虑到合金从固相线温度冷却到室温的线收缩值、涂料厚度和金属型材料从室温升至工作温度的线膨胀值。有时还要计入保证裕量。其计算公式如下:

$$A_x = [A_p(1 + K_1 - \Delta T\alpha) \pm b]^{\pm\delta} \quad (18-7)$$

$$A_x = [A_p(1 + K) \pm b]^{\pm\delta} \quad (18-8)$$

式中: A_x ——型腔或型芯的尺寸(mm);

A_p ——铸件的平均尺寸(mm);

K_1 ——合金(即铸件)的线收缩率(%) (见表 18-4);

ΔT ——金属型工作温度与室温之差(°C);

α ——金属型工作温度的线膨胀系数(1/°C)(见表 18-5);

K ——综合线收缩率(%)(见表 18-6);

b ——涂料厚度,一般为 0.1~0.3 mm。铸型凹处取正值,凸处取负值,中心距尺寸 $b = 0$;

δ ——型腔或型芯尺寸制造公差(mm)(见表 18-7、表 18-8、表 18-9)。

表 18-4 金属型铸造时各种合金的线收缩率 (K_1)

合金牌号	收缩率(%)	合金牌号	收缩率(%)
ZL-102,ZL-101	1.0	铝青铜	1.8~2.4
ZL-104	0.8~1.1	锡铅青铜	1.3~1.5
ZL-105	0.9~1.1	灰口铸铁	1.0
ZM-5	1.1~1.2	铸 钢	1.5~2.0

表 18-5 金属型材料线膨胀系数 (α)

金属型材料	20~400°C线膨胀系数 (1/°C)
中碳钢 (C=0.3%)	15.6×10^{-6}
灰铸铁 (C≈3%)	11.3×10^{-6}

表 18-6 不同受阻情况下铸造铝、镁合金的综合收缩率^①(K)

受阻情况	综合线收缩率 K (%)	
	铝合金	镁合金
自由收缩(无型芯、无阻碍)	0.9~1.1	1.0~1.2
受阻收缩(有型芯、有阻碍)	0.7~0.9	0.8~1.2
困难受阻(邻近二台中心距)	0.5~0.7	—

注: ① 小型铸件金属型设计时,为了计算方便常取 $K=1\%$ 。

表 18-7 长度及中心距尺寸偏差值 (mm)

基本尺寸	~50	>50~260	>260~630	>630
长度偏差(±)	0.10	0.15	0.25	0.4
中心距偏差(±)	0.05	0.10	0.15	0.25

表 18-8 角度偏差值(')

短邻边长度 mm	~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~260	>260 ~360	>360
角度偏差 (± $\Delta\alpha$)	45	30	25	20	10	6	5	4	3

表 18-9 转接圆弧尺寸偏差值 (mm)

基本尺寸	~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50
偏差(±)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8

二、金属型各配合部分零件的尺寸公差

确定金属型零件的尺寸公差时,必须根据铸件的公差和各零件的功用。从零件用途和尺寸情况来看,金属型零件的加工表面可分为三类:

第一类:直接形成铸件的型腔表面和型芯工作面;

第二类:在使用时对第一类表面的空间位置发生影响的一些金属型零件表面,如分型面、定位面、型芯和活块的导向面、定位面等;

第三类:对铸件尺寸精度不发生影响的表面,如型体的外表面、浇冒口的表面等。

(一) 金属型零件尺寸公差的选择

(1) 第一类加工表面的公差,当铸件一般尺寸公差按 HB6103—86 之 CT6~8 确定时,型腔及型芯工作面尺寸制造公差可按表 18-7、表 18-8、表 18-9 选用,也可直接取铸件公差值的 1/4~1/6;

(2) 第二类加工表面的公差按 GB1800—79 之 IT8~IT10 选用;

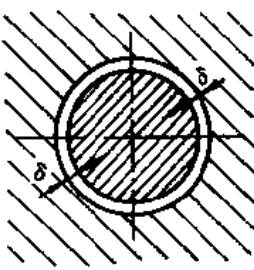
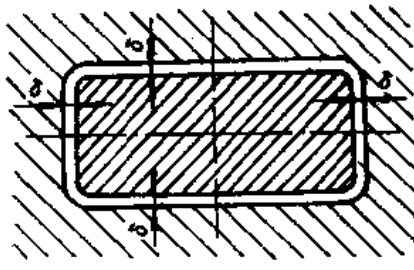
(3) 第三类加工表面(即未注公差尺寸的表面),其公差等级按 GB1800—79 之 IT12~IT14 选用。

(二) 配合表面的配合类别

(1) 导柱、定位销的孔和轴的配合,紧固部分按 GB1800—79~1801—79 之 H9/u8;活动部分按 GB1800—79~1801—79 之 H9/f9。

(2) 金属型芯、顶杆、活块等活动部件与型体之间的配合,孔按 H9 制造,轴按表 18-10 保持间隙。

表 18-10 活动部件与铸型之间的间隙

基本尺寸 (mm)	配合间隙 (δ)		
~50	0.2~0.3		
>50~100	0.3~0.4		
>100~250	0.4~0.5		
>250	0.5~0.8		

三、金属型各部分表面粗糙度

金属型各部分表面粗糙度见表 18-11。

表 18-11 金属型各部分表面粗糙度 (μm)

表面性质	粗糙度	表面性质	粗糙度
分型面	$\sqrt{1.6} \sim \sqrt{0.8}$	形成铸件加工面的型腔表面	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$
型腔及型芯工作面	$\sqrt{1.6}$	锁扣及偏心轴的摩擦面	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$
金属型及金属型芯的定位面, 定位销孔, 通气塞、顶杆、金属型砂芯或壳芯安装面	$\sqrt{1.6}$	浇冒口型腔表面	$\sqrt{6.3} \sim \sqrt{3.2}$
		金属型与浇注机的安装面	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$
		外表非结合面	$\sqrt{6.3}$
机械加工形成的非工作面	$\sqrt{12.5}$	铸出的非工作面	$\sqrt{1.6}$

复习思考题

1. 金属型在什么情况下采用组合结构的型体? 采用组合型体有什么好处?
2. 金属型铸造中最常采用的型芯有几种? 各适用于什么场合?
3. 金属型铸造中排除型腔气体的途径有哪些?
4. 金属型的冷却有哪些方法? 各适用什么场合?
5. 金属型零件的加工表面共分为几类? 它们的尺寸公差应如何确定?

第十九章 压铸型设计

§ 19-1 压铸机选用

设计压铸型时,首先应选择合适的压铸机。为了保证压铸生产的正常进行和获得优质铸件,必须使所选择的压铸机的技术规格及其性能,符合铸件生产的客观要求。因此,在设计压铸型时,必须考虑的几个与选用压铸机有关的问题是:

一、铸件垂直于分型面上的投影面积

铸件垂直于分型面上的投影面积与压铸机的比压及合型力的关系应符合式(19-1)。

$$0.85Q \geq Fp \quad (19-1)$$

式中: Q —— 压铸机的最大合型力(kN);

F —— 铸件(包括浇注系统及溢流槽)垂直于分型面上的投影面积(m^2);

p —— 比压(kPa);

0.85 —— 安全系数。

二、铸件重量

铸件重量(包括浇注系统、溢流槽),不得超过压铸机所能压铸的额定重量,也不应过分低于压铸机压室的额定重量。一般压铸机能压铸的铸件额定重量,在压铸机的技术规格中均有规定。当需要自行设计压室时,以卧式冷压室压铸机为例,可按式(19-2)计算(见图 19-1)。

$$W = \frac{2}{3} \times \frac{\pi}{4} d^2 L \rho \quad (19-2)$$

$$d = \sqrt{\frac{12W}{2\pi L \rho}} = \sqrt{\frac{6W}{\pi L \rho}} \quad (19-3)$$

式中: W —— 铸件重量(kg);

d —— 压室直径(m);

L —— 压室有效长度(m);

ρ —— 合金的密度(kg/m^3);

$\frac{2}{3}$ —— 充满系数。

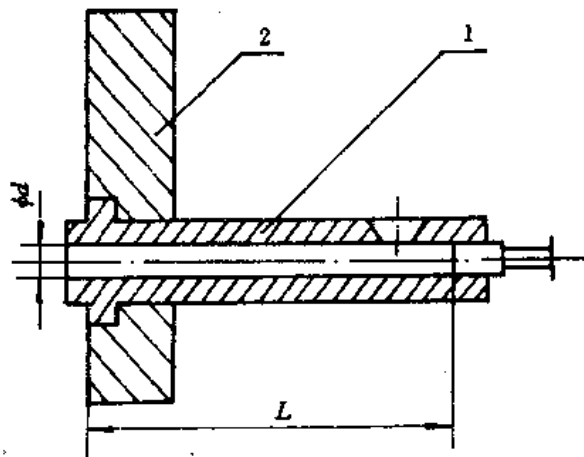


图 19-1 卧式冷压室压铸机压室简图

1—压室 2—静型安装板

三、压铸机的开型距离与铸型厚度的关系

铸件高度、铸型厚度和压铸机开型距离的关系(见图 19-2),应符合式(19-4)~式

(19-7)

$$L \geq L_1 + L_2 + 10 \quad (19-4)$$

$$H_{\min} \leq h_1 + h_2 + h_3 \quad (19-5)$$

$$H_{\max} \geq L + h_1 + h_2 + h_3 \quad (19-6)$$

$$L = H_{\max} - (h_1 + h_2 + h_3) \quad (19-7)$$

- 式中： L ——压铸机的开型距离(mm)；
 L_1 ——带浇注系统的铸件高度(mm)；
 L_2 ——铸件顶出距离(mm)；
10——考虑取出铸件方便的附加值(mm)；
 H_{\min} ——压铸机的最小开档(mm)；
 H_{\max} ——压铸机的最大开档(mm)；
 h_1 ——静半型的厚度(mm)；
 h_2 ——动半型的厚度(mm)；
 h_3 ——动型型架、垫板的总厚度(mm)。

根据计算结果，决定 h_3 部分的取舍或调换。

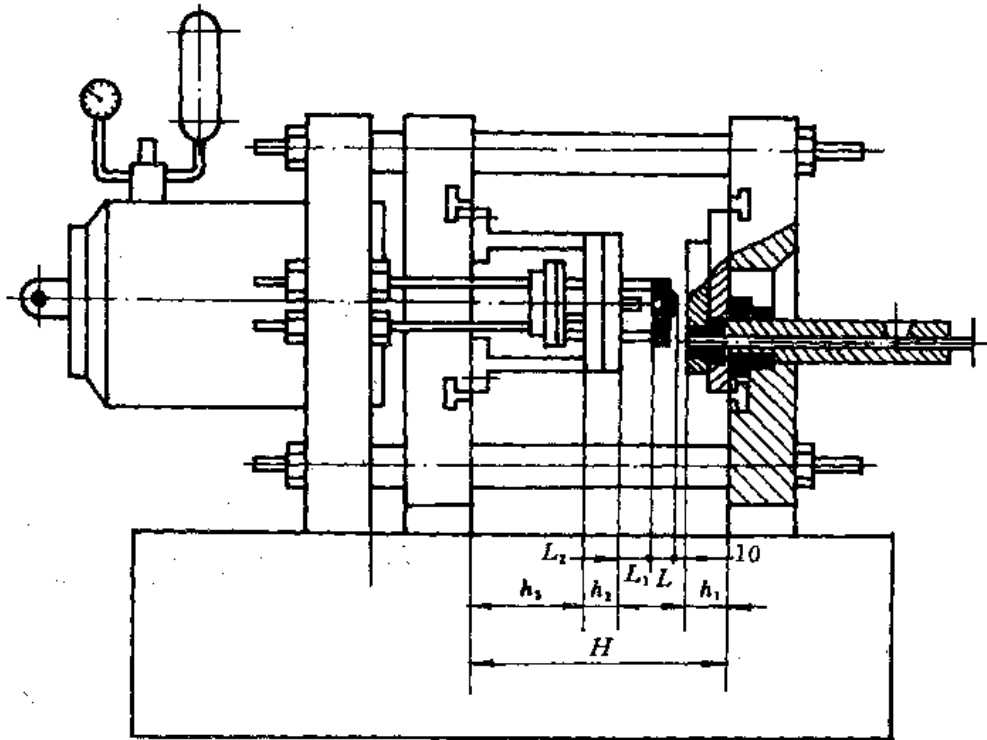


图 19-2 铸件高度、铸型厚度和压铸机开型距离的关系

四、其它

除了上述应该考虑的问题以外，尚需考虑顶出铸件所需的力，是否超过压铸机的顶出力或开型力；核算一下压铸型的外廓尺寸是否超过压铸机拉杠的内间距；核查一下所设计的压铸型是否符合选定的压铸机动、静型安装板要求。

§ 19-2 压铸型结构

一副完整的压铸型,可能由下列几部分组成(见表 19-1)。

表 19-1 压铸型的组成

序号	组成部分	说 明
1	静型部分	固定于压铸机压室一方的静型安装板上,是金属液开始进入铸型的部分,也是压铸型型腔的所在部分之一。其上有直浇道直接与压铸机的喷嘴或压室联接
2	动型部分	固定于压铸机的动型安装板上,随动型安装板向左、向右移动与静型部分分开和合拢,一般抽芯机构和铸件顶出机构设置在这部分内,是压铸型型腔的主要所在部分
3	成型部分	是构成铸件几何形状的部分。构成铸件外形的部分称为型腔,构成铸件内部形状(如孔、槽等)的部分称为型芯
4	浇注系统	连接成型部分与压室,引导金属液按一定方向进入铸型的成型部分,它直接影响金属液进入成型部分的速度和压力,包括直浇道、横浇道和内浇口
5	抽芯机构	构成复杂铸件的侧凹和孔,由于影响铸件成型,采用活动型芯,依靠抽芯机构在顶出铸件之前完成抽芯动作
6	顶出机构	当铸件成型后,待动、静型分开,把铸件从铸型中顶出的机构。一般是在随铸型开启的过程中顶出铸件,亦可在开型后,由压铸机上专设的液压顶出器顶出铸件,这套机构一般均设在动型部分上
7	排气部分	排气系统也是压铸型中重要的组成部分之一,由于压室、浇道以及成型部分中有大量的空气,以及金属液与型壁上的涂料起化学作用产生的气体,都必须通过排气部分排出,因此,必须有良好的排气系统,这对铸件的质量有着极其重要的作用
8	加热、冷却部分	为了平衡铸型温度,不致使铸型温度有急剧的变化,从而影响铸件质量,在很多场合下,压铸型有必要安装加热或冷却装置
9	其它	压铸型内也必须设有定位、导向、紧固元件等

压铸型结构实例,见图 19-3。

由图 19-3 可知,它是由以下几个部分组成:

- (1) 动、静型部分:装有导向、定位、紧固零件,用来支承抽芯机构、顶出机构和成型零件,见图中件号 1~9;
- (2) 浇注系统:是将压室内的金属液导入型腔的通道,见图中件号 10~12;
- (3) 成型部分:构成铸件几何形状、尺寸精度的部位,见图中件号 13~16 和 21;

(4) 抽芯机构:用活动型芯来形成阻碍铸件出型的凹凸部位,在铸件被顶出铸型前完成抽芯动作,见图中件号 17 ~ 20;

(5) 顶出机构:用来把铸件从铸型中顶出,设在动型上,在开型过程中,顶出机构阻止铸件随动型移动而将铸件从动型中顶出,见图中件号 22 ~ 26。

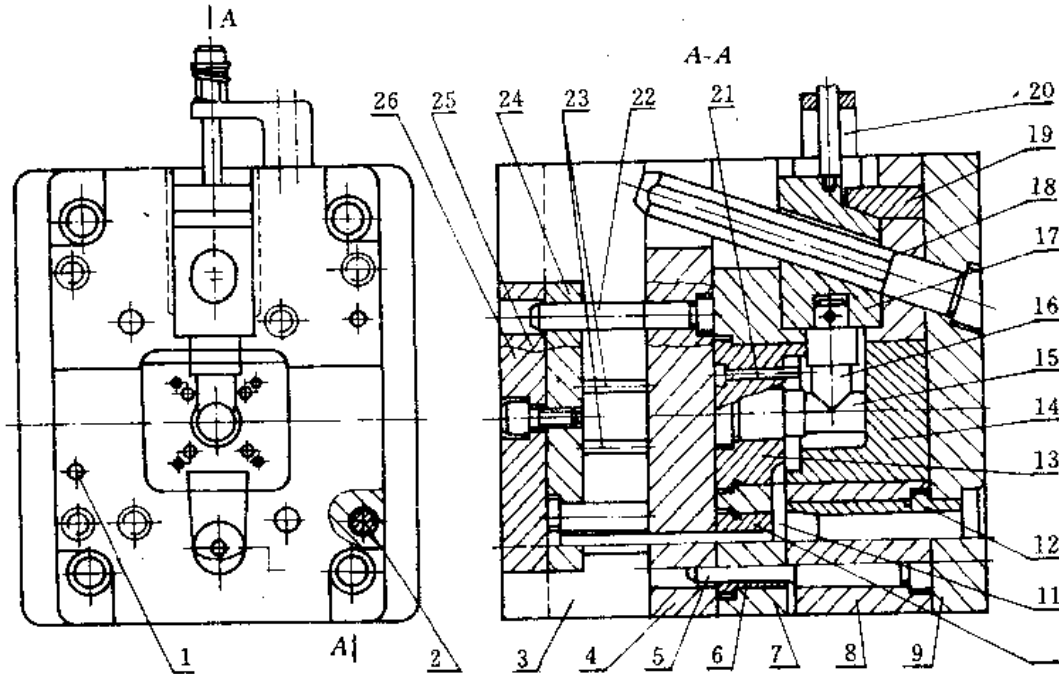


图 19-3 压铸型结构实例

- 1—圆柱销 2—螺钉 3—垫块 4—动型压板 5—导柱 6—导套 7—动型套板 8—静型套板
 9—静型压板 10—分流锥 11—横浇道 12—浇口套 13—动型镶块 14—静型镶块
 15—固定型芯 16—活动型芯 17—滑块 18—斜销 19—压紧块 20—挡块 21—固定型芯
 22—导柱 23—推杆 24—推杆固定板 25—复位杆 26—推杆压板

§ 19-3 分型面的选择

分型面是指构成压铸件的成型部分,分别布置在静型部分和动型部分的分界面。

同一压铸件,因为分型面位置选择的不同,就可能设计出结构完全不同的压铸型。只有结构比较简单,又能生产出合格铸件的压铸型,才是经济合理的,分型面位置的选择,也直接影响着金属液的流动方向和充填条件。因此,分型面的选择是压铸型设计优劣的第一个关键。

通常,主要根据浇注系统的合理安排来选择分型面的位置。一般来说分型面的选择应遵循下列原则:

(1) 分型面应通过铸件的最大截面;

(2) 开型后铸件应保证留在动型内,以便顶出。故铸件包紧力较大的部分应放在动半型;

图 19-4 所示,图(b)利用铸件收缩后对型芯的包紧力,可以保证开型后铸件留在动型内;而图(a)铸件必定留在静型内。

(3) 不要影响铸件的尺寸精度;

a. 铸件尺寸精度要求高的部位应设置在同一半型内(见图 19-5)。

图 19-5(a) 中所示 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 三个尺寸都能保证同轴度要求; h 和 H 采用同一个基准面(分型面), 容易控制铸件尺寸精度。图 19-5(b) 中, ϕ_1 、 ϕ_3 在同一半型上作出, ϕ_2 在另一半型上作出, 就很难保证 ϕ_2 与 ϕ_1 、 ϕ_3 的同轴度; H 是由两个半型形成的, 其尺寸精度要求高时, 压铸就无法达到, 需放加工余量由机械加工保证。

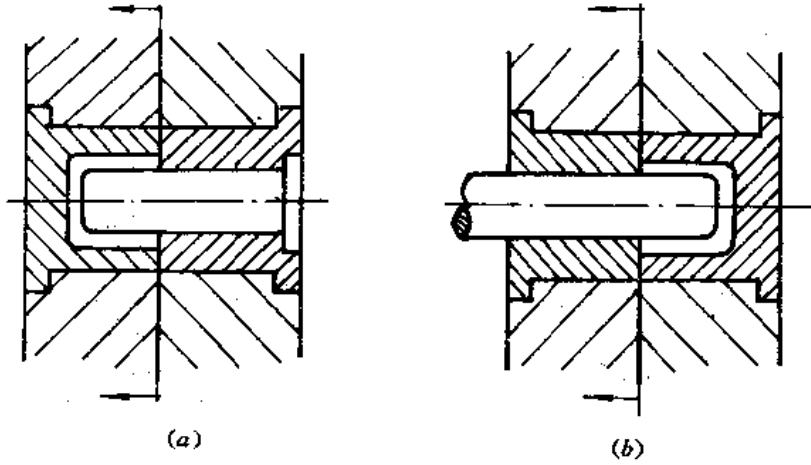


图 19-4 分型面选择实例
(a) 不合理 (b) 合理

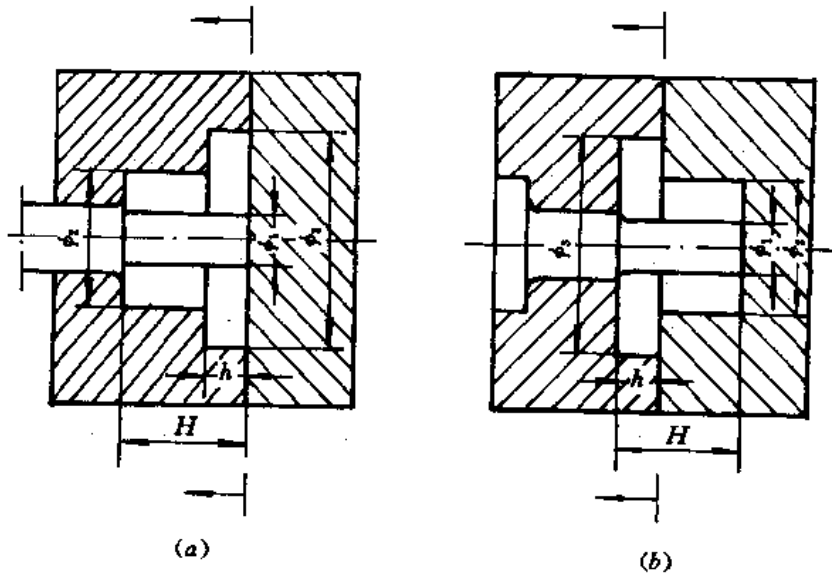


图 19-5 分型面位置不同
(a) 合理 (b) 不合理

b. 应考虑铸件的外观要求。如图 19-6 所示零件, 表面不允许留有铸造斜度, 为了减少铸件机械加工量时, 选取 I-I 分型面; 铸件外圆不允许有分型痕迹时, 则应选取 II-II 作为分型面。

c. 尽量选用铸件的机械加工面作为分型面。图 19-7 所示零件, 选择铸件机械加工面作为分型面, 容易控制铸件尺寸精度和去除飞边。

(4) 有利于浇注系统和排气系统的布置(见图 19-8);

(5) 尽量减少金属液对侧芯滑块的压力;

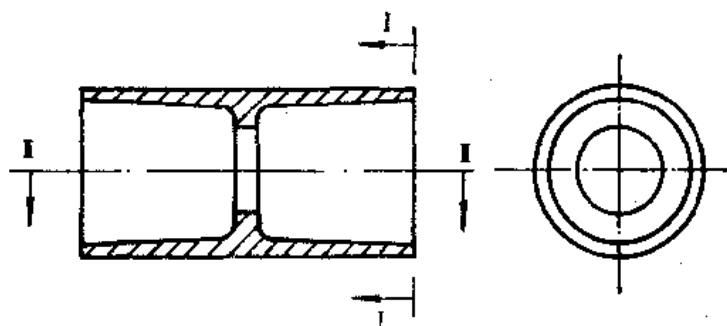


图 19-6 分型面选择实例

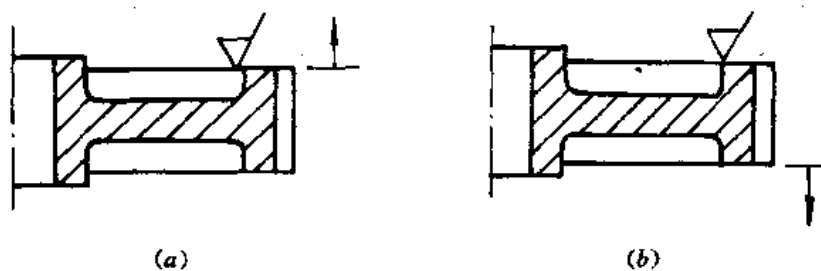


图 19-7 分型面选择实例

(a) 合理 (b) 不合理

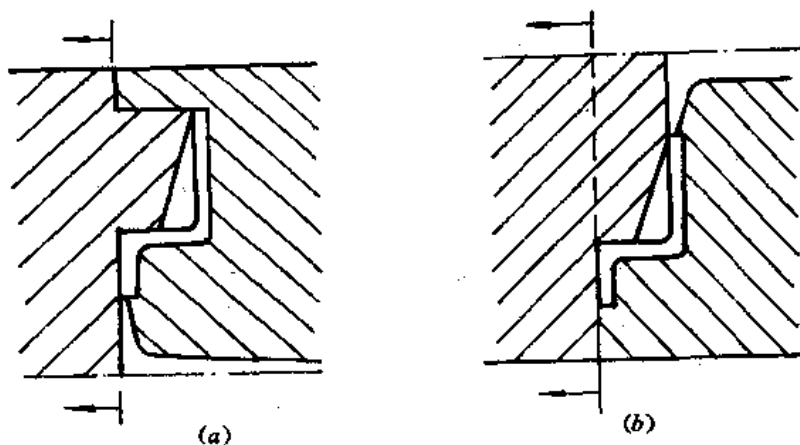


图 19-8 分型面选择实例

(a) 不合理 (b) 合理

图 19-9(a)、(b) 所示两种分型方案, 虽然都需要两个活动型芯, 但图(a) 所示滑块铸件在垂直于抽芯方向的投影面积大, 所以滑块受力也大, 容易影响铸件的尺寸精度和造成意外事故; 而图(b) 所示滑块铸件在垂直于抽芯方向的投影面积小, 所以滑块受力也小, 容易保证铸件的尺寸精度。

(6) 尽量避免过深的型腔。选择分型面时应考虑到开型后铸件的出型距离, 在动、静型内都应尽量避免有过深的型腔, 以利于金属液充填、排气及清理型腔、喷涂料, 同时, 也可避免铸型过厚过重。见图 19-10。

上述这些原则对分型面选择无疑都是正确的, 但是在实际工作中, 要想全面满足上述原则

是不可能的,顾此失彼是常见的现象,此时,就应在保证满足最重要的原则的前提下,尽量照顾到其他原则。

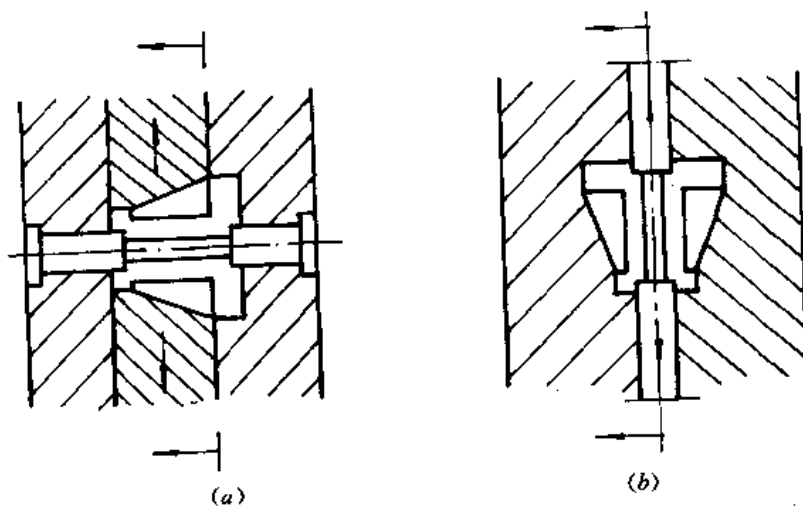


图 19-9 分型面选择实例

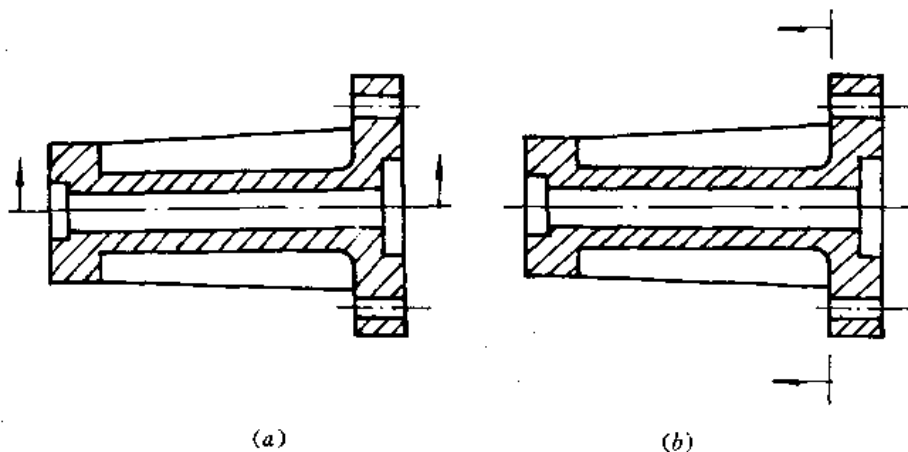


图 19-10
(a) 合理 (b) 不合理

§ 19-4 浇注系统的设计

一、浇注系统的组成

金属液注入型腔时的通道称为浇注系统。它是由直浇道、横浇道和内浇口组成。见图 19-11。

(一) 直浇道

在立式冷压室及热压室压铸机上,直浇道系指自压铸机上的喷嘴导入口起到横浇道为止的这一部分。

由于金属液流入型腔时首先经过直浇道,因此,它的尺寸大小会影响金属液的流动速度和

充填时间。直浇道尺寸应以不阻碍金属流动为原则。直径愈大,金属液愈不易冷却,流动性愈好,并且金属流动速度愈小,产生缺陷的可能性就愈小。但是尺寸过大,既增加金属消耗,又增大空气储存容积,对排气不利。直径太小,则金属液流速很大,会产生喷射现象,导致涡流、包气,最终在铸件形成冷隔和氧化夹杂。故必须选择合适的直浇道尺寸。在大多数情况下,同一压铸机上的喷嘴直径是固定的,一般取压室直径的 $1/8$ 。压铸机上配有几种尺寸规格的压室以满足生产需要,其喷嘴直径多为 $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 、 $\phi 14$ 、 $\phi 18$ 等。很明显喷嘴直径就是直浇道的小端直径。

直浇道必须作成锥体形状,锥度向金属液流动方向扩大,一般锥度为 6° (即每边斜度为 3°),以便开型时直浇道随铸件一起脱离静型。

在结构上,为了避免由于铸型加工及安装时的误差而造成直浇道咬死的弊病,与浇口套接合处的直径应比浇口套孔径大 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ (见图 19-11(a))。但这两个直径相差也不宜过大,否则会使金属液由于通道截面的突然扩张而引起局部的压力损失及产生涡流、包气现象。为了使金属液流畅通,减少动能损失,在直浇道与横浇道连接处做成 $R = 6 \sim 20 \text{ mm}$ 的圆角。

在卧式冷压室压铸机中,直浇道直径等于压室直径,因而直径甚大。众所周知,浇道直径减小,既可节省金属消耗,又可增大比压,有利于提高铸件质量。所以应当选择满足工艺要求的最小直径和压室直径。

由图 19-11(b) 可见,卧式冷压室压铸机的直浇道的结构要比立式冷压室压铸机的直浇道简单,也不会造成在立式压铸机上因直浇道咬住在浇口套内,导致较难取出的麻烦。但是,在卧式冷压室压铸机中,润滑及清洁等条件均较差,很容易产生冲头咬伤压室现象,从而降低机器原有的压力及压射速度,影响金属液的比压及流态。虽然这种现象在生产中常见,但尚未引起人们足够的重视,而将其影响所形成的缺陷归罪于浇注系统的设计不当,这种看法是不全面的。

(二) 横浇道

由直浇道底部过渡到内浇口的这一段称为横浇道。横浇道的作用是把金属液由直浇道引入内浇口;借助于横浇道中的金属液来预热铸型;当铸件冷凝收缩时用来补缩铸件和传递静压力。因此,横浇道要有适当的厚度,为防止内浇口处金属液过早凝固,横浇道的截面积应较内浇口截面积大三倍以上。

1. 设计要点(见图 19-12)

(1) 为了减少金属液由直浇道注入内浇口时的阻力,直浇道与横浇道的接合处要有足够大的圆角(见图 19-12),以保证金属液流动畅通。

(2) 横浇道长度(L),过大消耗压力,降低金属液温度,影响铸件成型并容易产生缩松,同时铸型体积增大;过小则金属液流动不畅,在转折处容易产生飞溅,导致在铸件内部产生硬质点。所以,中小件通常采用 $L = 30 \sim 40 \text{ mm}$ 左右。

(3) 横浇道厚度(h)过薄,金属液冷却太快,不利于铸件成型;过厚,增加铸型的热载荷,金属液冷凝缓慢,影响生产率。一般情况下,小件取 $h = 4 \sim 6 \text{ mm}$;中件取 $h = 8 \sim 10 \text{ mm}$ 。

2. 横浇道的截面形状和尺寸

横浇道截面一般为梯形,也可用圆弧形等其他形式,如图 19-13 所示。梯形的两边应倾斜 15° ,以便于取出横浇道;底部 $r = h/2$,使金属液流动通畅,同时可防止铸型在尖角处产生裂纹。

横浇道截面尺寸:宽度 $b > 10 \text{ mm}$, 对低熔点合金 $h : b \geq 1 : 4$; 对铝合金 $h : b \geq 1 : 3$; 对铜合金 $h : b \geq 1 : 5$; 对镁合金 $h : b \geq 1 : 2$ 。

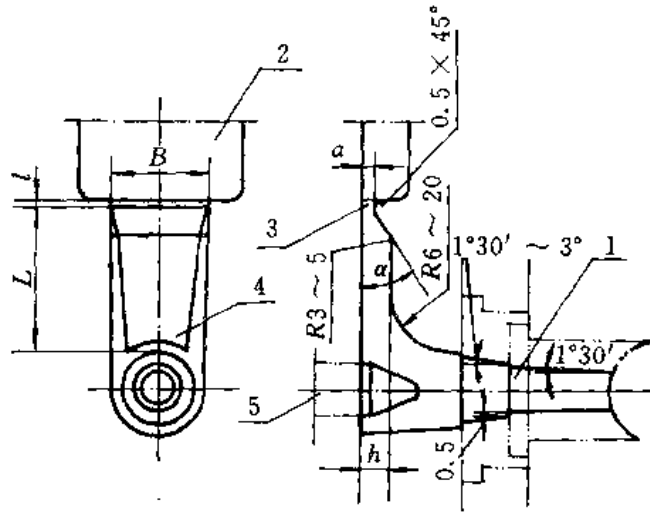


图 19-12 立式压铸机浇注系统简图

1—直浇道 2—铸件 3—内浇口 4—横浇道 5—分流锥

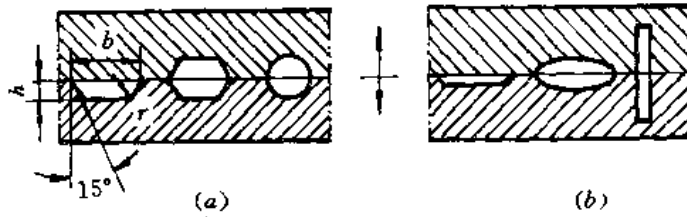


图 19-13 横浇道截面形状

(a) 正确 (b) 不正确

(三) 内浇口

由横浇道到铸件的一段浇道称为内浇口。它的作用是使由横浇道输送来的低速金属液转变为高速的金属液输入型腔中去，并使之形成理想的流态而顺序地充填型腔。

内浇口的位置、形状和尺寸大小对金属液的充填速度、充填形态及流向有着直接的关系，因此，对铸件质量影响较大。

(1) 内浇口厚度(a) 当内浇口较薄时，充填速度提高，对充填薄壁铸件有利，能获得外形清晰的铸件；但内浇口过薄时，金属流分散成雾状高速喷入型腔，并与空气混合，这种金属液滴与型壁接触后很快凝固，堵塞排气通道，阻碍气体顺利排出，在铸件内部形成气泡；同时，在铸件表面形成气孔或麻点。再则，当金属高速流经内浇口时，由于强烈冲击型壁而产生高热，致使内浇口以及被冲击型壁处产生合金粘附现象（特别是压铸铝或铜合金的情况），破坏铸件的局部表面，并且逐步缩小内浇口有效通道截面积，影响铸件成型。

当内浇口较厚时，金属充填速度相对降低，有利于排气而减少气孔；在内浇口较厚的情况下，金属在充填过程中流动压力不致过早地转变为流体动压力，有利于铸件成型；较厚的内浇

口静压力的传递成为可能,有利于铸件结晶致密,厚的内浇口使金属呈股状充填型腔,有利于保持液温,因此,多股金属液流能更好地熔合,从而提高铸件的表面光洁度。但若内浇口过厚,则金属充填速度过低,金属液温度下降过多,与型壁接触的表面层形成半凝固的硬皮,导致铸件轮廓不清,成型不良,在切除浇口时也较麻烦。

实际生产中,内浇口的厚度是根据具体铸件的结构形状及壁厚来决定的,铸件愈简单、壁愈厚、流程愈短,则其内浇口厚度应愈大,反之则应愈小。具体尺寸可参见表 19-2。

表 19-2 内浇口厚度的经验数据 (mm)

合金种类	铸件壁厚及复杂程度					
	> 0.6 ~ 1.5		> 1.5 ~ 3		> 3 ~ 6	
	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单
	内 浇 口 厚 度					
铅锡合金 锌合金	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 1.0	0.6 ~ 1.2	0.8 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 2.0
铝合金 镁合金	0.6 ~ 1.0	0.6 ~ 1.2	0.8 ~ 1.5	1.0 ~ 1.8	1.5 ~ 2.5	1.8 ~ 3.0
铜合金		0.8 ~ 1.2	1.0 ~ 1.8	1.8 ~ 2.0	1.8 ~ 3.0	2.0 ~ 4.0

内浇口与横浇道的交界处用斜面连接,倾斜角 α 一般采用 $30^\circ \sim 45^\circ$,并以 $R3 \sim 5 \text{ mm}$ 与横浇道连接(见图 19-12)。如果倾斜角过小,将导致金属液过早凝固,并使铸件表面不光洁或产生缺陷;倾斜角过大,会产生反压力而消耗动能。为防止在折断浇口时损伤铸件,内浇口与型腔相连接处,应作成 $R0.5$ 的圆角或 $0.5 \times 45^\circ$ 的倒角(见图 19-12)。

(2) 内浇口宽度(B)(见图 19-12) 内浇口宽度 B 选择得适当时,金属流呈片状流入型腔,有利于排除空气。宽度太大或太小时,金属流会直冲浇口对面型壁,然后反向充填型腔,产生旋涡,将空气和夹杂包住,产生废品(见图 19-14)。

对于形状简单的铸件,内浇口宽度的尺寸:

长方形铸件 $B \approx (0.6 \sim 0.8) \times$
铸件边长

圆形平板铸件 $B \approx (0.4 \sim 0.6) \times$
铸件外径

圆环形铸件 $B \approx (0.25 \sim 0.33)$
 \times 铸件外径

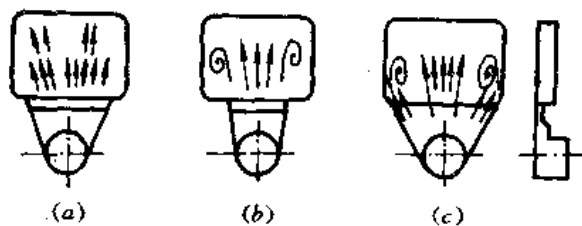


图 19-14 内浇口宽度选择
(a) 合理 (b) 不合理 (c) 不合理

(3) 内浇口长度(l)(见图 19-12) 内浇口的长短直接影响铸件质量,内浇口长度太长,其中的金属液过早冷凝,影响压力传递,使铸件表面形成冷隔、花纹等。内浇口长度太短,进口处温度容易升高,加快内浇口磨损。此外,进入型腔的金属液易产生喷溅现象。

(4) 内浇口的形式(见图 19-15) 图 19-15 中(a)型设计不合理,去除浇口时容易损伤铸件。(b)、(c)型适用于平板铸件,(d)型适用于厚壁铸件,(b)、(c)、(d)型在去除浇口时都不

会损伤铸件。(e)、(f)、(g)、(h)型适用于深腔铸件(其中(f)型制造较困难),因为它们具有合理的金属液引入方向,有利于型腔排气及避免金属液进入型腔时冲击型芯。

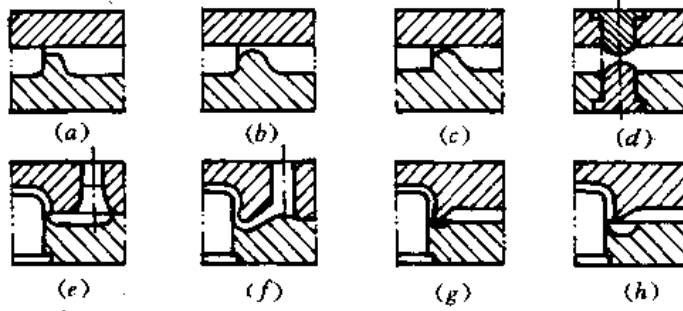


图 19-15 内浇口的形式

(四) 分流锥

1. 分流锥的作用

- (1) 防止金属液从直浇道进入型腔时直冲动型壁,以及直浇道底部金属集聚过多;
- (2) 使金属液从直浇道平稳地过渡到横浇道和内浇口,引导金属液流在 90°角转向时平稳通畅地流动;
- (3) 借助分流锥形状和尺寸的变化调整浇注系统的截面积;
- (4) 金属液凝固时包紧在分流锥上,有助于开型时拉出直浇道。

2. 分流锥的主要尺寸(见图 19-16)

一般 $\alpha \approx 30^\circ \sim 60^\circ$;

$R \approx 3 \sim 6 \text{ mm}$;

$l \approx 1 \sim 6 \text{ mm}$ (要保证在开型时将直浇道从浇口套中拉出来)。

分流锥直径 d_p 应根据喷嘴进口和直浇道的截面积确定。其计算方法如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{4} (D^2 - d_p^2) < \frac{\pi}{4} d^2 \\ \frac{D - d_p}{2} > 3 \end{array} \right. \quad (19-8)$$

$$\frac{D - d_p}{2} > 3 \quad (19-9)$$

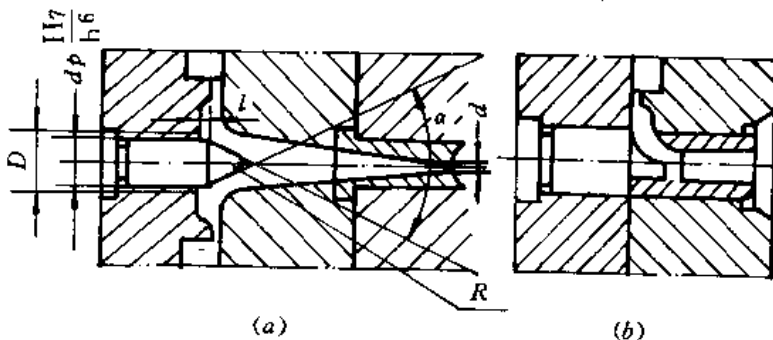


图 19-16 分流锥主要尺寸

(a) 用于立式压铸机 (b) 用于卧式压铸机

3. 分流锥的形式(见图 19-17)

图 19-17 中:

(a) 型:适用于单腔(分流锥设在铸件内孔里或多腔压铸型,此型在立式压铸上的压铸型中应用最多。

(b) 型:适用于金属液流向需转变 90° 角度的单腔压铸型。

(c) 型:头部开有圆环槽,对带出直浇道有良好的效果。但这种形式对金属流态不利,一般应用较少。

(d) 型:分流锥的中心可安装推杆,故直浇道包住分流锥时,仍能取出。立式、卧式压铸上的压铸型中均有应用。

(e) 型:在型体较厚时,若采用上述几种形式,则分流锥会变得很长,这样,一方面浪费材料,另一方面加工固定分流锥的孔也不方便,而且损坏后更换也较麻烦。采用这种形式可以弥补上述缺点。

(f) 型:适用于卧式压铸机上,并采用单腔的压铸型。

(g) 型:在此型分流锥中装有冷却装置。应用于生产批量较大的压铸型上。

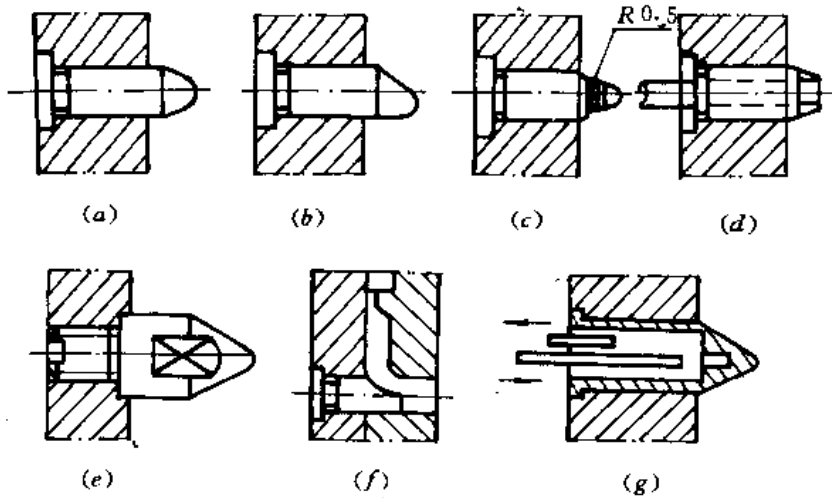


图 19-17 分流锥的形式

二、浇注系统的种类及特点

浇注系统根据其在铸件上开设的位置及形状一般可分为六大类,即中心浇口、侧浇口、环形浇口、缝隙浇口、顶浇口、点浇口等。

(一) 中心浇口(图 19-18)

当铸件为深腔壳体、箱形而在其底部有足够大的通孔时,则可用该孔设置浇口于铸件的顶部,这种浇口称为中心浇口。中心浇口仅在单腔铸型中使用。内浇口的数目根据铸件的特点而定,可以开几个分支内浇口。中心浇口一般仅在立式冷压室或热压室压铸机上应用;也可在卧式冷压室压铸机上应用。

中心浇口的特点是:

(1) 金属液进入型腔后,从深腔处推向分型面,这样有利于消除深腔处气体不易排出的缺点;

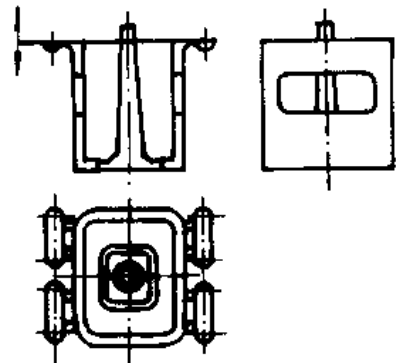


图 19-18 中心浇口

(2) 金属液自铸件的中心注入, 充填到型腔各处的流程基本接近, 有利于平衡铸型的热量;

(3) 浇注系统的流程短, 转折少, 在充填过程中动能损失少, 在凝固时静压力传递好, 因此, 有利于铸件成型及结晶致密度的提高;

(4) 浇注系统的金属损耗量少; 铸型外廓尺寸小;

(5) 提高压铸型中有效面积的利用率, 改善机器的受力情况。

(二) 侧浇口(图 19-19)

在铸件侧面设置的浇注系统称为侧浇口, 它是浇注系统中被广泛采用的一种。其结构如图 19-19 所示, 金属液由直浇道 1 平滑地转过 90° 角流入横浇道 2, 横浇道 2 与开在铸件侧面的内浇口 3 以过渡形式相连接。

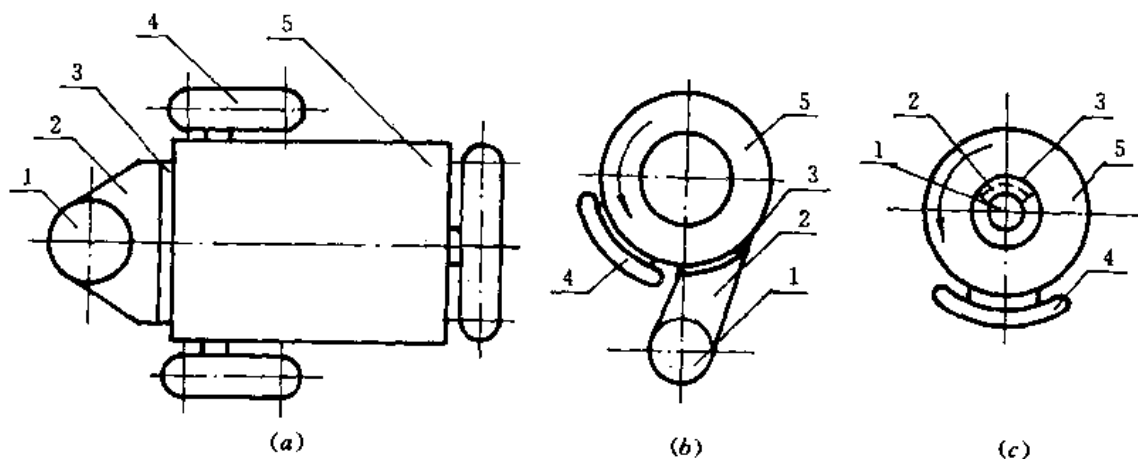


图 19-19 侧浇口

1—直浇道 2—横浇道 3—内浇口 4—溢流槽 5—铸件

侧浇口的特点是:

(1) 金属液可以根据铸件充填条件的需要, 在铸件的不同部位引入。如图 19-19(a)、(b) 所示的框形和环形铸件, 内浇口可设置在铸件的外侧。当其内孔有足够大的位置时, 亦可将内浇口设置在铸件的内侧, 如图 19-19(c) 所示, 这样不仅有利于保持铸型的热平衡, 同时也有利于缩小铸型的外廓尺寸;

(2) 适用于一型多腔, 显著提高生产率, 并减少浇注系统的金属消耗量;

(3) 便于去除浇注系统, 一般只需用手折去, 然后锉平。

(三) 环形浇口(图 19-20)

这种浇口仅用于较大的管形铸件。金属液在充满环形浇口后, 再自铸件的一端沿整个环形截面充填型腔。因此, 对这一类铸件, 环形浇口的金属液流态是比较理想的, 能避免正面冲击型芯, 改善充填及排气条件。但采用环形浇口, 会增加浇注系统的金属消耗量, 并使浇口切除困难。

(四) 缝隙浇口(图 19-21)

由图 19-21 可知金属液从缝隙浇口注入型腔的形式基本上与侧浇口一样, 只是其内浇口宽度方向是与分型面垂直的。这种浇口一般用于散热器、带有凸缘的壳体铸件, 或用于复杂的组合铸件。它的优点是内浇口位于型腔深处, 缩短了金属液引入型腔的距离, 有利于排气。但内

浇口厚度一般为 1.5 ~ 3 mm,因而,去除浇注系统不太方便。

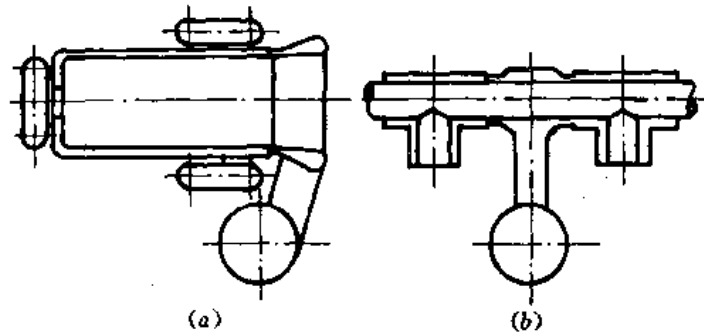


图 19-20 环形浇口

(a) 圆管形铸件用环形浇口 (b) 丁字形管用环形浇口

(五) 顶浇口(图 19-22)

顶浇口(又称端浇口)是把直浇道直接开设在铸件顶端,这种浇注系统只有直浇道一个单元。一般用于较大的壳体类铸件,且其顶部没有通孔,不能设置分流锥的铸件。

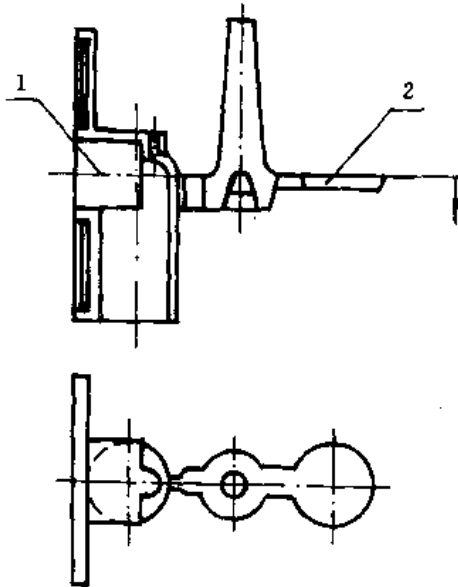


图 19-21 缝隙浇口

1—铸件 2—平衡机器压力中心的辅助型腔

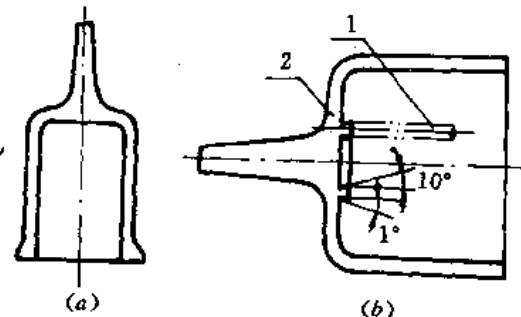


图 19-22 顶浇口

1—推杆 2—在铸件上增加的倒斜度环

顶浇口的特点是:

- (1) 直浇道即为内浇口,故内浇口截面积较大,充填速度较小;
- (2) 适于压铸厚壁、体积较小的铸件,由于能传递最终静压力,因而所得铸件内部组织致密;
- (3) 由于没有分流锥,因此,金属液直接冲击型芯,造成飞溅,铸件表面容易形成麻点或花纹;
- (4) 顶浇口对面的型芯,因经常受到金属液的热冲击而“龟裂”,故铸型寿命短;
- (5) 浇口附近热量集中,因而内部容易产生气孔或缩孔,当切除浇口后缺陷就会暴露,在采用较高比压,延长持压时间时,这种缺陷可有所减轻;

(6) 需用机械加工方法切除浇口。

(六) 点浇口(图 19-23)

如图 19-23 所示,其内浇口为一很小的圆截面,形似一点故称之为点浇口。它适用于外形对称壁厚均匀、高度不大、顶部无孔的壳体类铸件。点浇口克服了顶浇口存在的缺点,金属液以高速沿整个型腔均匀充填。金属液在点浇口处的流速约为 60 ~ 100 m/s。

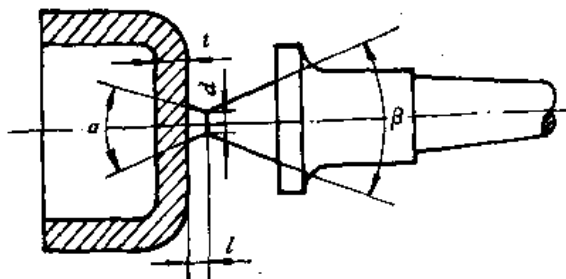


图 19-23 点浇口

推荐的点浇口尺寸(见图 19-23)为:

$$\beta = 45^\circ; l = 2 \text{ mm}; \alpha = 60^\circ \sim 120^\circ; \frac{d}{t} = 1 \sim 1.4; d \geq 3 \text{ mm}$$

点浇口的特点是:

- (1) 铸件表面光洁,内部结晶致密;
- (2) 生产率高,去除浇口容易;
- (3) 铸型结构复杂,需经二次分型,才能取出铸件;
- (4) 需严格地确定浇注系统尺寸和严格地控制压铸工艺参数。

三、浇注系统的理论计算

为了合理地确定浇注系统的有关尺寸,压铸工作者通过理论推导,结合典型铸件的试验结果,提出了浇注系统的各种计算方法。根据设计对象和计算基础的不同,可分为内浇口截面积和内浇口厚度两种计算方法。下面介绍一种常用的内浇口截面积计算方法。它是使金属液以一定的速度和预定的时间内充满型腔而得来的。见公式(19-10)。

$$F_n = \frac{Q}{\rho v T} \quad (19-10)$$

式中: F_n —— 内浇口截面积(mm^2);

Q —— 铸件重量(g);

ρ —— 液态金属的密度(g/cm^3),见表 19-3;

v —— 内浇口处金属液的流速(m/s),见表 19-4;

T —— 充填型腔的时间(s),见表 19-5。

表 19-3 液态金属的密度值

合金种类	铅合金	锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	8 ~ 10	6.6 ~ 7.3	6.4	2.4	1.65	7.5

表 19-4 不同情况下的流速值

比 压 (kN/m ²)	铸 件 壁 厚 (mm)		
	1~4	4~8	>8
	流 速 v (m/s)		
$\leq 20\,000$	56	45	34
$> 20\,000 \sim 40\,000$	37.5	30	22.5
$> 40\,000 \sim 60\,000$	18.5	15	11.25
$> 60\,000 \sim 80\,000$	15	12	9
$> 80\,000 \sim 100\,000$	11.25	9	6.75
$\geq 100\,000$	7.5	6	4.5

表 19-5 不同情况下的充填时间值

合 金 种 类	铸 件 壁 厚	
	均 匀	不 均 匀
	时 间 T (s)	
铅合金、锡合金	0.072	0.108
锌合金	0.060	0.090
铝合金	0.054	0.081
镁合金、铜合金	0.048	0.072

§ 19-5 溢流槽和排气槽设计

实践证明欲获得优质的压铸件,除合理地设计浇注系统、正确地控制工艺参数等,溢流槽和排气槽的设计也是至关重要的一个环节。

一、溢流槽设计

溢流槽亦称集渣包,它是最先流入型腔的金属流程的末端,是容纳冷污金属的地方。它的设置与浇注系统密切相关。溢流槽的作用取决于其位置、形状及尺寸大小。

(一) 溢流槽的作用

(1) 容纳最先进入型腔混有气体、氧化物残渣的冷污金属液、与排气槽配合,迅速排出型腔内的气体;

(2) 控制金属液充填流态,防止局部产生涡流。如图 19-24 所示,在压铸型上设置了溢流槽,就可把涡流引入其中;

(3) 转移缩松、缩孔和产生冷隔的部位;

(4) 调节铸型各部分的温度,改善铸型的热平衡状态,减少铸件流痕、冷隔和浇不足的

现象；

(5) 作为铸件出型时推杆顶出的位置，防止铸件变形或在铸件表面留有推杆痕迹；

(6) 对分别处于动、静型腔内的铸件，在包紧力相等时，为了防止铸件包紧在静半型内，可在动半型上设置溢流槽，以增大动半型的包紧力，使铸件在开型时留在动半型内。

(二) 溢流槽的截面形状及其尺寸

溢流槽的截面形状及其尺寸，如图 19-25 所示。溢流槽流入口长度不宜过大，否则会使流入的金属液温度下降过多，在入口处过早冷凝，使溢流槽失去作用。所以，一般取流入口长度为 $2 \sim 3$ mm，深度为 $0.5 \sim 1$ mm，宽度为 $8 \sim 12$ mm。溢流槽深度为 $5 \sim 10$ mm。

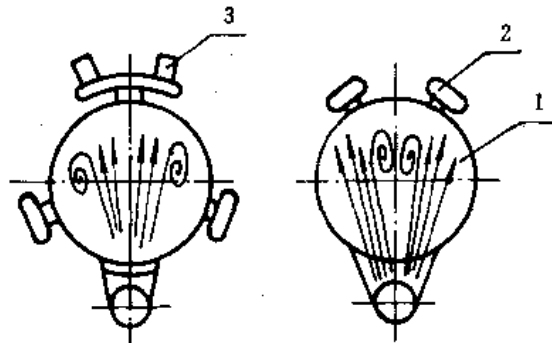


图 19-24 消除涡流的溢流槽布置

1—铸件 2—溢流槽 3—排气槽

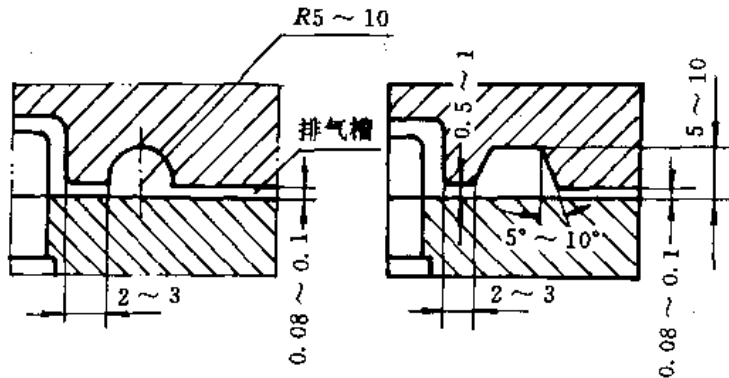


图 19-25 溢流槽的截面形状及其尺寸

(三) 设计要点

(1) 溢流槽入口总截面积一般为内浇口截面积的 $50 \sim 70\%$ ；为排气槽截面积的 50% ；

(2) 溢流槽应开设在金属液进入型腔后，最先冲击的部位(见图 19-24)；

(3) 受金属液冲击的型芯背面，两股金属流相汇合的部位，如图 19-26 所示；

(4) 金属液最后充填的部位，如内浇口两侧，见图 19-26 所示；

(5) 设置溢流槽时要防止金属液倒流，图 19-27 中(a)、(b) 是错误的设计，(c) 是正确的设计；

(6) 溢流槽的总容积不少于铸件体积的 20% 。

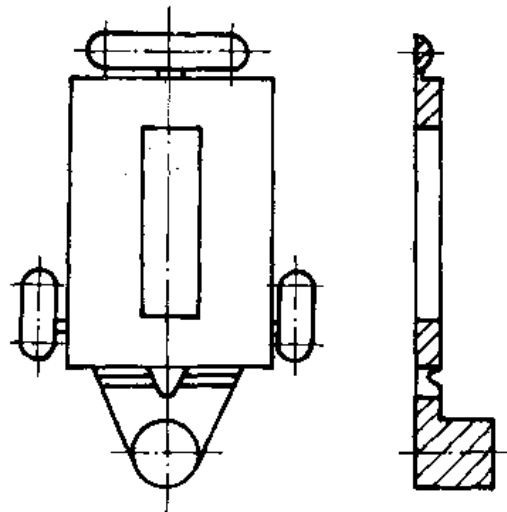


图 19-26 溢流槽布置图例

二、排气槽设计

排气槽的作用是在金属液充填型腔的过程中，使型腔、压室等空间原有的气体和涂料受热而产生的气体排出型腔而不留在铸件内。排气

槽一般与溢流槽配合使用,布置在溢流槽的外侧;在有些情况下也可在型腔内的需要部位单独布置槽气槽。

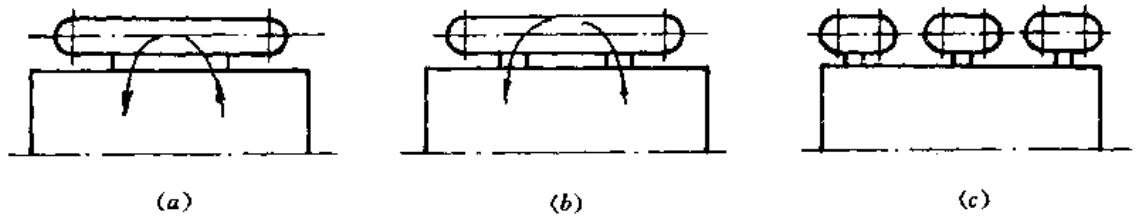


图 19-27 溢流槽设计
(a)、(b) 错误的 (c) 正确的

(一) 设计要点

(1) 排气槽应尽量设置在分型面上(见图 19-25),这样可以避免因排气槽而产生的毛刺或飞边影响铸件成型;

(2) 排气槽应尽量开设在一个半型上,以便于制造;

(3) 当排气量大,需增加排气槽截面积时,只能增加排气槽的数量或宽度,切忌增加厚度,以防金属液把排气槽堵塞或金属液向外喷溅;

(4) 为便利型腔深处空气的排除,可利用通孔的型芯头或推杆间隙排气;还可设置通气塞排气;

(5) 排气槽应做成曲折形,出口不能朝向操作者一边,防止金属液溅出。

(二) 排气槽的形状和尺寸(见图 19-28)

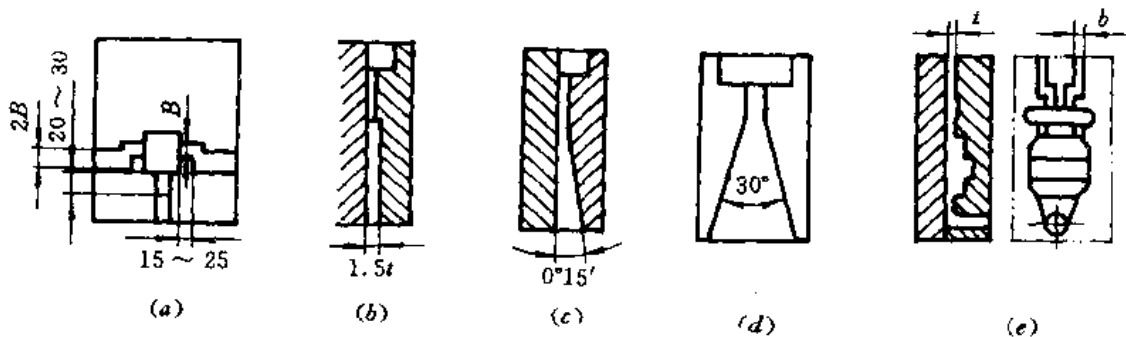


图 19-28 排气槽的形状和尺寸

(1) 排气槽深度(t)

锌合金取 $t \approx 0.05 \sim 0.08 \text{ mm}$ (最大不超过 0.12 mm);

铝、镁合金取 $t \approx 0.08 \sim 0.10 \text{ mm}$ (最大不超过 0.15 mm);

铜合金取 $t \approx 0.15 \sim 0.2 \text{ mm}$ (半液态状浇入取 0.2 mm)。

(2) 排气槽宽度(b) 一般取 $b \approx 6 \sim 20 \text{ mm}$ 。采取曲折的排气槽时,为了减少排气时的阻力,在转折处宽度应放大到正常排气槽宽度的两倍。与型腔接通的正常排气槽的长度,按铸件大小分别不小于 $15 \sim 25 \text{ mm}$ (见图 19-28(a));直通的排气槽可制成阶梯的,加深到正常排气槽深度 t 的 1.5 倍(见图 19-28(b)),或制成带有 $0^\circ 15'$ 的斜度(见图 19-28(c)),或在分型面上的投影形状制成扩大的喇叭形(见图 19-28(d))。

§ 19-6 压铸型成型部分尺寸计算

一、影响压铸件尺寸精度的因素

影响压铸件尺寸精度的因素是很多的,它们是:压铸件结构、压铸型的设计与制造、压铸合金的性能、压铸工艺、压铸机的技术性能以及生产操作技术等。在上述诸因素中,除了压铸型设计以外,其他的因素在设计过程中是无法控制的,但是在设计时,对上述诸因素的影响程度和大致的影响规律应有所了解,并给予足够的、正确的估计,使它们相互协调,以保证获得符合要求的尺寸精度。

下面就压铸型设计、压铸件结构工艺性、压铸工艺和压铸合金的凝固收缩等四个方面,分析它们对压铸件尺寸精度的影响。

(一) 压铸型设计对压铸件尺寸精度的影响

压铸型是保证压铸件达到预定尺寸的最主要因素,因为铸件的成型尺寸精度基本上取决于压铸型的成型部分。如果同一铸件的成型部分在压铸型内的位置不同,那么,压铸件同一部位上的尺寸的精度也会有所差异。

设计压铸型时,应保证在试铸后,有尺寸修整的余地,并且还应考虑到压铸型要有足够的寿命,开始磨损时不致马上影响压铸型使用。因此,在计算成型部分尺寸时,其型腔尺寸应取接近压铸件外形的最小尺寸,型芯尺寸应取接近压铸件内孔的最大尺寸。

对垂直于分型面方向的尺寸,且起、止,或跨越分型面时,设计时还应考虑到,压铸型使用时间较长以及在操作时对分型面未清理干净等因素都会影响这一尺寸的精度。

压铸型成型部分的安排,对压铸件的尺寸精度也有影响,如图 19-29 所示,因某种原因而必须把分型面选择在压铸件轴线上时,在压铸型制造精度差或使用过一定时间后,将会在分型面上产生一些降低精度的现象。图 19-29(a)、(c) 为正常现象;图 19-29(b)、(d) 是动、静型产生了偏移;图 19-29(e) 为两半型在分型面上张开现象。

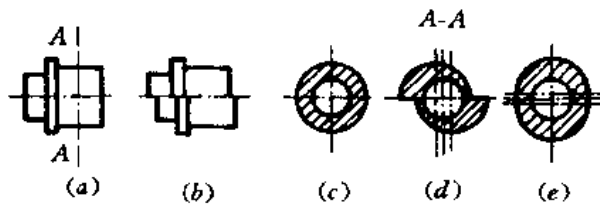


图 19-29 沿压铸件轴线的分型使压铸件形状受影响

抽芯部位及导滑部位的形式与配合精度亦会影响压铸件的尺寸精度。如采用齿轴齿条机构抽芯时,齿轴齿条啮合间隙就是影响铸件尺寸精度的因素。

当顶出铸件的推杆的作用部位是压铸件的某一整个表面时,则从该表面算起的尺寸精度就会降低很多。

(二) 压铸件结构工艺性的影响

压铸件结构工艺性对压铸件尺寸的影响,请见第十二章铸件结构设计。

(三) 压铸工艺参数及操作因素的影响

如果压铸过程中采用高的比压,则铸件的结晶组织致密,但有可能使分型面张开而出现缝隙,因而,从分型面算起或与分型面有关的尺寸将会增大。涂料过多,并且喷涂得不均匀,在型

腔表面上粘附着厚厚的一层涂料,也会影响压铸件的尺寸精度。

(四) 压铸合金凝固收缩的影响

收缩率的大小,应根据压铸件结构形式、阻碍收缩情况、收缩方向以及压铸件壁厚情况来适当选择,一般规律如下:

- (1) 包住型芯方向的内外径尺寸收缩较小,与型芯平行方向的尺寸,收缩率较大;
- (2) 薄壁压铸件收缩率小,厚壁压铸件收缩率大;
- (3) 型芯多的铸件收缩率小,无型芯的收缩率大;
- (4) 形状复杂的铸件收缩率小,简单的收缩率大;开型抽芯慢时(如手动抽芯),铸件收缩率小,反之,收缩率大;
- (5) 浇注温度高的合金收缩率大,反之,收缩率小;
- (6) 从分型面出发的尺寸,应估计到合型时有金属屑残留在分型面,故一般需按计算值减少 0.1 mm。
- (7) 未注公差(或小于 0.5mm)的尺寸,因收缩值不会超过自由公差数值,可不计算收缩率;
- (8) 对于大型压铸件,在受阻方向上的尺寸收缩较小,在自由收缩方向上的尺寸收缩较大。

在进行压铸型成型部分尺寸计算时,压铸合金的综合收缩率 K 是最难确定的系数。此系数包括压铸合金的收缩率 K_1 及铸型成型部分零件在温度升高时,因体积膨胀而引起的尺寸膨胀率 K_2 。因此,压铸合金的综合收缩率 $K = K_1 - K_2$ 。常用压铸合金的综合收缩率见表 19-6。

表 19-6 压铸合金综合收缩率 (%)

合金种类	收 缩 率		备 注
	自由收缩方向	受阻收缩方向	
铅锡合金	0.4 ~ 0.5	0.2 ~ 0.4	上下限数值的确定方法,可按上述规律以及铸件尺寸可以修正的原则来选定,特殊情况可以超过此范围
锌合金	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	
铝合金	0.5 ~ 0.75	0.4 ~ 0.65	
镁合金	0.6 ~ 0.85	0.5 ~ 0.75	
铜合金	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	

二、压铸型成型部分的尺寸计算

(一) 压铸型经磨损后逐渐变大的尺寸(见图 19-30(a))

$$A = (D_{\max} + DK - n\Delta)^{+0} \quad (19-11)$$

(二) 铸型经磨损后逐渐变小的尺寸(见图 19-30(a))

$$B = (D_{\min} + D_1K + n\Delta)^{-0} \quad (19-12)$$

(三) 垂直于分型面方向的尺寸(见图 19-30(a))

$$H_1 = (h_{\min} + h_1K + n\Delta)^{-0} \quad (19-13)$$

$$H = (h_{\max} + hK - n\Delta - Q)^{+0} \quad (19-14)$$

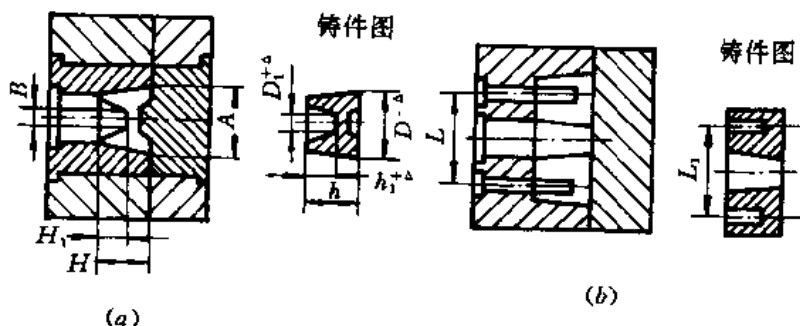


图 19-30 压铸型成型部分尺寸计算图例

(四) 铸型经磨损后不变的尺寸(孔距尺寸)(见图 19-30(b))

$$L = (L_{1p} + L_1 K)^{1/n} \quad (19-15)$$

式中: D —— 铸件外形基本尺寸(mm);

D_{\max} —— 铸件外形最大极限尺寸(mm);

$D_{1\min}$ —— 铸件内腔最小极限尺寸(mm);

D_1 —— 铸件内腔基本尺寸(mm);

A —— 铸型型腔尺寸(mm);

B —— 铸型型芯尺寸(mm);

h —— 铸件高度(mm);

h_{\max} —— 铸件高度最大极限尺寸(mm);

h_1 —— 铸件孔深(mm);

$h_{1\min}$ —— 铸件孔深最小极限尺寸(mm);

H —— 铸型型腔深度(mm);

H_1 —— 铸型型芯高度(mm);

L_{1p} —— 铸件两孔中心距平均尺寸(mm);

L_1 —— 铸件两孔中心距基本尺寸(mm);

L —— 铸型两型芯中心距(mm);

K —— 合金综合线收缩率(%) (见表 19-6);

Δ —— 铸件尺寸公差(mm);

n —— 铸型磨损系数(一般取 0.7);

Q —— 考虑铸型分型面有残屑等其他原因的张开量(mm), (一般取 0.1);

δ —— 铸型制造公差(mm)。

$$\delta = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}\right) \Delta$$

§ 19-7 压铸型型体和型芯设计

一、压铸型外形尺寸设计

在设计压铸型时,人们往往只注意直接影响铸件质量和尺寸精度的浇注系统及成型部分

的设计,而对压铸型外形尺寸、压板厚度的设计等却有所忽视。时常由于压板强度不够引起变形而严重影响铸件尺寸精度,或者由于压铸型外形尺寸与压铸机规范不符等问题,妨碍压铸生产的正常进行,以致转化为生产中的主要矛盾。由此可见,压铸型的外形尺寸等也是压铸型设计工作中的一个重要环节。在设计时应考虑到以下几点:

- (1) 在动、静两半型上都应有吊装的螺纹孔,以便能将压铸型吊装在压铸机上进行安装;
 - (2) 动、静型均应有适当的厚度,一般在较厚的情况下铸型的温度变化小,铸件质量稳定,铸型寿命也长;但铸型太厚也不好,会使铸型笨重,压铸机所受负荷加大;
 - (3) 铸型的受力中心应尽可能接近压铸机上安装板的中心,否则铸型不易闭合紧密;
 - (4) 压铸型各部分均应有足够的强度,以保证在高温、高压下不变形;
 - (5) 在型块周围到套板边的型面上,要有足够的位置来安装导柱、导套、复位杆、紧固螺钉及推杆导柱等;
 - (6) 推杆板的尺寸、位置应与压铸机的规格或附件相匹配。
- 满足上述要求的压铸型外形尺寸,见表 19-7。

表 19-7 压铸型外形尺寸

简 图	型腔面积 (cm ²)	a (mm)	b (mm)
	~ 25	30	40
	> 25 ~ 50	35	50
	> 50 ~ 100	40	60
	> 100 ~ 200	45	70
	> 200 ~ 400	50	80
	> 400 ~ 800	55	90
	> 800 ~ 1 600	60	100

动型压板厚度的确定:

常用动型压板结构的受力情况如图 19-31 所示,从图中可知,这三种结构中,在所受压力 P 相同、动型压板厚度相等以及其他工艺条件都一致的情况下,图 19-31(c) 中的动型压板受力情况最差。今以受力最差的为例进行计算,若能保证它有足够的强度,则另外两种情况的动型压板的强度自然也是足够的。

从材料力学公式中知(见图 19-32)

$$\sigma_w = \frac{M}{W} \quad (19-16)$$

$$M = \frac{PL}{12} \quad (19-17)$$

$$W = \frac{PL}{12\sigma_w} \quad (19-18)$$

$$W = \frac{Bh^2}{6} \quad (19-19)$$

$$\therefore (19-18) = (19-19), \quad \therefore \frac{Bh^2}{6} = \frac{PL}{12\sigma_w}$$

即

$$h^2 = \frac{PL}{12\sigma_w} \cdot \frac{6}{B} = \frac{PL}{2\sigma_w B}$$

(正火 45 号钢的 $\sigma_w \approx 9.2 \times 10^4 (\text{kPa})$)

$$\therefore h = \sqrt{\frac{PL}{2\sigma_w B}} = \sqrt{\frac{PL}{18.4 \times 10^4 B}} \quad (19-20)$$

式中: h ——动型压板厚度(m);

P ——压板所承受的力(kN), ($P = Fp$);

F ——铸件在分型面上的投影面积(包括浇注系统及溢流槽), (m^2);

p ——比压(kPa);

L ——垫块间距(m);

B ——动型压板宽度(m)。

公式(19-20)的条件是假定压力 P 全部作用在动型压板上,但是实际上动型压板、动型套板、动型型块等都是互相固定在一起的,故压力 P 并非全部作用在动型压板上,因此,在确定动型压板厚度时需乘上一个系数 K ,故实际计算公式应为:

$$h = K \sqrt{\frac{PL}{18.4 \times 10^4 B}} \quad (19-21)$$

(一般取 $K = 0.6 \sim 0.7$)

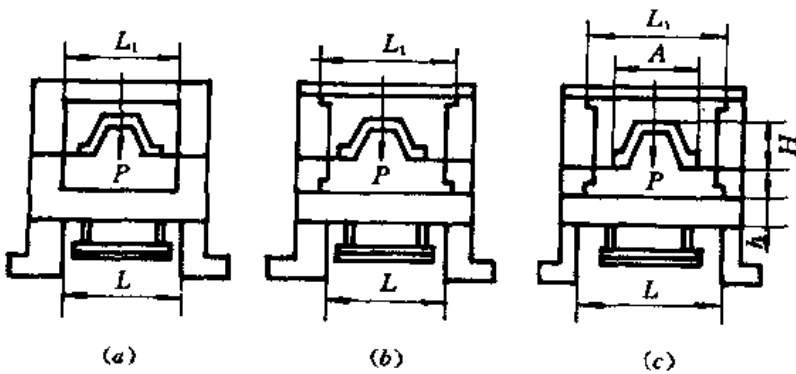


图 19-31 动型压板受力情况
(a) $L = L_1$ (b) $L < L_1$ (c) $L > L_1$

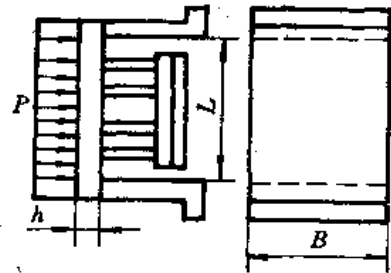


图 19-32 动型压板受力图

表 19-8 所列为动型压板厚度的参考尺寸(见图 19-31)。

表 19-8 动型压板厚度 (mm)

型腔尺寸 ($A \times H$)	动型压板厚度 (h)
$< 80 \times 35$	30
$< 150 \times 45$	35
$< 200 \times 50$	40
$< 250 \times 60$	45
$< 300 \times 80$	50

二、动、静型块(镶块)结构设计

动、静型型块装入套板的形式通常有如图 19-33 所示几种,由图中可以看出,除不常采用的(e)型(整体半型)以外,都采用了型块结构。

采用型块结构的优点:

- (1) 可节约制造型块的贵重耐热合金钢;
- (2) 便于型块的机械加工,如采用图 19-34 所示的型块结构,就是为了加工方便,易于保证尺寸精度;

(3) 与整体半型相比,可以减小热处理的变形或便于在变形后的修正;

(4) 由于套板部分不淬火,故有关导柱、导套等零件的精度,均不受热处理时变形的影响,因而,热处理后型块变形的修正可以套板为基准;

(5) 当型腔损坏或需要修改时,可以单独更换或修改型块,故省工省料;

(6) 型块与套板之间的间隙有利于排气;

(7) 便于安装固定型芯。

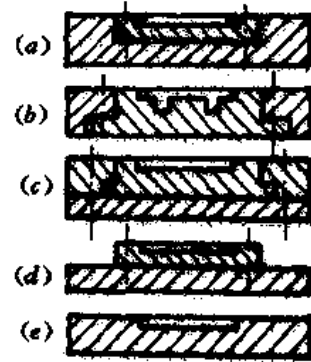
采用型块结构的缺点:

(1) 铸型散热条件较差,影响铸型热平衡或导致裂纹产生,故型块与套板之间应尽量紧密接触;

(2) 压铸型外形尺寸较大;

(3) 装设冷却水管较困难;

(4) 型块与套板接合处,缝隙逐渐增大,对生产带来不利因素。



19-33 型块装入套板的形式

- (a) 嵌装型块
- (b) 穿通型块
- (c) 带有压板的穿通型块
- (d) 型块直接装在压板上
- (e) 整体半型

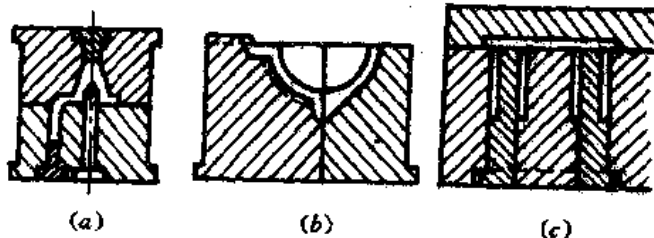


图 19-34 便于加工的型块结构

- (a) 由内外两块型块组合成半型
- (b) 由两块型块组合成半型
- (c) 由三块型块组合成动型部分型腔

三、型芯结构设计

型芯也是压铸件成型的主要零件。由于金属在凝固收缩时对它施加很大的包紧力,因而压铸件从型芯上脱下的力也很大,所以型芯在铸型上的固定特别重要。

通常,把固定型芯安装在型块内。为了加工方便和配合精确,在多数情况下,型芯的固定部分是圆形截面,也即型芯和型块之间的安装配合是圆柱面。固定型芯的常用结构形式和固定方

法如图 19-35 所示。

在图 19-35 中示出具有圆形截面的型芯各种可能的固定形式。其中带凸缘的结构形式使用方便,为最常用的一种;结构形式(d)、(f)特别适用于较大的型芯,在(f)中的一对孔是用于压出型芯的;(g)、(h)只适用于特殊情况,(g)只在包紧力较小的情况下采用,(h)只在由于位置限制而不能采用其他形式的型芯时采用。

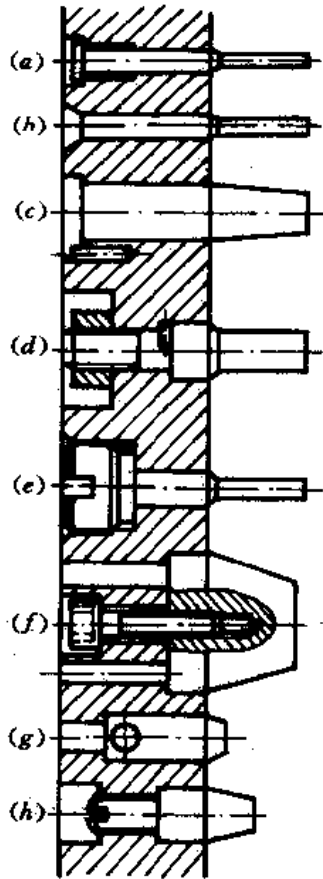


图 19-35 型芯结构形式
及固定方法

§ 19-8 抽芯机构设计

在压铸型设计中,经常遇到铸件侧面有孔或侧凹,为了把这些孔或侧凹铸出来,就必须采用活动的型芯。压铸过程中,在铸件从铸型型腔中顶出之前一定要把这些活动型芯抽出,否则铸件无法从型腔中被顶出;合型时,这些活动型芯也一定要插入型腔。为此,针对不同的铸件结构,应采用不同的抽芯方式。目前生产中采用的抽芯机构有:手动抽芯机构、斜销抽芯机构、斜滑块抽芯机构、弯销抽芯机构、齿轴齿条抽芯机构、液压抽芯机构等。

一、斜销抽芯机构

斜销抽芯机构是各种抽芯机构中结构最简单、制造最方便的一种机构,在实际生产中应用最广,特别是在抽芯距离较短和抽芯力不大的场合更为适用。其结构及动作原理见图 19-36。

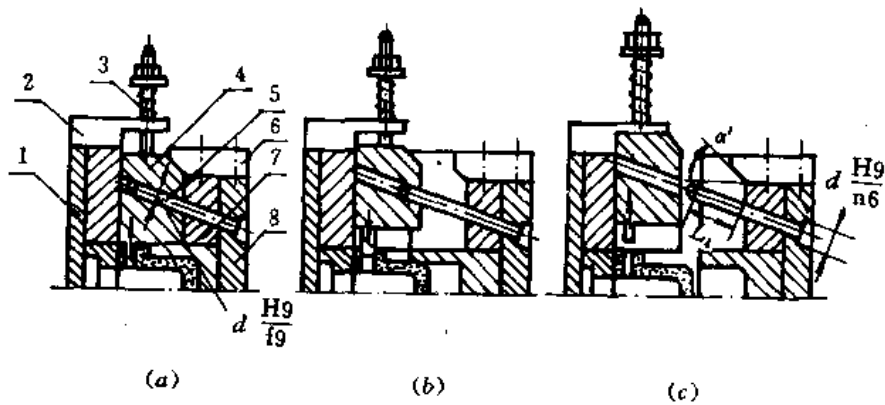


图 19-36 斜销抽芯机构动作原理

(a) 合型状态 (b) 开型过程中间状态 (c) 开型状态

1—动型压板 2—限位块 3—弹簧 4—滑块

5—斜销 6—压紧块 7—静型套板 8—静型压板

斜销 5 固定在静型套板 7 和静型压板 8 内,开型时带有活动型芯的滑块 4 随动型压板 1 移动,且与静型套板 7 分离的同时又沿着斜销的斜角按箭头方向在动型套板上的导滑槽内移动(见图 19-36(b)),移动的距离在斜销相应的有效长度 L_e 内,当斜销与滑块上的斜孔脱离时,滑块 4 便与限位块 2 接触,此时,型芯从铸件中完全抽出。由于压缩弹簧 3 的作用,因而滑块 4 不会因自重而下落(见图 19-36(c)),从而保证了在合型时斜销上伸出部分能准确地进入滑块上的斜孔内。合型后滑块回到图 19-36(a) 所示的状态。

(一) 斜销主要尺寸的确定

(1) 斜销直径:斜销的直径以往均按经验选取,一般取 $\phi 12 \sim 30$ mm,亦可通过理论计算确定。斜销受力简图如图 19-37 所示。

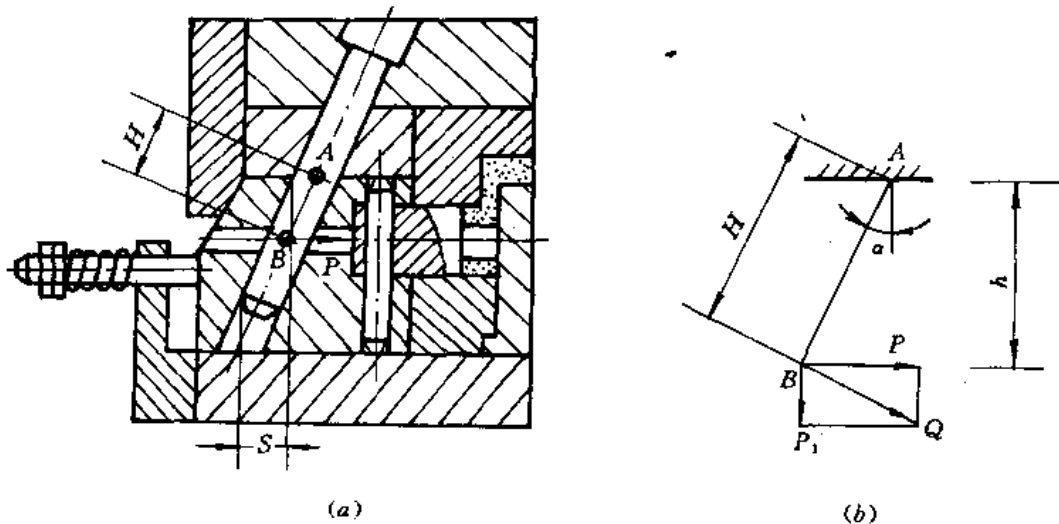


图 19-37 斜销受力简图

(a) 斜销机构 (b) 受力图

α —斜销角度 S —抽芯距离 P —抽芯力 Q —斜销抽芯时所受弯曲力

P_1 —开型阻力 H —斜销受力点间距离 h —斜销受力点间的垂直距离

由图 19-37 可知斜销直径主要取决于抽芯时作用于斜销上的弯曲力。

$$Q = \frac{P}{\cos\alpha} \quad (19-22)$$

式中: Q —— 斜销在抽芯时受到的弯曲力(kN);

P —— 抽芯力(kN);

(抽芯力的计算方法参见第十八章金属型设计中抽芯力的确定)

α —— 斜销倾斜角度。

根据材料力学知:

$$M_w = Q \times H \quad (19-23)$$

$$M_w = [\sigma]_w \times W \quad (19-24)$$

(W —主抗距)

$$\therefore (19-23) = (19-24) \quad \therefore QH = [\sigma]_w W$$

即

$$W = \frac{QH}{[\sigma]_w} \quad (19-25)$$

对于圆柱面斜销,其 W 为:

$$W = \frac{\text{轴惯距}}{\text{半径}} = \frac{\pi d^4}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{32} = 0.1 d^3 \quad (19-26)$$

$$\therefore (19-25) = (19-26)$$

\therefore

$$0.1 d^3 = \frac{QH}{[\sigma]_w}$$

$[\sigma]_w$ 取 3×10^5 kPa

即

$$d^3 = \frac{10 QH}{[\sigma]_w} = \frac{QH}{3 \times 10^4}$$

\therefore

$$d = \sqrt[3]{\frac{QH}{3 \times 10^4}} \quad (19-27)$$

或

$$d = \sqrt[3]{\frac{Qh}{3 \times 10^4 \cos\alpha}} \quad (19-28)$$

式中: d —— 斜销直径(m);

Q —— 斜销在抽芯时受到的弯曲力(kN);

H —— 斜销受力点间距离(m), (见图 19-37);

h —— 斜销受力点间的垂直距离(m), (见图 19-37)。

(2) 斜销长度: 斜销长度是根据活动型芯的抽出距离、斜销直径及其采用的斜销角度大小而定的(见图 19-38)。

斜销长度的计算公式如下:

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \\ &= \frac{1}{2} D \operatorname{tg}\alpha + h_1 \frac{1}{\cos\alpha} + \frac{1}{2} d \operatorname{tg}\alpha + S \frac{1}{\sin\alpha} + (5 \sim 10) \end{aligned} \quad (19-29)$$

式中: L —— 斜销总长度(mm);

S —— 抽芯距离(mm);

($S =$ 铸件孔深 + 5 mm 保险量)

- h_1 ——斜销在静型的固定部分平行于开型方向的高度(mm);
- α ——斜销角度;
- d ——斜销工作段直径(mm);
- D ——斜销固定段直径(mm)。

(二) 设计要点

(1) 斜销角度 α , 不仅能决定抽芯距离与斜销长度的关系, 还能决定作用于斜销上的弯曲力 Q 的大小 (见图 19-37)。从图中可以看出, α 越大, 则 Q 越大; α 越小, 则 Q 越小。 α 由大到小, 斜销所能达到的抽芯距离也相应减小。因此, α 不宜取得太大, 也不宜取得太小, 一般采用 $15^\circ \sim 20^\circ$ 。在抽芯距离很短的时候, 可以采用更小的角度。在抽芯距离较大的情况下, 也不应超过 25° 。

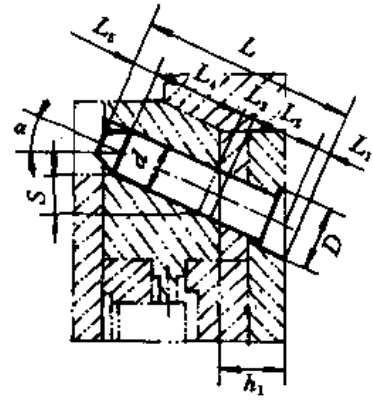


图 19-38 斜销长度计算

(2) 合型时, 应用固定在静型上的压紧块将滑块压紧 (见图 19-36), 使斜销在高压、高速的金属液充填型腔时不受力, 防止斜销产生变形。为此, 压紧块工作面的角度 $\alpha' = \alpha + 2^\circ \sim 3^\circ$ 。

(3) 开型时, 当滑块脱离斜销后, 应保证滑块仍停留在脱离时的位置, 不能因滑块的自重或惯性而移动, 保证在合型时斜销能准确的插入滑块的斜孔内。因此, 必须在动型和滑块上装有定位装置。

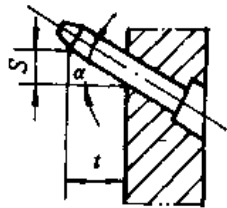


图 19-39 斜销简图

(4) 斜销伸出静型部分的高度 t 加上顶出铸件所需行程, 应小于压铸机动型安装板的开型行程, 否则铸件取不出来。 t 可按抽芯距离 S 进行计算, (见图 19-39)。

$$t = \frac{S}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (19-30)$$

- 式中: t —— 斜销伸出静型部分的高度(mm);
- S —— 抽芯距离(mm);
- α —— 斜销倾斜角度。

(5) 滑块在导滑槽内的配合长度, 在滑块脱离斜销后, 仍应有足够的配合长度 l (见图 19-40), 一般不小于滑块长度 L 的 $2/3$, 否则滑块容易倾倒, 影响滑动。

(6) 如果滑块上的活动型芯与推杆发生干扰, 则应在铸型上安装防止干扰的安全机构。如采用图 19-41 所示的推杆预复位装置或电器联锁装置等。

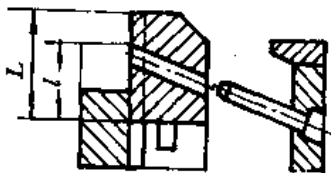


图 19-40 滑块与导滑槽长度的关系

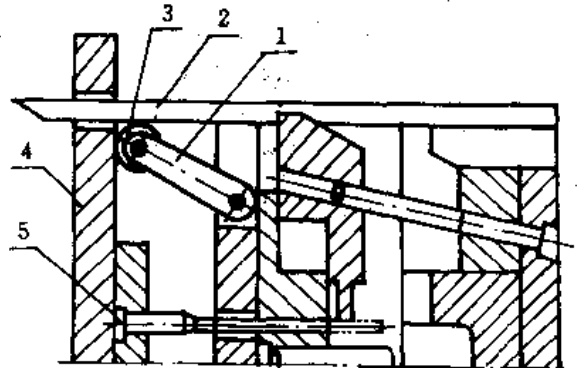


图 19-41 推杆预复位装置
1—杠杆 2—长推杆 3—滑轮 4—推板 5—推杆

图19-41所示是滑块下面装有推杆的例子。由于铸型上装有推杆预复位装置,因而在合型过程中,当斜销伸出静型部分的长度与滑块上的孔接触而引导滑块伸进型腔时,长推杆2已使推杆5预先恢复到原位,因此,合型时,滑块与推杆各自先后动作,互不干涉。这种装置结构比较复杂,应尽量避免采用。如采用液压顶出器通过电器联锁、程控使顶杆板预先复位,再合型,即可避免滑块与推杆的互相干扰。

(7) 若铸件无支承面,为防止铸件变形,应改进压铸型结构设计,如图19-42所示。图中(a)、(b)两种是正确的设计,在开型瞬时,支承板3由弹簧2或插销4的作用暂时不动,待活动型芯5或滑块1移动一定距离后,方才跟随滑块1一起移动,这样铸件就不会变形。

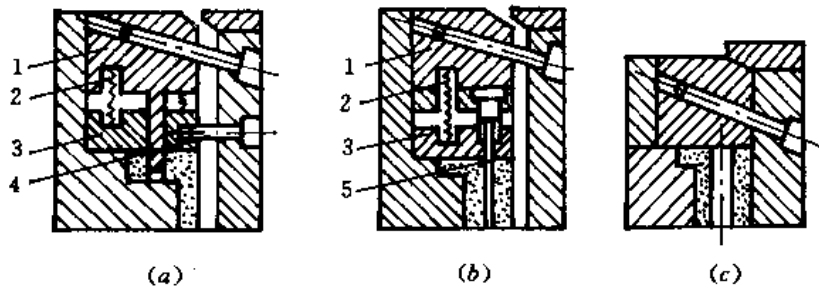


图19-42 铸件上无支承面时压铸型结构

(a) 正确的 (b) 正确的 (c) 错误的

1—滑块 2—压缩弹簧 3—支承板 4—插销 5—活动型芯

二、斜滑块抽芯机构

在抽芯距离不大,尤其是铸件侧面有较多不深(或不高)的凹凸形状的中小型压铸件的抽芯,采用斜滑块抽芯机构是比较合理的。其特点是抽芯与顶出铸件的动作同时完成。

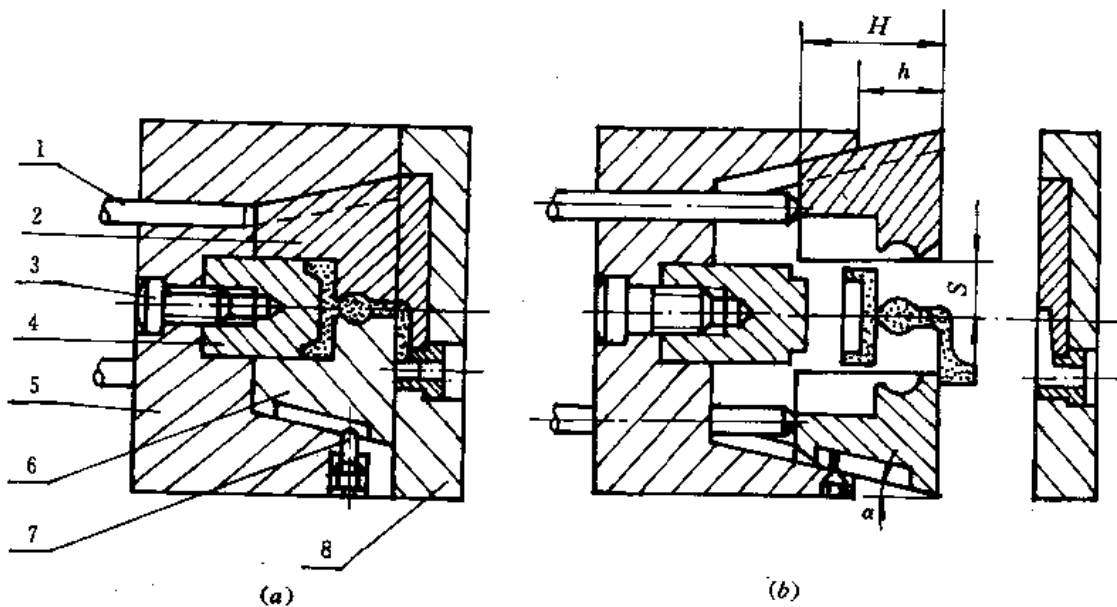


图19-43 斜滑块抽芯机构

(a) 合型状态 (b) 开型状态

1—推杆 2—斜滑块 3—螺钉 4—固定型芯 5—动型 6—斜滑块 7—限位螺钉 8—静型

斜滑块抽芯机构的结构和动作原理如图 19-43 所示。斜滑块 2、6 放在动型 5 内，开型时，通过推杆 1，使斜滑块沿动型内的斜导槽滑动，即完成抽芯动作。合型时，借斜滑块与静型 8 的分型面接触，使其恢复到原来位置。限位螺钉 7 的作用是防止斜滑块在顶出时滑出铸型。

设计要点：

(1) 斜滑块抽出距离 S 的大小(见图 19-43)，应等于铸件在斜滑块里的深度，再加上适当的保险量(一般取 3 mm)；

(2) 斜滑块在开型方向的顶出距离 h (见图 19-43)，可按下列式计算

$$\begin{cases} h = S \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} & (19-31) \\ h \leq \frac{2}{3} H & (19-32) \end{cases}$$

式中： h ——斜滑块在开型方向需顶出的距离(mm)；

S ——斜滑块需抽出的距离(mm)；

α ——斜滑块的倾斜角。

(3) 斜滑块的倾斜角 α 的选取原则与斜销相同，但由于斜滑块机构强度较高，因而其倾斜角度可适当增大，最好不大于 30° ；

(4) 斜滑块应高出分型面 0.1 ~ 0.2 mm，以便挤紧“A”面(见图 19-44)；

(5) 铸件在动型上应设置中心支柱，否则开型时铸件会留在上半或下半斜滑块上，而不能取出，见图 19-45 所示。

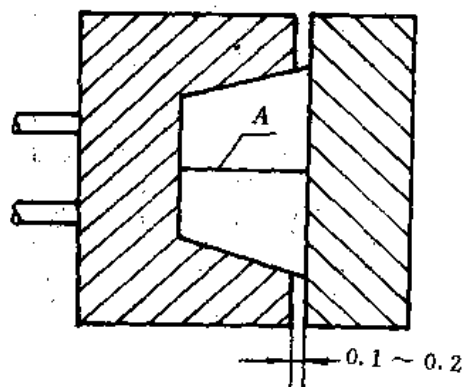


图 19-44 斜滑块简图

三、齿轴齿条抽芯机构

这种抽芯机构的特点是抽芯距离较长，可以抽出与分型面不平行，而用斜销无法抽出的型芯。所用齿形是渐开线齿形，模数为 1 ~ 3.5 mm，常用 2.5 ~ 3 mm。

常用齿轴齿条抽芯机构示意图如图 19-46 所示。

图 19-46(a) 为主动齿条固定在静型上的齿轴齿条抽芯机构示意图。这种结构适用于活动型芯与分型面倾斜一个角度、抽芯距离不大而又不宜采用斜销抽芯机构的情况。由于抽芯距离较短，因而主动齿条不需很长，但这种结构形式，开型后齿条与齿轴很可能脱离，为使再合型时两者能顺利啮合，应对齿轴加以定位，使它停留在刚脱离时的位置。定位装置如图 19-46(b) 所示。由于定位销的顶出面是圆球形，所以当齿轴的有效工作转数超过一转时，定位空档即使经过定位销，但因有齿条的传动而滑过。只有在齿轴不再为齿条所传动，亦即抽芯行程终了时定位销才生效。

图 19-46(c) 所示为主动齿条固定在顶出机构上的齿轴齿条抽芯机构示意图，它与图 19-46(a) 基本相同，不同点有二：一是主动齿条固定在推杆板上，借助推杆板的动作使主动齿条传动齿轴，再由齿轴传动另一齿条来完成抽芯动作；二是完成抽芯动作后，齿轴齿条不脱离，因此，齿轴无需设置定位装置。在此情况下，必须保证先产生抽芯动作，然后才能有顶出铸件的

动作。

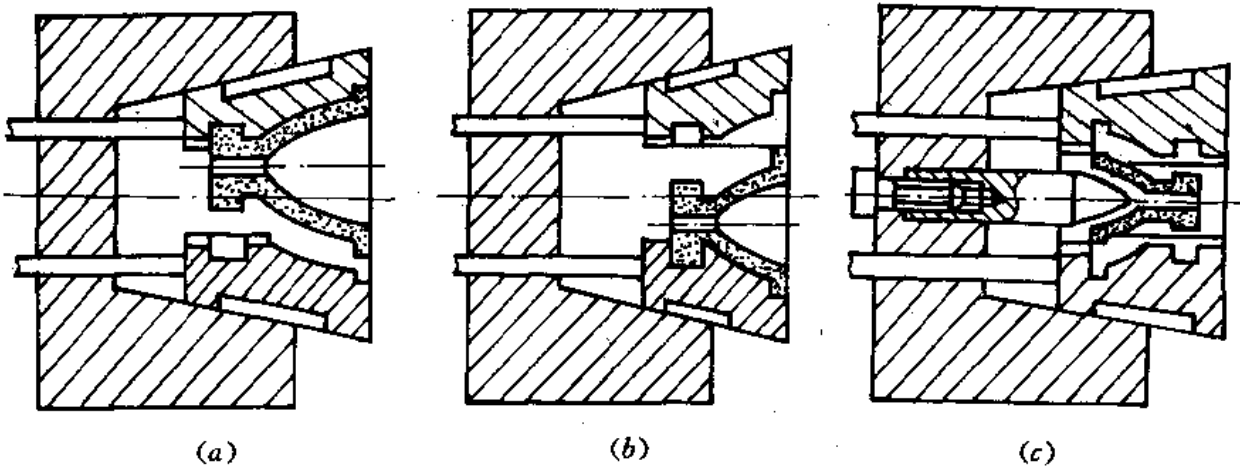


图 19-45 铸件在动型上应设置中心支柱
(a) 错误的 (b) 错误的 (c) 正确的

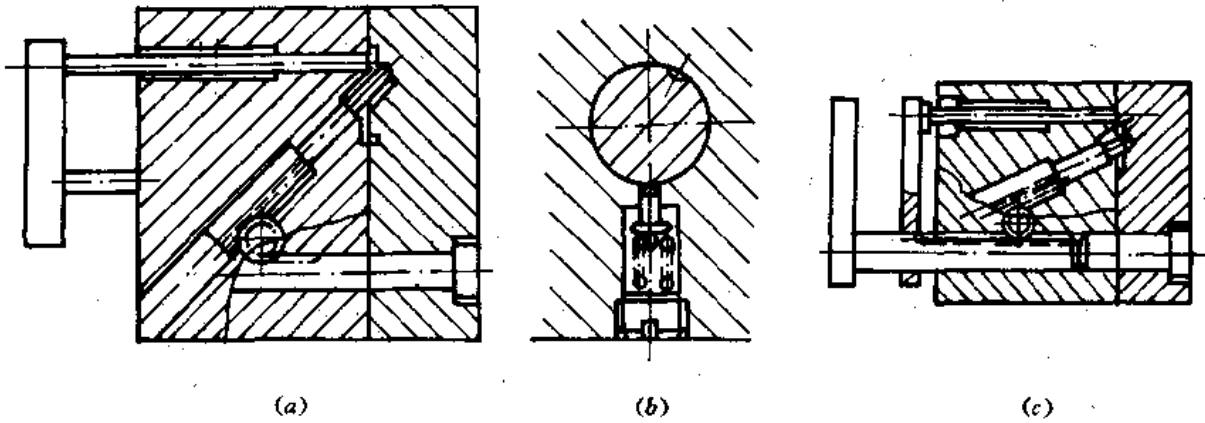


图 19-46 齿轴齿条抽芯机构简图
(a) 主动齿条固定在静型上 (b) 定位装置 (c) 主动齿条固定在顶出机构上

四、液压抽芯机构

这种抽芯机构可以抽出阻力较大,抽芯距离较长,以及任何方向的型芯,并可在任何时间抽出和插入型芯是其特点。

图 19-47 所示为液压抽芯器的基本结构及其与压铸型和活动型芯的连接方式。图示抽芯油缸 1 上带有伸出的连接头,通过接合器 3 与活动型芯 5 相连,因此,活动型芯随抽芯器的连接头沿轴向移动,抽芯器带有螺纹部分,用以装在固定支架 2 上。抽芯器多固定在动半型上,因此,为防止发生人身事故,它应安装在操作工人的对面一侧。

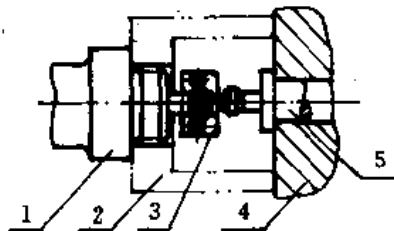


图 19-47 液压抽芯器的连接方式
1—抽芯油缸 2—抽芯器固定支架
3—接合器 4—动型 5—活动型芯

设计要点:

(1) 按所需抽芯距离及抽芯力选取标准抽芯器大小,标准抽芯器不适用时,应另行设计抽芯器,但不得超负荷进行工作。

(2) 已将抽芯器复位合型后,应有锁紧零件加以压紧,不可借液压的推力来承受赋型过程中在抽芯方向上所产生的反压力。只有在抽芯器压力不大于型芯所受反压力的 $1/3$ 左右时,才允许不用锁紧块来压紧。

(3) 在抽芯器未将型芯复位前,不能先合型,否则,锁紧零件会把滑块或型芯碰坏。

§ 19-9 顶出机构设计

将铸件从压铸型中顶出的机构称为顶出机构。常用的顶出方式有两种:一是利用开型动作靠限位杆控制推杆板行程顶出铸件,称为机构顶出;二是利用压铸机上的液压中心顶出器顶出铸件,称为液压顶出。

一、推杆顶出机构

图 19-48 所示为推杆顶出机构。它是所有机动顶出中最简单的一种,制造和维修也最方便,故在生产中使用效果较好,应用较广。

(一) 推杆形状

推杆具有各种各样的截面形状,如图 19-49 所示,其中常用的是圆形截面。图中 (h)、(i)、(j)、(k) 型适用于有深腔的铸件,其上开有排气槽,便于排出这些部位的空气。圆形截面推杆由于制造方便,故应尽量采用。推杆直径不应过小,以免影响刚性和强度,一般选用 $\phi 3$ (或厚 3 mm) 以上, $\phi 1.5$ (或厚 1.5 mm) 以下的推杆使用极少。最常用的尺寸是 $\phi 5 \sim 10$ (或厚 5 ~ 10 mm)。小于 $\phi 5$ (或厚 5 mm) 的推杆,为了增加其强度和刚性,可将其后部加大(见图 19-50(a)、(c))。推杆直径(或厚度)较大时,又常把推杆后部直径减小(见图 19-50(b)),这样可减少加工工时,有时还可防止损伤铸型零件。

矩形和异形截面的推杆,制造上比圆形截面的费时,但其最大的特点是,对于薄壁箱形铸件应用非常合适。其截面形状和厚度尺寸,往往是根据铸件的截面形状和厚度确定的。

(二) 推杆的固定方式

推杆的尾部装于推杆固定板上,其固定方式见图 19-51。图中 (a)、(e) 型为最常用的两种方式,推杆凸台置于推杆固定板内,另以压板压紧。其中 (e) 型适用推杆需固定方向的情况。(b) 型是用螺塞固定,不必用压板,但加工比较费时。当推杆直径大,而又没有压板时,可以不必带

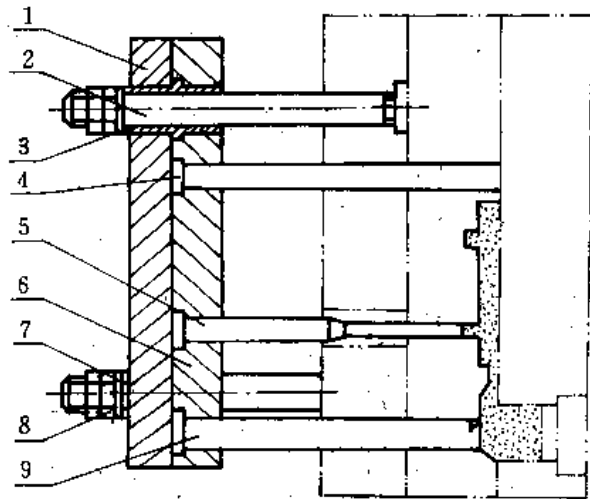


图 19-48 推杆顶出机构

- 1—压板 2—推杆导柱 3—导套
4—反推杆(复位杆) 5—推杆
6—推杆固定板 7—垫圈 8—螺帽
9—拉杆

有凸台,采用(c)、(d)型的螺钉固定方式。当直径较大时,也可采用(f)、(g)型,这样可以节约材料,但制造时尚需增加装配工序,故不常采用。

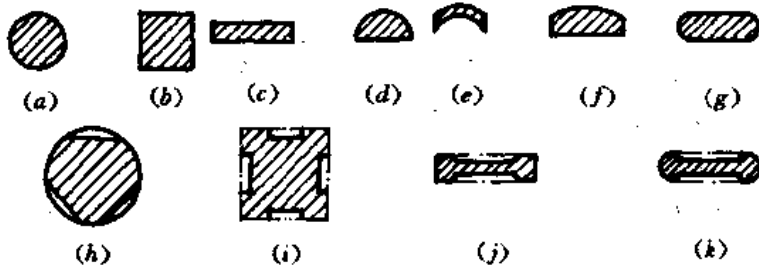


图 19-49 推杆截面形状

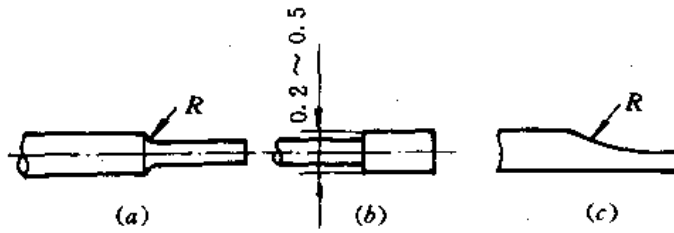


图 19-50 推杆形状

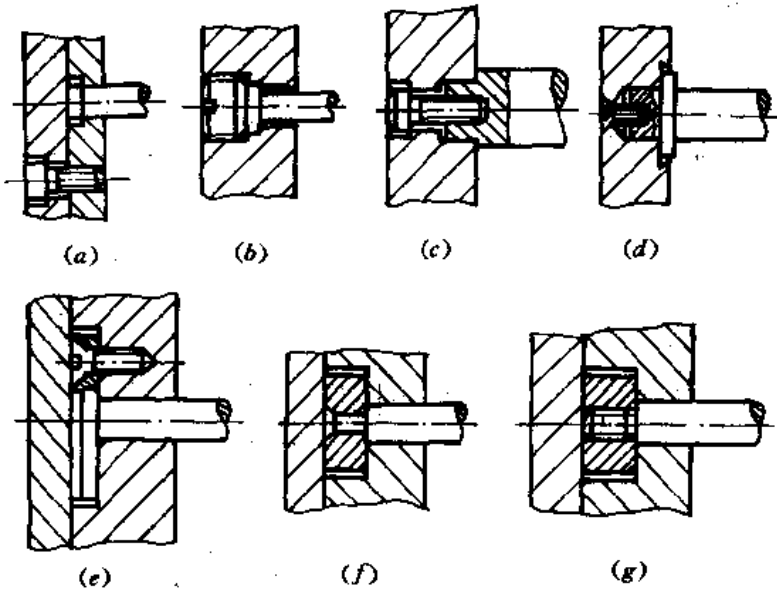


图 19-51 推杆的固定方式

(三) 推杆的布置

布置推杆时应注意以下几点:

(1) 推杆的分布不应影响铸型强度,通常,推杆至型芯边距应大于 2 mm(见图 19-52(a))。

(2) 推杆应尽量靠近型芯,并应考虑留有铸型磨损后的修整余地,如图 19-52(b) 所示,推杆与型芯边缘应有 0.25 ~ 0.5 mm 的修整余地,否则型芯磨损后经修磨,就会出现图 19-52(c) 的现象。

(3) 推杆应布置在铸件受力最大的地方,即最不易使铸件变形的地方,如筋部、凸缘、搭子、壳体形状的边缘等,应尽量避免布置在铸件薄壁的平面上,防止铸件被顶穿或出现凹凸痕迹。如图 19-53(b)、(c) 是不正确的,(a) 及(c) 中的假想线所示是正确的。

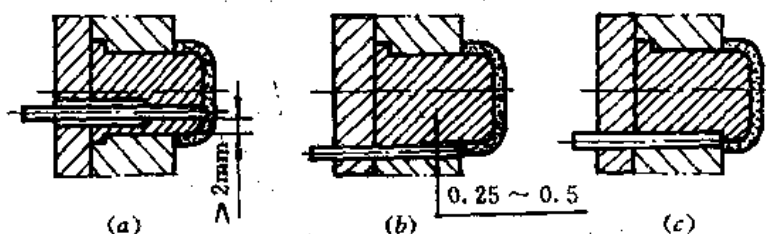


图 19-52 推杆位置选择

(4) 推杆的痕迹应尽可能留在铸件的加工面或内侧面,如果留在基准面上,其深度应比铸件平面低 0.1 mm 左右,以免影响铸件美观和基准面的精确度。

(5) 推杆的布置最好有利于排气作用,例如,在铸型深腔部位设置推杆,可有助于通过推杆和铸型的间隙排气。但在设置这样的推杆时,应当注意,搭子愈深,收缩值也愈大,在没有推动铸件时,可能铸件就已与推杆端部脱离,故在推出铸件时,会因另外的推杆已先推动其它部位而使铸件变形。因此,布置推杆时应尽量考虑对称平衡,受力均匀,顶出时不使铸件有扭转现象。

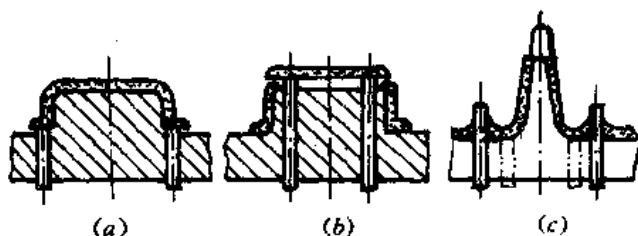


图 19-53 推杆位置选择

(6) 推杆位置应尽量避免与活动型芯发生干扰,否则将大大增加铸型或操作的复杂性。

(7) 推杆顶出后应避免出现图 19-54(a) 的情况,否则,当推杆返回时,会出现图 19-54(b) 所示的现象,使推杆损坏。图 19-54(c) 是正确的设计。

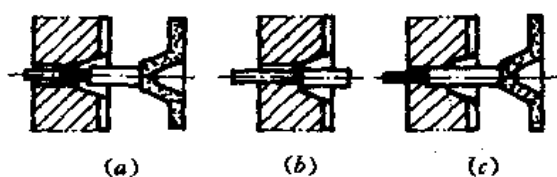


图 19-54 推杆设计

(a) 错误的 (b) 合型过程中间状态 (c) 正确的

二、推板顶出机构

推板顶出机构(图 19-55) 适用于无法安置推杆的薄壁铸件或铸件上不允许有推杆痕迹、平行度要求较高的铸件。其最大的优点是铸件顶出时不易变形,外表无推杆痕迹;缺点是型芯

上难以喷涂,但采用手动顶出或进行二次合型则无此缺点。

续 表

典型配合零件	压铸合金种类	配合类别
成型滑块和滑块座等	锌合金	$\frac{H6}{e8}$
	铝、镁合金	$\frac{H8}{e8} \sim \frac{H8}{d8}$
	铜合金	$\frac{H8}{d8} \sim \frac{H8}{c8}$
导柱和导套的导滑部位	锌、铝、镁合金	$\frac{H8}{e8}$
	铜合金	$\frac{H8}{d8}$
推板导柱和推板导套的导滑部位	各种有色合金	$\frac{H9}{f9} \sim \frac{H7}{f9}$
复位杆和孔等		$\frac{H9}{f9}$

二、压铸型零件不同工作面的表面粗糙度

压铸型零件不同工作面的表面粗糙度,见表 19-11。

表 19-11 压铸型零件不同工作面的表面粗糙度

序 号	零件工作面名称	粗 糙 度
1	与熔融金属接触的工作面,如成型表面、浇注系统表面、溢流槽表面、排气槽表面等	$\sqrt{0.125}$ (外表面)
		$\sqrt{0.25}$ (内表面)
2	导柱、导套、推杆、斜销等零件的滑动配合面	$\sqrt{0.40}$
3	分流锥、浇口套、型芯、型块等各零件的配合面	$\sqrt{0.80}$
4	分型面、套板和压板的接合面	$\sqrt{0.80}$
5	型芯、镶件、推杆、复位杆、分流锥、浇口套、导柱、导套的凸台等各类零件的接合面	$\sqrt{1.6}$
6	各种零件的其他表面,如非工作面、非配合面以及接合面	$\sqrt{6.3}$

三、对压铸型总装的要求

(1) 压铸型的分型面与安装面(装在压铸机上的接触面)或压铸型支承面之间的不平行度误差在 200 mm 长度内不大于 0.05 mm。

(2) 压铸型安装在机器上时,其分型面应保持良好的闭合状态,但允许有不大于 0.05 mm 的局部间隙。

(3) 导柱、导套在装配后,其轴线与套板平面的不垂直度误差,在 200 mm 长度内不大于 0.03 mm。

(4) 型块的分型面不得低于套板的分型面,可稍高,但不得大于 0.05 mm。

(5) 压铸型内各活动零件的各自配合应灵活,总装后应灵活。在室温状态下,用手施力时,各相互关联的活动配合部分不应有卡死现象。

(6) 在型腔和分型面上,顶杆和复位杆端面应仔细校准,复位杆不应凸出分型面,可凹入,但不大于 0.05 mm;顶杆可凸出,但不大于 0.05 mm。

(7) 压铸型的紧固螺栓都应采用内六角头螺钉或外六角头螺钉(M6 以下时除外)。

(8) 压铸型分型面上不得有穿通的螺钉孔和销钉孔,也不许有其他的孔外露。

(9) 在动型和静型部分的指定部位上打印标记,注明产品号,零件或组件号、模具号及制造日期。

四、对压铸型零件的要求

(1) 零件的表面上不得有裂纹、撞击凹坑,尤其是成型零件的工作表面上不得有任何细小的裂纹、划线痕迹、凹坑及不平整的现象;

(2) 凡未注明公差尺寸,均按 GB1800—79 的 IT12~IT13;

(3) 大压铸型上每件套板、压板上都应有搬运、起重的吊钩孔;

(4) 套板、压板外缘四周边缘应倒角 $2 \times 45^\circ$ 以上,或倒圆角 R2;

(5) 套板、压板、支承板、垫板等零件的两端面不平行度在 300 mm 长度内不大于 0.02 mm;

(6) 套板上由基准角相连的两个基准面(侧面)的垂直度,在 100 mm 内不能超过 0.02 mm。

复习思考题

1. 绘图说明压铸型的基本结构。
2. 压铸型的分型面选择应遵循哪些原则?
3. 压力铸造用浇注系统有几种?请简述其特点和应用场合。
4. 溢流槽的作用有哪些?
5. 溢流槽的设计要点是什么?
6. 压铸型结构为何多采用镶块结构?采用镶块结构有何优缺点?
7. 压铸型设计时采用的侧抽芯机构有几种?它们的特点有哪些?各适用于什么场合?

参 考 文 献

- [1] 李魁盛主编:《铸造工艺及原理》,机械工业出版社,1989年6月。
- [2] 曹文龙主编:《铸造工艺学》,机械工业出版社,1989年10月。
- [3] 林再学、张延威编:《轻合金砂型铸造》,航空专业教材编审组,1982年12月。
- [4] 王乐仪、郑来芬、曲卫涛等编:《特种铸造工艺》,国防工业出版社,1984年12月。
- [5] 中国机械工程学会铸造专业学会编:《铸造手册》第4卷《造型材料》,机械工业出版社,1992年2月。
- [6] 李传斌编著:《造型材料新论》,机械工业出版社,1992年4月。
- [7] 丁根宝主编:《铸造工艺学》,机械工业出版社,1985年6月。
- [8] [苏] H. M. 卡尔金著,王乐仪译:《轻合金铸件浇注系统》,国防工业出版社,1982年12月。
- [9] 赵玮若主编:《压铸手册》,上海压铸技术协会,1986年。
- [10] 黄少冷编:《铸造标准实用手册》,河北省标准计量情报研究所,1989年。
- [11] 何培之编:《铸造材料化学》,机械工业出版社,1981年7月。
- [12] 金文芷:《型砂化学》,上海科学技术出版社,1985年2月。
- [13] 昆明工学院编:《造型材料》,云南人民出版社,1978年11月。
- [14] 航空工艺装备设计手册编写组编:《航空工艺装备设计手册》《铸模设计》,国防工业出版社,1975年。
- [15] 杨正山等:《铸造用化学粘结剂》,机械工业出版社,1985年3月。
- [16] 编写组:《熔模精密铸造》(上册),国防工业出版社,1981年12月。
- [17] 陈允南等:《热芯盒射芯》,机械工业出版社,1985年8月。
- [18] 张启勋、胡忠:《铝镁合金典型铸件补缩系统设计》,《有色金属及特铸工艺》,1988年 No 2。
- [19] 曲卫涛编:《金属型铸造》,西北工业大学,1974年10月。
- [20] 魏兵等:《铸铁件均衡凝固的研究及应用》,1983年12月。
- [21] 张启勋:《金属和湿态砂型的热作用》,《造型材料》,1986年 No 3。
- [22] 张启勋:《铝镁合金冷铁设计》,《热加工工艺》,1988年 No 5。
- [23] 沈钟、王果庭编著:《胶体与表面化学》,化学工业出版社,1991年。
- [24] [英] B. 厄普顿、D. F. 奥尔索普、D. 肯尼迪著,马九荣、劳瑞芳译,董恒校:《压力铸造》,机械工业出版社,1988年。
- [25] S. R. Lyer, L. E. Harper: *Casting with Phenolic Ester Binder System*, AFS Transaction, 1987.