



“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

特种铸造

Special Casting

● 历长云 王英 张锦志 编著

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

特种铸造

历长云 王英 张锦志 编著

哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书由 7 章组成,分别介绍金属型铸造、熔模精密铸造、石膏型精密铸造、压力铸造、消失模铸造、反重力铸造以及离心铸造这些特种铸造方法的工艺特点、基本原理、应用领域、操作要点、缺陷产生及预防措施。本书的特点是部分案例选自企业正在生产的产品,以这些产品为例来介绍特种铸造方法的工艺特点、缺陷分析及工艺改进。

本书可作为普通高等院校机械、材料类专业本科生教材,也可以作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

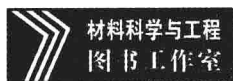
特种铸造/历长云,王英,张锦志编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.5

(材料科学研究与工程技术系列)

ISBN 978-7-5603-2906-2

I. ①特… II. ①历… ②王… ③张… III. ①特种铸造 IV. ①TG249

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 005615 号



责任编辑 张秀华

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 279 千字

版 次 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2906-2

定 价 26.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

本书是“十二五”国家重点图书出版规划项目,材料科学研究与工程技术系列类图书。本书的最大特点是实用性强,以工艺类介绍为主,深入浅出,便于理解。偏重国内外企业正在应用的特种铸造工艺,具有较好的前沿性和实用性。

本书内容在坚持以“应用为主”的前提下,较详细地介绍了各类特种铸造的基本理论知识,同时适当地介绍了企业正在生产的部分铸件的新工艺、新方法。本书是为普通高等院校机械、材料类专业本科生及相关专业大专院校师生编写的教材,也可作为相关工程技术人员参考书。

全书共分为7章,分别介绍了金属型铸造、熔模精密铸造、石膏型精密铸造、压力铸造、消失模铸造、反重力铸造以及离心铸造这些特种铸造方法的工艺特点、基本原理、应用领域、操作要点、缺陷产生及预防措施。部分案例选自企业正在生产的产品,并以这些产品为例来介绍各种特种铸造方法的工艺特点、缺陷分析及工艺改进。

参加本书编写的人员为河南理工大学的老师和北方光电集团河南平原光电有限公司轻合金精密铸造中心的科研人员,其中第1、7章由河南理工大学王英编写,第2、3章由北方光电集团张锦志编写,第4、5、6章由河南理工大学历长云编写。全书由历长云统稿定稿。

在本书的编写过程中,一些铸造企业为本书的编写提供了大量的资料和素材,同时还得到了河南理工大学、北方光电集团、哈尔滨工业大学出版社和有关师生的大力支持,在此谨致谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、错误难以避免,不当之处恳请广大读者斧正。

编 者
2012 年 12 月

目 录

第1章 金属型铸造	1
1.1 概述	1
1.2 金属型设计	4
1.2.1 金属型的结构	4
1.2.2 金属型型腔的设计	5
1.2.3 金属型芯的设计	8
1.2.4 排气系统设计	11
1.2.5 金属型半型间的定位	13
1.2.6 金属型的锁紧机构	14
1.2.7 顶出铸件机构	15
1.2.8 金属型的预热和冷却装置	17
1.2.9 金属型破坏的原因	18
1.2.10 金属型的材料	19
1.3 金属型铸造工艺	20
1.3.1 浇注补缩系统的设计	20
1.3.2 金属型的工作温度和浇注温度	23
1.3.3 涂料	24
1.3.4 金属型试铸	26
1.4 金属型铸件常见缺陷及预防措施	26
参考文献	28
第2章 熔模精密铸造	29
2.1 概述	29
2.1.1 工艺过程	29
2.1.2 工艺特点	29
2.1.3 应用范围	30
2.2 熔模铸造工艺	31
2.2.1 熔模制作	31
2.2.2 型壳制作	33
2.2.3 型壳脱蜡及焙烧	41
2.2.4 熔模铸件的浇注	42
2.2.5 熔模铸件的后处理	44
2.3 熔模铸造工艺设计	47

2.3.1	铸件结构工艺设计	47
2.3.2	工艺参数选择	49
2.3.3	浇冒口系统设计	50
2.4	熔模铸件常见缺陷及预防措施	53
2.4.1	铸件尺寸超差	53
2.4.2	铸件表面粗糙	53
2.4.3	铸件表面缺陷	54
2.4.4	孔洞类缺陷	56
2.4.5	裂纹和变形	57
2.4.6	其他缺陷	58
2.5	熔模铸造典型案例	59
2.5.1	毛坯工艺设计	59
2.5.2	浇注系统设计	60
2.5.3	熔模制作	60
2.5.4	熔模组合	61
2.5.5	复合型壳制作	62
2.5.6	脱蜡	62
2.5.7	焙烧、浇注	63
	参考文献	63
第3章	石膏型精密铸造	64
3.1	概述	64
3.1.1	工艺过程	64
3.1.2	工艺特点	64
3.1.3	应用范围	65
3.2	石膏型铸造工艺	66
3.2.1	模样制作	66
3.2.2	石膏型制造	69
3.2.3	浇注	73
3.2.4	铸件后处理	74
3.3	石膏型铸件工艺设计	75
3.3.1	铸件结构工艺设计	75
3.3.2	关键工艺参数选择	76
3.3.3	浇注系统设计	77
3.4	石膏型精密铸件常见缺陷及预防措施	78
3.4.1	铸件尺寸超差	78
3.4.2	缩孔、疏松、气孔	78
3.4.3	表面粗糙	79
3.4.4	积瘤	79

3.4.5 毛刺、拔缝	79
3.4.6 力学性能差	80
3.4.7 呛火	80
3.4.8 夹渣	80
3.5 石膏型精密铸造典型案例	81
3.5.1 毛坯工艺设计	81
3.5.2 浇注系统设计	81
3.5.3 熔模制作	82
3.5.4 熔模组合	83
3.5.5 石膏型壳制作	84
3.5.6 脱蜡、焙烧及浇注	84
3.5.7 铸件综合性能检测	85
参考文献	85
第4章 压力铸造	86
4.1 概述	86
4.2 压铸的工艺特点及分类	86
4.3 压铸工艺设计	87
4.3.1 压铸模具结构	88
4.3.2 铸件分型面的选择	89
4.3.3 铸件浇注系统	91
4.3.4 排溢系统的设计	96
4.4 压铸工艺参数的选择	97
4.4.1 压力参数	97
4.4.2 压射速度和内浇口速度的确定	98
4.4.3 合金浇注温度和模具温度的确定	99
4.4.4 压铸过程中时间的确定	99
4.4.5 压室充满度的计算	100
4.5 压铸合金的选择	101
4.6 压铸涂料的选用	101
4.6.1 涂料的作用	101
4.6.2 对涂料的要求	102
4.6.3 涂料的选定	102
4.7 合金的熔炼与铸件的后处理	102
4.7.1 合金的熔炼	102
4.7.2 铸件的清理	103
4.7.3 铸件的浸渗、整形和修补	103
4.7.4 铸件的热处理和表面处理	103
4.8 铸件缺陷分析	103

4.9 压铸件生产案例	106
4.9.1 压铸件的简介	106
4.9.2 压铸件的精度、表面粗糙度及加工余量的确定	106
4.9.3 压铸件基本结构单元设计	107
4.9.4 压铸机的选取	107
4.9.5 参数计算	107
4.9.6 浇注系统及推出结构的分布	107
参考文献	108
第5章 消失模铸造	109
5.1 绪论	109
5.1.1 概述	109
5.1.2 消失模铸造的分类	109
5.1.3 消失模铸造技术	110
5.1.4 消失模工艺流程	111
5.1.5 消失模铸造特点	111
5.1.6 消失模的发展现状	112
5.2 模样制造	114
5.2.1 模样的重要性及要求	114
5.2.2 模样生产的工艺流程	115
5.2.3 模样材料	115
5.2.4 制造成型发泡模的工艺过程	116
5.2.5 模样常见缺陷的原因及预防方法	119
5.3 涂料	122
5.3.1 涂料的作用	122
5.3.2 涂料的组成	123
5.3.3 涂料的配制	124
5.3.4 涂料的涂覆与干燥	125
5.3.5 涂料造成铸件缺陷的种类及原因分析	126
5.4 造型及振动紧实	127
5.5 浇注系统及浇注工艺	129
5.5.1 浇注位置的确定	129
5.5.2 浇注方式的确定	130
5.5.3 浇注系统各组元尺寸的确定	131
5.5.4 冒口设计	132
5.5.5 浇注工艺参数	132
5.6 消失模铸造缺陷分析	133
参考文献	141

第6章 反重力铸造	142
6.1 概述	142
6.2 低压铸造	142
6.2.1 低压铸造工艺过程	143
6.2.2 浇注工艺	143
6.2.3 工艺参数	145
6.2.4 铝合金车轮低压铸造	147
6.3 差压铸造	152
6.3.1 差压铸造技术特点	152
6.3.2 差压铸造分类	152
6.4 调压铸造	154
6.4.1 调压铸造原理	155
6.4.2 调压铸造技术的特点	156
参考文献	157
第七章 离心铸造	158
7.1 概述	158
7.2 离心铸造原理	160
7.2.1 离心力和离心力场	160
7.2.2 离心力场中液体金属自由表面的形状	161
7.2.3 液体金属中异相质点的径向运动	162
7.2.4 离心铸件在液体金属相对运动影响下的凝固特点	162
7.3 离心铸造机	164
7.4 离心铸造工艺	169
7.4.1 铸型转速的选择	169
7.4.2 离心铸型	170
7.4.3 离心浇注	172
7.5 离心铸造工艺实例	175
7.5.1 铸铁汽缸套的离心铸造工艺	175
7.5.2 铸铁管的金属型离心铸造工艺	177
7.5.3 双金属复合轧辊的离心铸造工艺	178
参考文献	180

第1章 金属型铸造

1.1 概述

金属型铸造俗称硬模铸造、铁模铸造、永久型铸造、冷硬铸造、冷激模铸造,是在重力下将熔融金属浇入金属(钢、铸铁等)铸型获得铸件的工艺方法。它所用的型芯可以为金属型芯,也可以为砂芯。金属型铸造应用非常广泛,既适用于大批量生产形状复杂的铝合金、镁合金等非铁合金铸件,也适合于黑色金属的成型铸件、铸锭及棒材等,故广泛被发动机、仪表、农机等工业所采用。

1. 优点

金属型铸造的工艺过程如图 1.1 所示,与砂型铸造相比,金属型铸造有以下优点:

(1) 金属型冷速快,有激冷效果,使铸件晶粒细化,力学性能提高,金属型周围的冷却速度快,提高了生产率;

(2) 金属型尺寸准确,表面光洁,使铸件尺寸精度和表面质量提高,一副金属型可反复浇注成千上万件铸件,仍能保持铸件尺寸的稳定性;

(3) 同一铸型可反复使用,节省造型工时,也不需要占用太大的造型面积,可提高铸造车间单位面积上的铸件产量;

(4) 易于实现机械化自动化,提高生产率,减轻工人劳动强度,适于大批量生产;

(5) 因不用或较少用砂子,减少了砂子运输及混砂工作量,减少车间噪声、刺激性气味及粉尘等公害,改善了劳动环境;

(6) 由于铸件冷凝快,减少了对铸件进行的补缩,故浇冒口尺寸减小,金属液利用率提高。

2. 缺点

金属型铸造的主要缺点是:

(1) 金属型机械加工困难,制造周期长,一次性投资高,故要求铸件有足够的批量,以便补偿制造金属型的成本;

(2) 新金属型试制时,需对金属型进行反复调试,才能得到合格铸件,当型腔定型后,工艺调整和产品结构修改的余地很小;

(3) 金属型排气条件差,工艺设计难度较大;

(4) 金属型铸造必须根据产品和产量实现操作机械化,否则并不能降低劳动强度。

3. 特点

根据金属型铸造工艺,金属型铸件有以下特点:

(1) 铸件具有高强度、高硬度、高致密度、高耐腐蚀性等,机械性能比砂型件提高很多;

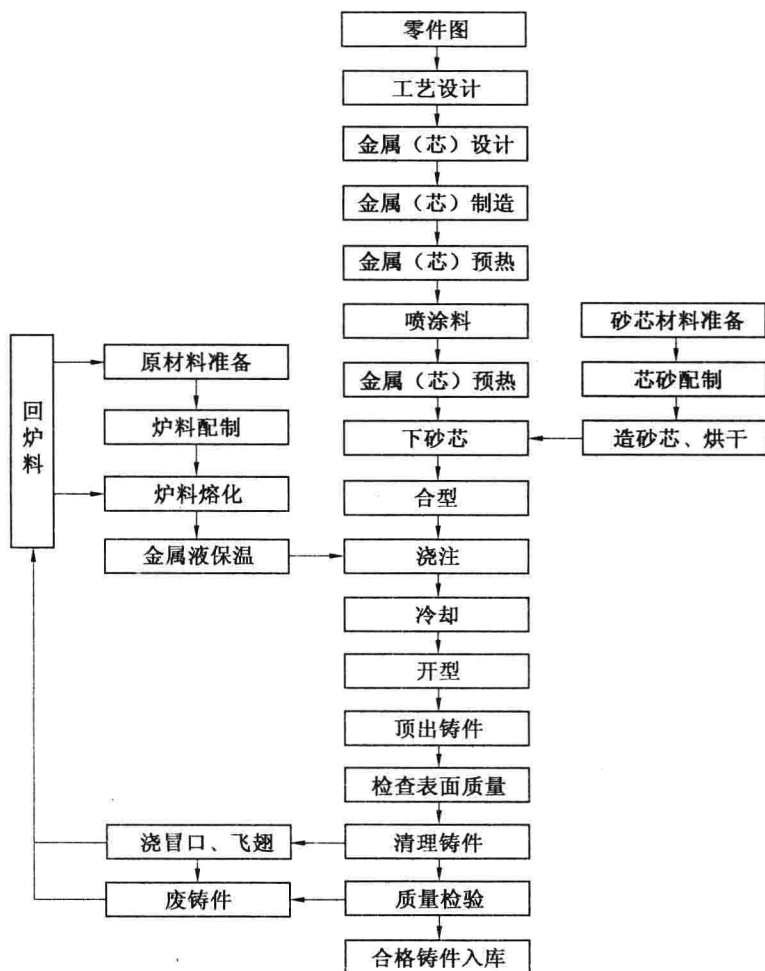


图 1.1 金属型铸造工艺过程示意图

(2) 铸件尺寸精度和表面粗糙度优于普通砂型铸件, 便于使用专用切削加工机床及专用工卡量具;

(3) 一般无粘砂层, 切削加工效率高;

(4) 浇注系统及冒口数量少, 尺寸减小, 工艺出品率高, 铸件成本相应降低;

(5) 金属型型腔为机械加工方法制造, 故铸件形状不能太复杂, 并要考虑铸件从金属型中脱出的可能性;

(6) 铸件不能太大, 否则金属型过重; 壁不能太薄, 否则易浇不足、冷隔; 孔不能太小, 孔深也不能太深, 否则拔除型芯困难。金属型铸件内孔的最小尺寸见表 1.1。

表 1.1 金属型铸件内孔的最小尺寸

铸造合金	孔的最小直径 d/mm	孔深/ mm	
		不穿透孔	穿透孔
铸 钢	>12	>15	>20
铸 铁	>12	>15	>20
锌合金	$6 \sim 8$	$9 \sim 12$	$12 \sim 20$
镁合金	$6 \sim 8$	$9 \sim 12$	$12 \sim 20$
铝合金	$8 \sim 10$	$12 \sim 15$	$15 \sim 25$
铜合金	$10 \sim 12$	$10 \sim 15$	$15 \sim 20$

金属型铸造的导热性好,在一定条件下可通过采取相应的工艺措施,使其强化(如进行水冷),也可以使其减弱(如预热金属型)。金属型材无退让性,易使铸件产生内应力、裂纹,故需设有专门的抽芯及顶出铸件机构,尽早拔取型芯和从铸型中取出铸件。对某些严重阻碍铸件收缩的孔腔改用砂芯,提高型壁斜度及涂料层厚度。金属型无透气性,型腔内气体不易排出,导致铸件产生浇不足,如图 1.2 所示;侵入气孔或针孔,如图 1.3 所示;故应在金属型上设置排气槽或排气塞(尤其是在型腔局部死角或气体汇集处),涂料层要充分干燥,去除型腔表面铁锈和微裂纹。

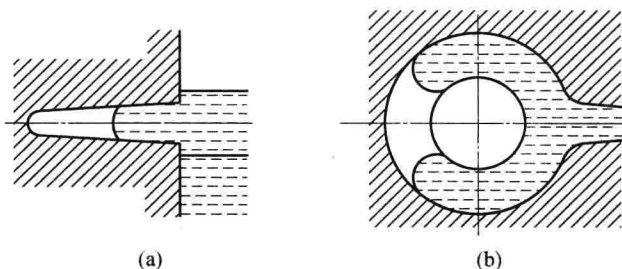


图 1.2 因气阻而造成铸件浇不足的示意图

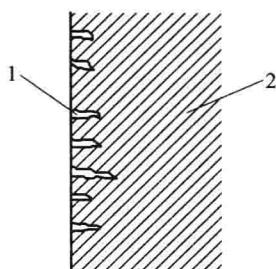


图 1.3 铸件表层的针孔

1—针孔;2—铸件

1.2 金属型设计

1.2.1 金属型的结构

金属型结构种类繁多,其类型见表 1.2。

表 1.2 金属型的结构分类

分类方法	类 型	分类方法	类 型
按分型面结构分	①垂直分型 ②倾斜分型 ③水平分型 ④曲面分型 ⑤综合型(垂直分型与水平分型结合)	按传动方式分	①杠杆式 ②螺杆式 ③齿轮齿条式 ④偏心式 ⑤综合式
按分型面数量分	①整体金属型(无分型面) ②一个分型面 ③多个分型面	按动力分	①手动式 ②气动式 ③电动传动式 ④液压传动式 ⑤综合式
按运用型芯分	①没有型芯 ②金属型芯 ③砂芯 ④综合型芯(有金属芯又有砂芯的)	按机械化程度分	①手动式 ②手动机械式 ③机动式 ④单机半自动式 ⑤单机自动式
按用途分	①通用式 ②专用式		

1. 整体金属型

整体金属型结构简单,无分型面,制造简单,结实耐用,成本低廉,操作方便,能获得坚实铸件,但是限于结构形状,只能应用于简单铸件,如图 1.4 所示。整体金属型应用于具有较大锥度的简单铸件,多用于黑色金属铸件,较少用于轻合金铸件。

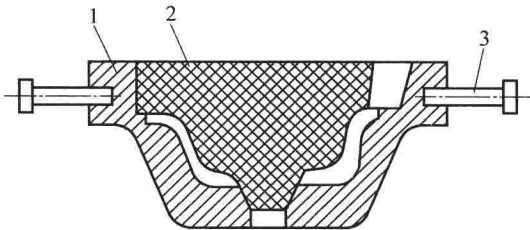


图 1.4 整体金属型
1—金属型;2—砂芯;3—转轴

2. 水平分型金属型

水平分型金属型具有一个分型面,且分型面为水平平面,如图 1.5 所示。水平分型金属型便于下砂芯,金属型强度高,不易翘曲变形,制造方便,但只适用于较简单的零件,不易设置浇冒口系统,特别不适合底注,排气困难,上型装卸、铸件脱型,较难实现机械化。水平分型金属型用于简单件,特别适合于高度不太大的中型或大型平板类、圆盘类、轮类铸件。

3. 垂直分型金属型

垂直分型金属型也只有一个分型面,且为垂直分型,如图 1.6 所示。垂直分型金属型便于设置浇冒口系统,设置金属型芯方便,排气条件好。垂直分型金属型应用于旋转金属型时,铸件应无死角,除此之外,只要结构允许都可以应用。

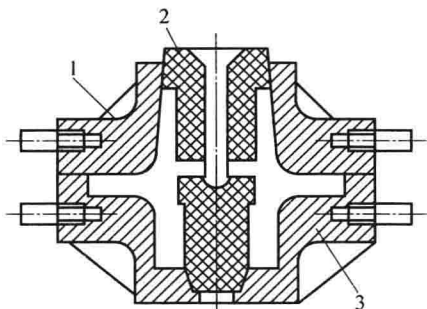


图 1.5 水平分型金属型

1—上半型;2—砂型;3—下半型

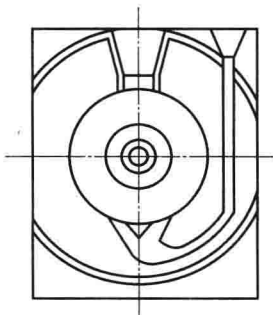


图 1.6 垂直分型金属型

1—右半型;2—左半型;3—金属型芯

4. 综合分型金属型

综合分型金属型的分型面有两个或两个以上,可以有水平分型面,也可以有垂直分型面,如图 1.7 所示。综合分型金属型的工艺性机动余地大,可生产较复杂的零件,既有垂直分型的优点,又克服了水平分型之不足,缺点是制作较为复杂。大多数铸件都可以应用综合分型金属型这一种结构。

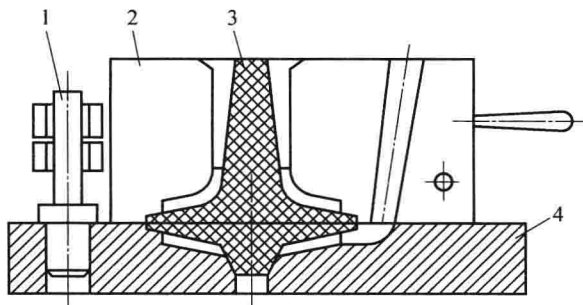


图 1.7 综合分型金属型

1—轴;2—金属半型;3—砂芯;4—底板

1.2.2 金属型型腔的设计

型腔是金属型的主要工作部位,设计时主要考虑铸件的分型面、型腔尺寸、型腔边缘与金属型边缘之间的距离及壁厚等。

1. 铸件分型面的选择

选择铸件分型面的原则是:

- ①力求简化金属型结构,少用或不用活块,以减少加工量,降低金属型成本;
- ②便于设置浇冒口系统,以及安放并稳固型芯,便于取出铸件,容易实现机械化、自动

化操作,以减轻工人劳动强度,改善劳动条件;

③在金属型上设置顶出铸件机构时,要考虑开型时使铸件停留在装有顶出机构的半型内,应使铸件在这半型内有较大的接触面积或将斜度做得小一些(摩擦力大一些)。其他砂型铸件分型面的选择原则均适用于金属型。

2. 金属型型腔尺寸的确定

如图 1.8 所示,金属型型腔和型芯尺寸的确定主要根据铸件外形和内腔的名义尺寸,并考虑收缩及公差等因素的影响,计算公式如下

$$A_x = (A + A\varepsilon + 2\delta) \pm \Delta A_x \quad (1.1)$$

$$D_x = (D + D\varepsilon - 2\delta) \pm \Delta D_x \quad (1.2)$$

式中 A_x 、 D_x ——型腔和型芯尺寸;

A 、 D ——铸件外形和内孔的名义尺寸;

ε ——铸件材料的线收缩率,见表 1.3;

δ ——涂料层厚度(一般取 0.1~0.3 mm,型腔凹处取上限,凸处取下限);

ΔA_x 、 ΔD_x ——金属型加工公差,可查有关手册。

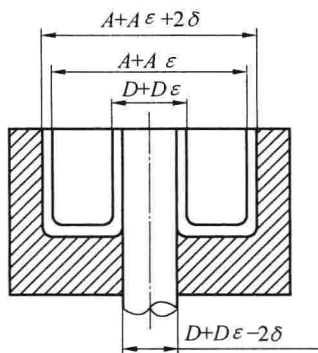


图 1.8 金属型型腔和型芯尺寸的确定

金属型铸造时几种合金的线收缩率见表 1.3。必须指出,由于合金线收缩率的因素多而复杂,主要影响因素为合金的种类,铸件的结构形状,铸型的工作温度,热膨胀以及铸件的出型温度等。

表 1.3 金属型铸造时几种合金的线收缩率

合金种类	铝硅合金、铝铜合金	锡青铜	铸铁	铸钢	硅黄铜
线收缩率 $\varepsilon/\%$	0.6~0.8	1.3~1.5	0.8~1.0	1.5~2.0	2.2

3. 金属型的壁厚

金属型的壁厚如果过大,会增加铸型重量,操作笨拙,没有必要;如果壁厚过薄,铸型温度不均,易因应力而变形,减短寿命。壁厚的确定与材质有关,且受铸件材质、壁厚、金属型轮廓尺寸及毛坯加工方法的影响,故至今无可靠而简便的方法来确定不同条件下最适合的金属型壁厚,表 1.4~表 1.8 为金属型壁厚的经验数据。

表 1.4 铸铁件金属型壁厚

铸件壁厚/mm	灰铸铁件金属型壁厚/mm	可锻铸铁件金属型壁厚/mm
<10	20 ~ 25	20 ~ 30
10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40
>20	30 ~ 40	40 ~ 50

注:①铸铁件金属型壁厚可用公式 $\delta_{型}=13+0.6\delta_{件}$ 计算,此公式对于小件合适,对于大件则计算结果偏小;
②球墨铸铁件金属型壁厚一般可按公式 $\delta_{型}=(1\sim2)\delta_{件}$ 计算。

表 1.5 铸钢件金属型壁厚

铸件壁厚/mm	金属型壁厚/mm
<20	20
20 ~ 50	20 ~ 40
>50	$0.8\delta_{件}$

注:高锰钢铸件用金属型壁厚,常采用 $\delta_{型}=(1\sim1.5)\delta_{件}$ 。

表 1.6 铝合金铸件金属型壁厚

铸件壁厚/mm	金属型壁厚/mm
<10	15 ~ 20
10 ~ 15	20 ~ 25
15 ~ 30	25 ~ 30
>30	$(0.8\sim1.2)\delta_{件}$

注:①对于薄壁大型铸件,采用厚壁金属型时,可按公式 $\delta_{型}=(2.5\sim3)\delta_{件}$ 计算;
②轻合金常用金属型壁厚为 20 ~ 25 mm;
③金属型最小壁厚一般不小于 15 mm;
④锻造钢质金属型壁厚可达 40 ~ 50 mm。

表 1.7 铜合金铸件金属型壁厚

铸件壁厚/mm	金属型壁厚/mm
<10	10 ~ 15
10 ~ 15	15 ~ 20
15 ~ 20	20 ~ 25
20 ~ 30	25 ~ 30
>30	$(0.8\sim1.2)\delta_{件}$

表 1.8 根据分型轮廓尺寸(平均值)确定金属型壁厚

分型面平均尺寸/mm	金属型壁厚/mm
<130	15
130 ~ 175	16
175 ~ 200	18
200 ~ 500	25
>500	30

注:分型面平均尺寸 S 按 $S=(H+L)/2$ 计算,式中 H 、 L 分别表示分型面的长和宽。

4. 分型面上型之间及型腔与金属型边缘之间距离的确定

浇注时为了防止液体金属通过分型面的缝隙溢出,同时也为了保证直浇道有足够的高度以防止局部过热,设计金属型时,要对分型面上的尺寸进行限制,其最小限度可参考表 1.9。

表 1.9 分型面上的主要尺寸

分型面上尺寸名称		参考数据/mm
铸件表面到金属型边缘的距离		25 ~ 30
在同一铸型中布置多个铸件时,铸件之间应有的间隔	小件	10 ~ 20
	一般件	>30
直浇口至铸件间的距离		一般取 10 ~ 25
内浇道长度		一般取 8 ~ 12
金属型边缘(垂直分型时)至铸件(或浇道)的距离		一般取 30 ~ 50
直浇道高度应比铸件上缘高出		一般取 40 ~ 60
定位销孔表面至铸型边缘距离		>10
分型面上用于撬开金属型的凹槽		尺寸如图 1.9 所示

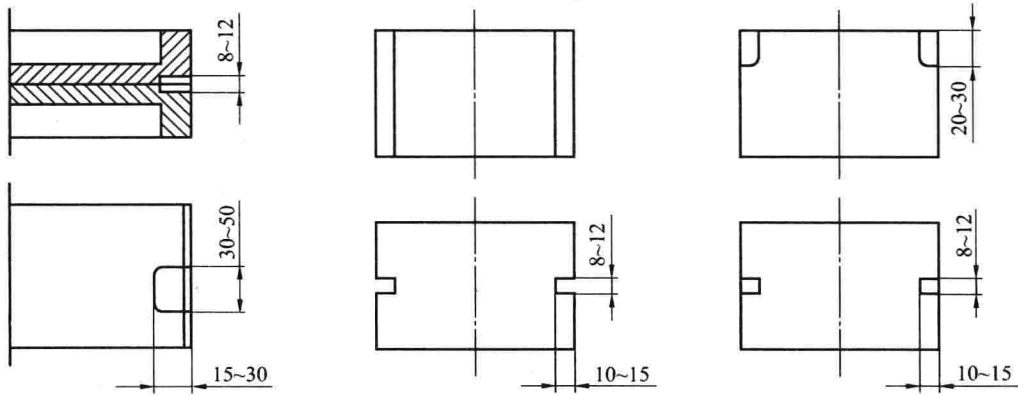


图 1.9 撬开金属型的凹槽尺寸

1.2.3 金属型芯的设计

设计金属型芯时,可使用金属芯或砂芯或两者同时兼用,一般情况下,应尽量使用金属芯,避免使用砂芯。因为金属芯有很多优点,如:

- ①生产率高,使用操作方便;
- ②尺寸稳定,表面粗糙度低,减少零件加工余量,节省金属;
- ③加速铸件冷却,铸件结晶组织细密、均匀,有助于提高铸件的力学性能,减少形成部分铸件缺陷的可能;
- ④便于抽芯机械化自动化,便于组织生产,缩短生产周期;
- ⑤避免由于制造砂芯而需要的相应设备及工装,节省车间占地面积等。

1. 金属型芯的设计原则

金属型芯的设计原则是: