

航空仪表、电气零件

特 种 工 艺

北京航空学院三系

一九七六年七月

前 言

本教材是为航空机械、电气类专业编写的零件工艺学，是零件机械加工工艺学的继续，适用于航空仪表、电机及电器专业。

为了结合典型产品进行教学的需要，在工厂生产的条件下，通过参观、现场教学及自学等教学方式，使学员掌握各种零件加工工艺基本知识，满足产品设计、试制的需要。通过教学及实践为以后的工作打下一个良好的工艺基础。

本教材内容包括：特种铸造工艺、焊接工艺、冲压工艺、塑料制件工艺、粉末冶金工艺及表面处理六部分*。不同专业可以根据专业的需要有所侧重。

任何复杂的产品都是由最基本的部分——零件组成的。现代航空仪表、电机及电器，由于技术要求高，结构复杂，零件的数量相当多，因此，在设计产品时，有大量工作是零件的设计及制造工作。

在产品零件设计时，既要满足产品使用上的要求，同时也要满足工艺上的要求。这就要求设计人员具有较全面的工艺知识，能设计结构工艺性良好的零件，并参加试制生产，这就是设计人员要学习工艺的目的。所谓“结构工艺性”就是在一定的生产条件下，零件能否顺利地加工出来，并且要符合多快好省的原则。工艺与工艺性有什么关系呢？可以这样说，设计人员设计零件工艺性的好坏是反应了他对工艺掌握的程度，因此，要求掌握“工艺性”应把“工艺”作为基础。

工艺与设计是密切连系的。因为任何一个新产品问世，都需要经过各种工艺过程（毛坯加工、零件加工、装配调试等）才能完成。设计人员对零件所提出来的技术要求能否满足，都与工艺有连系。工艺与设计是相辅相成的，产品的技术要求高，相应地对工艺提出更为严格的要求，促使工艺方法的改进、提高工艺装备的精度去满足产品发展的需要；同时，新技术、新工艺的发展及应用又给产品设计提供了良好的条件。例如，激光技术的发展，使激光技术用于生产，如激光在硬质合金上打小孔、激光焊接及用激光作的测量仪器（精密测量）；电子束焊接设备对焊接真空弹性元件、陀螺空心转子等创造良好的条件；新型数控机床的出现对试制高精度产品，加工复杂、高精度零件提供有利条件。

但是过去受修正主义教育制度的影响，使有一些人重理论、轻实践，重设计、轻工艺，重书本知识、轻实践知识；好象搞设计高人一等，搞工艺是为设计人员服务的。因此造成了某些“埋头搞设计、工艺我不理”的设计人员。工厂的生产实践证明，一些新产品设计时，由于设计上不完善，结构工艺性差，在试制时造成人力、物力的浪费是相当巨大的，同时产品质量也上不去，使得试制周期拖得很长。毛主席教导我们：“人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来”。作为一个产品设计人员，应对零件的制造各种工艺方法、过程、工艺装备应有足够的了解，才能多快好省地完成设计试制任务。

* 表面处理部分主要介绍防腐原理，表面处理的种类及性能，选择表面处理的原则，而不介绍表面处理工艺本身。

零件的加工方法是多种多样的，就以零件的毛坯加工来说，可以采用铸造、热冲压、冷挤压、和粉末冶金工艺等等。但选择哪一种方法合适，这一点在设计零件时就要确定；并且应充分比较，考虑满足产品性能要求外，还要注意生产率及经济性等因素。如果选定了某一种加工方法，则设计的零件结构就要与这种加工方法相协调（适应这种加工方法的需要）。例如设计铸件，如果考虑采用压力铸造的方法，则铸件的壁厚、出模斜度、圆角半径及铸造合金等都要与压力铸造方法相适应。在一定条件下，零件的结构受工艺的影响极大。

工艺学来自生产实践，是生产实践的总结，用来为生产服务。本教材除介绍工艺过程、工艺参数及工艺装备外，还介绍一些结构工艺参数及设计数据，这些数据是从工艺性方面来考虑的，用于零件结构设计（它不涉及到零件的功用、精度、强度及刚度），可以作为设计的参考。事物是不断发展的，这些参数及数据不是一成不变的东西，随着生产的发展将发生相应的变化。

在编写本教材时，在部属有关工厂（105、125、171、232、212、221等）的领导、工人师傅及技术人员的大力支持及热情帮助下进行的，并取得上海仪表局所属的有关工厂的帮助，对完成本教材编写提供必要的资料及教学实物，在此表示感谢。

编写小组

一九七五年十月

目 錄

第一部分 特种鑄造工艺

概 述.....	1
第一章 冶金基础知识	
§ 1. 合金的熔炼.....	5
§ 2. 铸型的充填及铸件的冷凝.....	6
§ 3. 铸件的收缩.....	7
第二章 金属型铸造工艺	
§ 1. 金属型的构造.....	11
§ 2. 金属型铸造的优点及应用范围.....	13
第三章 熔模铸造工艺	
§ 1. 熔模铸造的工艺过程.....	14
§ 2. 熔模铸造的优缺点及应用.....	16
第四章 压力铸造工艺	
§ 1. 压铸机工作情况.....	19
§ 2. 压力铸造的优缺点及应用.....	20
§ 3. 压铸模的构造.....	23
第五章 铸件设计	
§ 1. 铸件设计的基本顺序及原则.....	29
§ 2. 铸造方法的选择.....	32
§ 3. 铸件的基本结构要素.....	33
§ 4. 铸件结构分析与设计实例.....	46

第二部分 焊接工艺

概 述.....	58
第一章 熔化焊	
§ 1. 气 焊.....	61

§2. 手工电弧焊.....	63
§3. 氩弧焊.....	66
§4. 等离子弧焊接与真空电子束焊接.....	69
§5. 熔化焊的接头设计.....	72
第二章 加压焊接	
§1. 接触焊的基本原理.....	75
§2. 点焊过程.....	77
§3. 点焊的主要工艺参数.....	78
§4. 点焊机原理.....	80
§5. 点焊、滚焊在航空仪表与电机、电器产品中的应用.....	81
§6. 点焊件设计的一些问题.....	82
§7. 其他加压焊接的介绍.....	86
第三章 钎 接	
§1. 钎接的特点.....	88
§2. 钎接过程.....	88
§3. 钎 料.....	89
§4. 钎 剂.....	95
§5. 钎接方法.....	97
§6. 钎接的接头型式.....	101
第四章 金属材料的焊接性及结构设计的几个问题	
§1. 金属的焊接性.....	104
§2. 焊接结构设计的几个问题.....	106

第三部分 冲 压 工 艺

概 述	110
第一章 冲裁与冲裁件设计	
§1. 冲 裁.....	112
§2. 整 修.....	114
§3. 光洁冲裁与精密冲裁*	116
§4. 冲裁模结构.....	119
§5. 冲裁件结构设计.....	123
第二章 弯曲与弯曲件设计	
§1. 弯 曲.....	134
§2. 弯曲件的结构设计.....	137

第三章 拉伸与拉伸件设计

§ 1. 拉 伸	148
§ 2. 拉伸件结构设计	155
§ 3. 翻边与起伏	158

第四章 冷挤压与冷压件设计

§ 1. 冷挤压基本概念	161
§ 2. 冷挤压工艺过程	166
§ 3. 冷挤压件结构设计	168

第五章 热冲压

174

第四部分 塑料制件工艺

第一章 塑 料

§ 1. 塑料的组成、分类及基本性质	178
§ 2. 塑料在航空上的应用	180
§ 3. 常用的几种塑料简介及选用	183

第二章 塑料制件的成型工艺

§ 1. 热固性塑料压制工艺	190
§ 2. 热固性塑料的注射成型工艺	193
§ 3. 热塑性塑料注射工艺	194
§ 4. 模具结构(压制模)	195

第三章 塑料制件的结构要素及设计

§ 1. 塑料制件结构要素	198
§ 2. 塑料制件的尺寸精度及表面光洁度	209
§ 3. 设计塑料制件注意事项及设计实例	212

第五部分 粉末冶金工艺

概述	117
----	-----

第一章 粉末冶金工艺过程

§ 1. 配料与混粉	221
§ 2. 压 制(成型)	222
§ 3. 烧 结	224
§ 4. 后处理	227

第二章	压坯密度分布与压制方式及模具结构的关系	230
第三章	粉末冶金零件的结构分析与设计	
§ 1.	粉末冶金零件结构分析	233
§ 2.	粉末冶金工艺过程与零件的尺寸精度关系	236
§ 3.	实 例	238

第六部分 金属的表面保护

第一章	原电池与电化腐蚀	
§ 1.	电极电位与电化序	241
§ 2.	腐蚀原电池与电化腐蚀	242
第二章	金属的表面保护	
§ 1.	防止金属腐蚀的方法	245
§ 2.	金属的电镀工艺过程	245
§ 3.	阳极镀层与阴极镀层	247
§ 4.	铝及其合金的氧化处理	249
§ 5.	黑色金属的氧化和磷化处理	251
第三章	镀层的选择与标注	
§ 1.	一般选择原则与注意事项	252
§ 2.	介绍几种常用镀层和氧化膜的性能及用途	253
§ 3.	镀层的标注	258
第四章	油漆防护层	
§ 1.	油漆的基本知识	262
§ 2.	常用的几种油漆简介	264
§ 3.	油漆的选用及标注	266

第一部分 特种鑄造工藝

概 述

鑄造是一種金屬熱加工方法。它的實質是將熔化的金屬液澆入鑄型，經過凝固、冷卻和清理後，獲得所需要的鑄件。

特种鑄造是相對於砂型鑄造而言的。在航空儀表、電機及電器製造中，特种鑄造主要有下列幾種：

1. 金屬型鑄造（也叫硬模鑄造）；
2. 壓力鑄造（也叫壓鑄）；
3. 熔模鑄造（也叫精密鑄造）；
4. 離心鑄造；
5. 低壓鑄造。

“有比較才能鑒別。有鑒別，有鬥爭，才能發展”。特种鑄造是在砂型鑄造的基礎上隨着生產的發展而發展起來的。為了全面地了解及比較，對砂型鑄造手工造型也作一般的了解*。這裡將一個壳体鑄件作為例子，說明手工造型砂型鑄造的工藝過程。

一、砂型鑄造手工造型工藝過程（圖1-1）

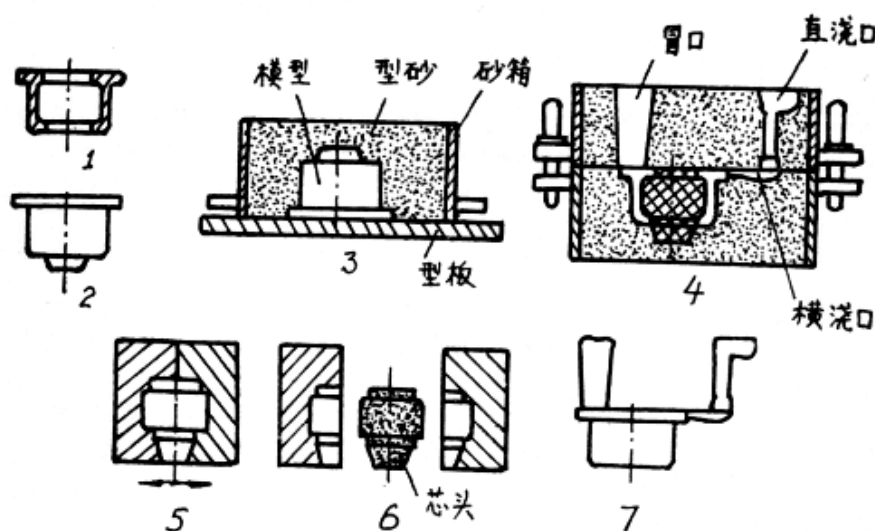


圖 1-1

- 1—鑄件；2—模型（木模）；3—下砂箱造型；4—完整合箱的砂型；
5—芯盒；6—砂芯開盒情況；7—帶澆冒口的鑄件。

* 砂型鑄造也有採用機器造型，整個造型過程都用機器進行。勞動強度低，產量高，適於大批生產。

1. 根据铸件形状和尺寸制造模型（造型用）及芯盒（做砂芯用）。

砂芯在型腔中要得到定位和支持，在模型及砂芯上要多做一个凸出的芯头。在模型尺寸上还要考虑到液态金属在凝固、冷却时要收缩，因此它要比铸件相应的尺寸上加大一个收缩量（不同金属收缩量不同）。为了使模型容易从砂型中取出，在出模的方向做成一定的锥度，叫做拔模斜度。模型一般用木材制造，所以也叫“木模”；批量大时因木模容易损坏，采用铝合金制成（实型铸造时用塑料做模型）。

2. 根据铸件大小及合金的性质来配制型砂及芯砂。

3. 用模型和型砂在砂箱中造型（也叫翻砂）。上下砂箱之间的面叫分型面。在此同时，在砂箱中做出浇口及冒口。浇口是把液态金属导入铸型型腔的通道，它分直浇口、横浇口及内浇口。冒口主要是供铸件凝固过程中收缩时补充液体金属用，同时也起排气作用。

用芯盒制砂芯，烘干使之有一定强度。

4. 将砂芯装入砂型中，装上上砂箱，即可浇铸。

5. 浇铸冷却后，落砂取出铸件，切除浇冒口，进行吹砂、热处理及检验等工序，合格的即是成品铸件。

从上述工艺过程可以看出：手工造型是一种比较原始的造型方法，虽然有设备简单、投资少、方法灵活等优点，但砂型铸造造型劳动强度大，砂型也仅能使用一次，产量低。由于铸造用砂粒度较粗，在拔模时要敲打木模，铸件的表面光洁度及尺寸精度也不高，手工操作，要求工人熟练程度高。因此，在航空仪表、电机及电器工厂中，手工造型的砂型铸造主要用于新品试制生产，或者生产一些批量不大的大型底座、机壳、箱体零件（砂型铸造在上述工厂主要用于制造试验设备、工艺装备、机修及技术革新的设备上）。

二、特种铸造的特点

与砂型铸造相比较，特种铸造一般有下列特点：

1. 铸件尺寸精度高，表面光洁度高。因此可以减少甚至完全省去机械加工；
2. 提高铸件的机械性能；
3. 可以节省液体金属消耗；
4. 成品率提高；
5. 改善劳动条件，简化操作；
6. 节省辅助面积和生产面积；
7. 提高劳动生产率，降低生产成本（对大批生产而言）。

“事物都是一分为二的”。特种铸造虽然有上述显著优点，但是它也有缺点：

1. 特种铸造需要专门的设备和工艺装备，使一次投资较大。当铸件批量不大时，设备利用率不高；

2. 生产准备时间长（设计、制造模具）；

3. 适合于成批生产或大量生产，当批量小品种多时，铸件成本较高。

在航空仪表、电机及电器制造中，应用最广的是压力铸造，约占铸件的70~80%；其次是熔模铸造，约占铸件的10~15%左右；金属型铸造约占5%左右，而离心铸造一般仅用于鼠笼转子及陀螺马达惯性盘（目前有用压铸来代替离心浇注鼠笼短路环），一般仅数种而已。壳型铸造及低压铸造，目前在仪表、电机及电器厂用的还不多，此处也不再介绍。

在航空仪表、电机及电器制造中主要采用压铸的原因是，产品中要求铸件重量轻，铸件

材料主要是铝合金；铸件结构复杂，精度与光洁度要求高，结构尺寸又不大，采用压力铸造是十分适应的。在陀螺仪表中马达壳及盖、框架等零件，在膜盒仪表中机构架及支架零件，微电机的壳体及端盖电器中的底座等零件都是压铸的典型零件。

在这部分就以压铸为重点。

三、铸造合金简介

在航空仪表、电机及电气制造中，铸造材料主要是铝合金、铜合金及黑色金属。

在仪表、微电机中，用的最多的铝合金是铝硅合金(其中还含一些镁、锰或铜等元素)。根据不同的成分有不同的性能，适合于不同的用途及铸造方法。例如 ZL7 铸造性能良好，为压力铸造的主要材料。ZL14 是铝硅铜合金，铸造性能稍差，但切削性能好，用于精密铸造和金属型铸造。ZL16 是适合压力铸造的高强度铝合金。

常用的铜合金为黄铜 (HPb 59—1)、硅黄铜 (HSi80—3)、青铜 (硅青铜 QSi3—1)、铝青铜 (QAl9—4) 等。它们主要用于熔模铸造及硬模铸造。

常用的黑色金属有碳钢、硬磁材料(铝镍钴系)、不锈钢(2Cr13、4Cr13、35CrMnSiA 等)。它们适用于熔模铸造。

不同的铸造方法对铸造合金提出不同要求，这要求在设计铸件时，根据不同的铸造方法，选择合适的铸造合金(查阅有关材料手册)。

四、铸造工艺的发展情况

随着工业的发展，铸造生产也有很大的发展。这主要体现在下面几方面：

1. 各种新的铸造方法的发展

近年来发展了不少新的铸造方法，如挤压铸造、实型铸造、磁型铸造、陶瓷型精密铸造等；

2. 铸造设备的改进

与新的铸造方法相适应，生产了各种铸造设备，它们共同的特点是机械化、自动化程度高；有一些设备采用了电子技术可以精确地控制工艺参数，并配合机械手等其它设备组成生产流水线；

3. 新的铸造合金的研究及应用

铸造合金品种越来越多，如最近研究及应用的高强度压铸用铝合金，可以用于受力较大的结构件；

4. 铸造工艺的研究及推广

为了提高铸件质量，研究了各种新工艺。在压铸方面为了提高压铸件质量及强度，目前采用充氧压铸，可以获得无气孔的铸件，并且可以采用热处理工艺以提高其强度。最近黑色金属压铸的研究也取得一定的成果，并试压一些零件取得成功，模具寿命已达一万件左右。

近几年来在推广少切削、无切削工艺中，采用精密铸造及压力铸造工艺来代替一些原来采用砂型铸造、硬模铸造、锻造、棒料、管料的毛坯取得很大的成绩，改掉了“肥头大耳”的毛坯。这对节省金属材料、节省人力、电力、减轻机床负荷是有很大意义的。例如某电机的端盖毛坯原采用锻造，其重量为18公斤，经机械加工后零件仅重2公斤；采用精密铸造后毛坯重量为4公斤。例如图1—2所示的扇形齿轮，可以直接采用棒料为毛坯，也可以采用热

冲压来作毛坯，但采用精密铸造最合适。虽然采用精密铸造提高毛坯的成本，但由于精密铸造省料、省工，这样使得最终降低了零件的成本，并且提高了生产率。

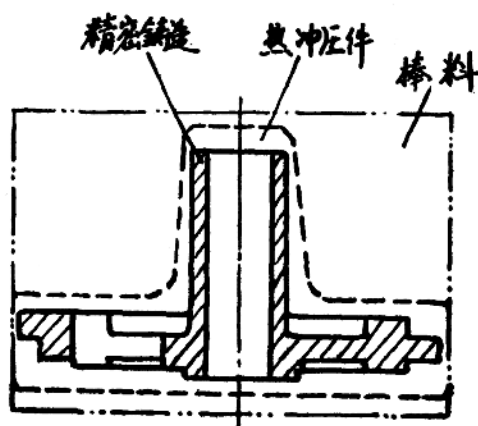


图1—2 扇形齿轮（硅青铜）

第一章 冶金基礎知識

铸造过程是：熔炼、充模铸型、凝固和冷却。铸件的质量是与熔炼等过程有关的，要保证铸件的质量，必须了解这些过程中一些本质性的东西。

§ 1. 合金的熔炼

熔炼的任务是获得符合一定要求的液态合金，即要求合金的化学成分准确且均匀，夹杂物含量少，并且有一定的过热度。

合金的化学成分是获得优质铸件的先决条件。化学成分不准确，铸件报废。所以每次熔炼时浇试样做化学分析。

合金在熔炼过程中所吸收的气体 and 受氧化而形成的氧化夹杂物。它使合金的性能降低，在熔炼过程中要设法除去它。

合金的过热度是指在熔炼时将合金加热到高于熔化温度的程度。过热的目的是增加流动性，但过高的过热度会使合金氧化、吸气加剧，或结晶粗大造成不良后果。

一、铝合金的吸气及除气

铝合金在熔化状态极易吸收气体，所吸收的气体主要是氢气。氢气的来源是水汽以及在炉料、熔剂、坩埚、浇包等工具上的水分或吸附的水气。它们在高温时便分解出氢气。合金的熔炼温度愈高，吸收的气体也愈多，这个关系如图1—3所示。但是这个关系是可逆的，待合金温度下降时，则溶解度降低，此时，气体便从合金液中析出。气体原来溶解在合金中是呈原子状态的，对合金的性能没有什么影响；而氢气成分子状态析出时，在合金中形成气孔。若气孔很小，分布较分散，也称作针孔。气孔与针孔将降低铸件的性能。

在铸铝合金中，形成气孔的倾向较大，故铝合金铸件气孔问题就较严重。一般在熔炼后期用氯盐来除气。常用的氯盐是氯化锌 ($ZnCl_2$)、氯化锰 ($MnCl_2$) 等，它们的反应式是

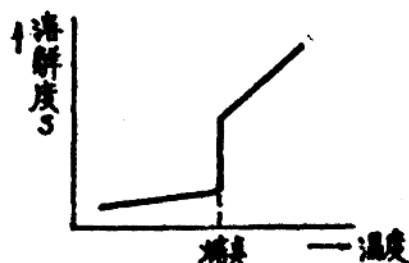
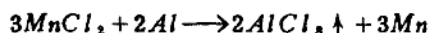
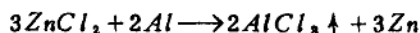


图1—3 铝中气体溶解度和加热温度间的关系

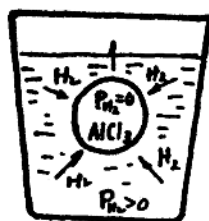


图1—4 铝合金中氯盐除气原理图

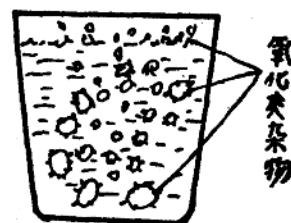


图1—5 去除氧化物原理图

在熔化的铝合金中加入氟盐后产生大量的气泡 ($AlCl_3$)，由于这些气泡中无氢分子，故金属液中的氢气不断地向气泡中扩散，如图1—4所示。当气泡受液体合金的浮力上浮而逸出时，氢气便同时带出。

在除气的同时，大量的气泡在液体中搅动，铝合金的悬浮氧化物（比重与液态铝合金相近）吸附在气泡上面而被带出液面，如图1—5所示。这过程也称为精炼。

二、铝合金的变质处理

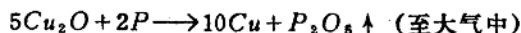
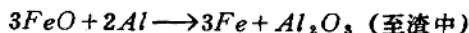
铝合金有时要求变质处理，其目的是细化晶粒，提高铸件的机械强度及塑性。

变质处理在除气精炼之后进行，在合金表面上撒上一层为合金重量1—2%的变质剂。变质剂一般由氟化钠 (NaF) 及氯化钠 ($NaCl$) 等钠盐组成，这些钠盐在与熔化的铝合金接触时，将产生反应而使析出钠，钠质点在液体金属中形成晶核，在结晶时使晶粒细化。变质处理后应在20~40分钟内浇注完毕，以免钠烧尽而失去变质的效果。

三、防止氧化及脱氧

铝与空气中氧接触后形成一层致密的氧化层，它可以防止铝不继续氧化，所以熔炼铝合金时其表面不用复盖剂保护。在钢与铜合金熔炼时需要用复盖剂以防止液面氧化。复盖剂的作用是熔化后浮在金属液表面，使金属液面不与空气接触。对于铜合金常用碎玻璃、硼砂等作复盖剂，对于钢除了碎玻璃外，一般还加石灰石、萤石、石英砂等。

钢与铜合金熔炼温度高，容易氧化。它们的脱氧方法是还原剂将氧化物中的金属元素还原出来，而氧与还原剂中的金属化合成不溶于金属的化合物或气体排出金属液。如钢的脱氧常用的还原剂为铝、硅铁和锰铁；而铜的还原剂用磷铜。它们的反应式如下：



§ 2. 鑄型的充填及鑄件的冷凝

一、铸型的充填

液态合金在熔炼完毕后进行充填铸型（一般叫浇注），合金便在型腔中不断流动，同时温度也不断地在降低。若在型腔充满之前，最先注入的金属液已经开始凝固，这样在铸件上形成“浇不足”（欠铸）的缺陷；如果铸件的几股合金流已经汇合，但因温度过低没有熔合在一起而形成“冷隔缝”的缺陷。欠铸及冷隔都使铸件报废。

对于薄壁的复杂铸件，就需要采用不同的措施或采用不同的铸造方法来保证铸型的充填：

1. 选择流动性好的合金。不同成分的合金其流动性是不同的。如含硅的铸铝合金ZL7就比ZL14的流动性好。
2. 改善浇注条件。如提高合金的浇注温度，增加流动性；改进浇注系统；开几个浇口同时浇注；增大浇注压力，使金属液在型腔内高速流动（如压铸）；将铸型加热，以降低冷却速度（如熔模铸造）。

二、铸件的凝固

铸件在凝固过程中会发生结晶、偏析、体积收缩，并析出气体。

1. 铸件的结晶

金属结晶过程中首先产生晶核，随着温度下降，晶核以树枝状生长起来，与此同时又产生新的晶核。当树枝状结晶生长到彼此接触后，便产生了晶粒。在冷却到室温后，若打断铸件，便可以从断口上看到排列密致很细小的结晶颗粒，如图1—6所示。

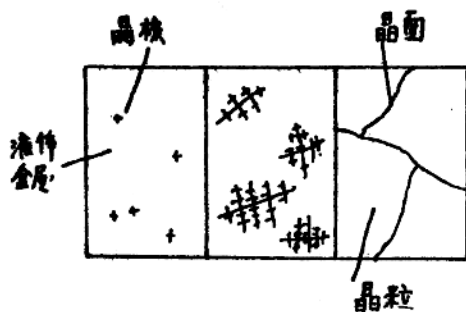


图1—6 合金结晶过程示意图

铸件晶粒大小对机械性能影响很大，细晶粒的铸件强度较高，延伸率及冲击韧性也好；相反，晶粒粗时上述性能都差。

在凝固时采取一些措施可使铸件获得细结晶，这些方法是：

1) 提高铸件的冷却速度。合金的冷却速度大，使合金的晶核数量多，故晶粒细小。例如采用金属型铸比砂型铸的晶粒细了很多。

2) 使合金在动态下结晶。在结晶过程中不断受到内部液态金属的冲击，使树枝晶成长困难，并不断地被冲碎。这些碎晶又在合金中形成了结晶核心，如压力铸造、离心铸造在高压和离心力作用下使形成细晶。

2. 铸件中的偏析

铸件中合金是由两种或多种元素组成，如果铸件中出现化学成分不均匀的现象称为偏析。偏析的存在会影响铸件的机械性能及其它物理性能。消除偏析的方法主要是在浇注前搅拌，并使快速冷却。

§ 3. 铸件的收缩

铸件在冷却过程中要收缩，铸件的收缩是影响铸件质量的重要问题。铸件在凝固和冷却过程中会发生体积收缩和直线尺寸收缩。金属处于液态时的收缩，主要表现为体积收缩，这种收缩的结果会在铸件中形成缩孔和缩松。金属处于固态时的收缩主要表现为直线收缩。这种收缩的结果会使铸件形成应力、变形和产生裂纹。

一、缩孔与缩松

铸件的凝固顺序是外层首先凝固，以后逐层由外向内发展。在按这种顺序凝固的同时，金属还发生体积收缩，即每一层已凝固的固态金属要比原来的液态时体积小一些。这样在形

成每一固体层后，铸件的液面在重力作用下便下降了一些（见图 1—7b），铸件在逐渐凝固完了以后，在中心处形成一个呈锥形的空洞，这就是缩孔（图 1—7c）。若铸件四周都接触型壁时，又没有足够的金属液补充，缩孔就在铸件中了，见图 1—7d。

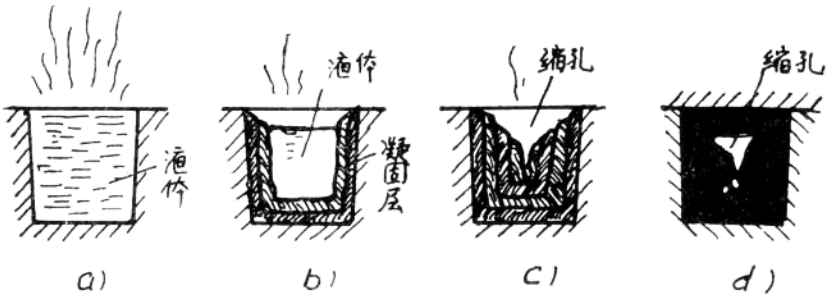


图1—7 缩孔形成示意图

缩松是在铸件断面上分散存在的微小缩孔。铸件在形成缩松后也会降低强度，但影响较缩孔为小，此外还降低了铸件的气密性和抗蚀性。

收缩是金属的本性，要在铸件中消除缩孔或缩松要采取一些措施。这些措施在铸件设计及浇注系统设计中就应很好考虑。常用的办法是：

1. 设置冒口，并进行顺序凝固

冒口的作用是在铸件凝固收缩的过程中，补充铸件收缩所需要的液态金属，使缩孔不发生在铸件内而转移到冒口中（如图 1—8 所示），冒口最后切掉。冒口应设置于铸件上可能产生缩孔的地方（通常设置在铸件厚大的地方和铸件上方）。采用内切圆法可大致确定缩孔的位置，其直径大者含热量较大，也即最后凝固处（如图 1—9a 所示）。将冒口设在这些地方或附近，即可消除该处的缩孔。

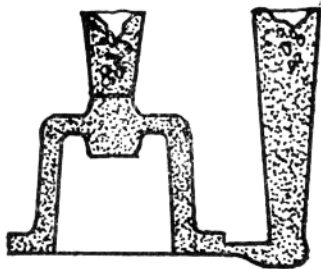


图 1—8

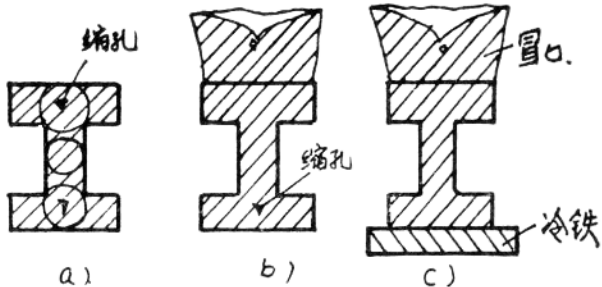


图1—9 防止缩孔方法示意图

然而单纯设置冒口仅能对简单形状的铸件的局部地方防止产生缩孔，对于形状复杂的铸件很难完全防止。如图 1—9b 所示的铸件可能在两处产生缩孔，在上面部分可以设置冒口来消除缩孔，而下面部分因中间先凝固无法补缩而造成缩孔。因此在铸件上防止缩孔的另一条件是，使铸件顺序冷却。所谓顺序冷却就是铸件离开冒口最远处先凝固，顺序地凝固向冒口，此时先凝固的地方能得到液体补缩，冒口最后凝固，则缩孔会集中在冒口中。

为了保证铸件的顺序凝固，必须控制各部分的冷却速度。如图 1—9a 中的铸件，在底部

安放冷铁(传热快),铸件的凝固便会从下面开始,逐渐凝固冒口而消除缩孔(图1—9c)。

在设计铸件时,设计成薄壁、均匀的结构是消除缩孔的另一个有效办法。这样有可能使铸件在差不多时间内同时凝固。由于铸件壁薄金属液少,而且各处都是同时凝固,所以各部分都互不给予补缩,又因无厚大的金属积聚处,铸件中便不会有集中的缩孔,只是在壁中间有极轻微的缩松,甚至可能没有缩松。这种缩松对屈服强度影响不大,而延伸率有降低。

在设计受力不大的铸件时,采用薄壁铸件来消除缩孔是主要的办法。

二、铸件的裂纹及铸造应力

铸件的线收缩是从凝固温度前就开始了,直到铸件冷却到室温为止。在这段过程中铸件的收缩如果受到某种阻力(如型芯的阻力),而这阻力超过当时的强度极限时,在铸件中会出现裂纹。在结晶后期的温度范围内,合金的强度是很脆弱的,不大的铸造应力就足以超过合金热态的强度极限使产生裂纹,称之为热裂纹。热裂纹经常产生于铸件厚大截面处,因为此处最后凝固(如图1—10A所示)。

铸件各处(同一断面的内外层和不同断面的厚薄之间)由于收缩量不相同造成的不均匀收缩而引起的热应力(即温差应力)在铸件完全冷却也不消失,这在铸件中出现残余应力。分布不对称的残余应力导致铸件在冷却过程中产生变形,而对称分布的残余应力在切削加工后破坏应力的平衡可能产生变形。残余应力较大时,在铸件清理或粗加工时,不大的冲击力和轻微的载荷所造成的合成应力,这种应力一旦超过强度极限,便产生冷裂纹。

无论产生热裂纹或冷裂纹,铸件都报废。但是在铸件设计上采用薄壁均匀的结构,特别在两垂直壁交接处避免尖角可以消除强度上的弱点;并且尽可能选择热裂性小的合金进行铸造。在工艺上设法减小对铸件的收缩阻力。例如在金属型铸造时,尽快地拔除型芯,或采用压溃性良好的砂芯;在必要时在易热裂处加薄的防裂工艺筋以防止开裂(工艺筋在铸件冷却后加工掉)。

铸件的内应力和变形与铸件结构、形状、尺寸关系较大。如图1—11a所示槽形内应力试样,它由两根细杆及中间一根粗杆组成。在铸件冷却时,两根细杆尺寸小,凝固快,收缩量小;中间粗杆凝固慢,收缩量大,而使铸件变形,如图1—11b所示。可以很明显看出两根细

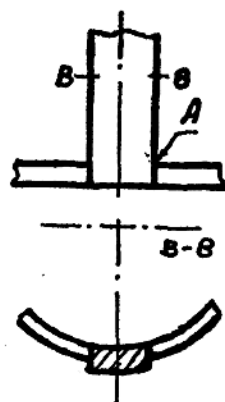


图 1—10

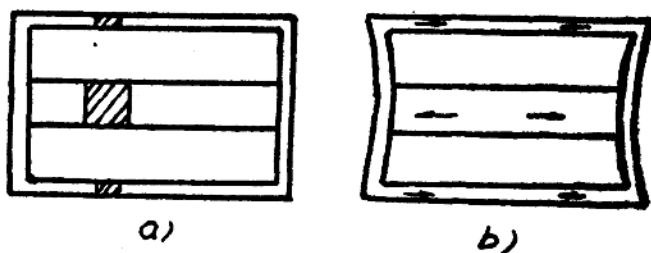


图1—11 槽形内应力试样

杆受压应力，中间粗杆受拉应力。若粗细杆相差大，而材料在热态强度不高，则在中间粗杆中产生热裂纹或断裂。

由此可知，若三杆设计得一样粗细，则可避免变形或热裂。

由上述分析可知，变形是由于收缩不均匀而产生的内应力造成的，因此在设计上应考虑到这因素。在某些情况下工艺上可以设防止变形的筋，如图 1—12 所示。一般为了铸件消除内应力，防止加工后变形，在铸件加工前进行退火处理或时效处理。如压铸的铝合金零件采用低温（ $-50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）及高温（ $290\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）的时效处理以消除铸件的内应力。

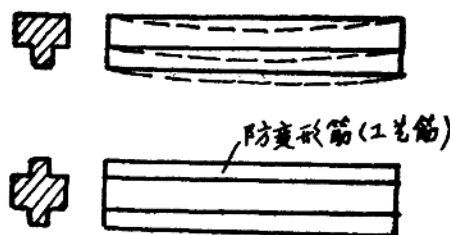


图 1—12

思考题

1. 设计铸件时设计成厚壁或壁厚不均匀时，有什么缺点？
2. 铸造过程中，冷却速度对铸件质量影响如何？
3. 铸件为什么会产生内应力？如何设法减少铸件内应力？
4. 在同一铸件上的各个部分的机械性能是不一样的，其原因何在？