

热加工工艺基础

(一)

陕西机械学院金工教研室

一九八七年

第一章 铸 造

铸造生产是将熔化好的金属液体浇注到预先制成的铸型空腔中，待其冷却凝固后，获得所需要的零件毛坯的工艺过程。这种用铸造方法生产的零件毛坯称作铸件。

铸造方法按铸型特点分为砂型铸造和特种铸造两大类。在砂型铸造中由于铸型型砂性质不同又可分为湿型铸造、干型铸造及表面干型铸造三种方法。在特种铸造中由于形成铸件条件不同又可分为熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造等方法。各种铸造方法在所用的铸型材料、造型工艺和浇注方法虽然各有不同，但其共同的工艺特点则是金属都要在液态下充满铸型，冷凝后形成铸件。所以，铸造生产的实质是一种金属液态成形的加工工艺方法。各种铸造方法依其工艺特点都有各自的适用范围，要根据铸件特点、技术条件、生产批量及经济性加以综合考虑，以确定选用哪种铸造方法进行生产。

铸造是机器制造中制造零件毛坯的主要方法，它和其他毛坯制造方法相比较具有以下特点：

(1) 铸造生产善长制造各种形状复杂，特别是具有复杂内腔的毛坯，如各种箱体、机床床身、机架、发动机缸体和缸盖等复杂机件。

(2) 铸造生产的适应性广。工业上常用的金属材料均可以用来进行铸造。特别是对于脆性材料，如应用很广的铸铁，只能用铸造方法制造毛坯；以能够生产的铸件范围而言，铸件重量可以从几克到数百吨；铸件壁厚可从0.5毫米到1米左右；长度可从几毫米到十几米，可以说铸造生产不受零件大小、形状和结构复杂程度的限制。

(3) 铸造生产成本低。由于铸造设备简单，材料来源广而低廉，生产费用低。虽然铸件重量在一般机器中占40~80%，但它的成本仅

占总成本的25~30%。

铸造生产也存在一些尚待解决的问题。如铸造生产的工序多、连贯性强，影响铸件质量的因素多而复杂。因此，铸件质量不易稳定，废品率一般较高。由于铸件是金属高温液态成形，故用同样材质制成的铸件比锻件的机械性能要低些。而且铸造生产目前劳动条件较差，亟待改善。

铸造生产是人类历史上最悠久的一种金属加工工艺技术。在现代工业中铸造生产占有极其重要的地位和作用。在机器制造中，用铸造方法生产零件或毛坯是非常广泛的。表1—1为各种类型的机器中使用铸件的相对重量情况。

表1—1 各类机器中铸件重量比

| 机 器 类 别 | 铸件百分数(%) |
|-------------|----------|
| 机床、内燃机、重型机器 | 70~90 |
| 风机、压缩机 | 60~80 |
| 拖 拉 机 | 50~70 |
| 农 业 机 械 | 40~70 |
| 汽 车 | 20~30 |

随着现代工业和科学技术的发展，新的铸造方法和技术不断涌现，如特种铸造的出现，使铸件表面质量精度有了很大提高，发展了少、无切削加工。砂型铸造也逐步实现机械化、流水线生产，使铸造的生产条件显著改善，生产率大大提高。铸造生产在国民经济中的作用日益扩大。

第一节 砂型铸造

以型砂作为铸型材料的铸造方法称为砂型铸造。在铸造生产中以砂型铸造的应用最为普遍，其生产的铸件约占80~90%以上。砂型铸造的生产工艺流程，如图1—1和图1—2所示。从图中可以看出生产一个铸件要经过很多工序，但归纳起来，铸造生产过程主要由铸型制备、合金熔炼和浇注、落砂与清理三个主要工艺环节组成。

图1—1 砂型铸造生产的工序流程

图1—2 铸件生产过程的图例

现就主要工序中的重要问题分述如下：

一、模型和芯盒

模型和芯盒是造型、制芯工艺过程中使用的工艺装备。模型是形

成铸型型腔的母模。它和铸件的外形相同，模型的尺寸要比实际铸件的略微大些，此加大的尺寸为收缩量。芯盒是用来制造型芯，型芯的外形相当于铸件内腔的形状。

制造模型和芯盒的材料种类很多，在单件小批生产时，广泛采用木材，故习惯上称作木模。在大批大量生产时，广泛采用金属材料，由于铝合金具有质轻、易加工和不易锈蚀等优点，故生产中采用较多。此外，还有用易熔合金、泡沫塑料、环氧树脂和石膏等制造模型和芯盒。

模型种类很多，按模型结构分有实体模、分开模、活块模、刮板模、骨架模等。

芯盒种类按其分型面和内腔来看，可分为正体式、拆开式和脱落式三种类型。如图 1—3 所示 (a)、(b) 是正体式芯盒，这种芯盒一般用来制造形状简单、高度较低和具有较大斜度的型芯。图中 (c)、(d)、(e)、(f) 几种是拆开式芯盒，是由两半或两半以上结构组成图中 (g) 为脱落式芯盒，由内外盒结构组成，这类芯盒广泛用来制造形状复杂的型芯。

图 1—3 芯盒结构型式。

模型和芯盒的结构形式可根据铸件形状、造型方法和生产批量来选择确定。

制造模型和芯盒有手工方法和机械加工两种方式。

二、造型材料

制造砂型和型芯的材料包括型砂、芯砂及涂料等统称为造型材料。通常生产一吨合格铸件约需要3—4吨造型材料，铸件废品中约有60%是由砂型缺陷造成的，其中气孔、夹砂、粘砂及裂纹等铸造缺陷的产生都与造型材料质量有关。因此，合理选用和配制造型材料对生产效率、生产成本、铸件质量和劳动条件都有重要意义。

(一)对型(芯)砂的性能要求

1.要具有一定的强度：砂型在外力作用下而不易破坏的性能称为强度。如果型砂强度不足时，会造成塌箱、冲砂和砂眼等缺陷。

2.要具有一定的透气性：型砂之间存在空隙，砂型具有通过气体的能力称为透气性。若型砂透气性差，则铸件内易产生气孔等缺陷。

3.要具有较高的耐火性：型砂在高温金属的作用下，不软化、不熔化及不粘附在铸件表面上的性能称为耐火性。如果型砂耐火性不足，则会引起铸件粘砂现象，使切削困难，严重时会造成废品。

4.要具有一定的退让性。型(芯)砂随着铸件的冷却收缩而相应压缩其体积的性能为退让性。若退让性差时，铸件收缩困难，使铸件产生较大内应力，引起铸件变形甚至产生裂纹的危险。

由于芯砂多置于铸型型腔内部，浇注后被高温金属所包围。因此，对芯砂的性能要求要比型砂高，而且还应具有有良好的溃散性便于清砂。型(芯)砂的上述性能可用各类型砂试验仪器进行测定。

(二)型砂的组成和配制

型(芯)砂主要由原砂、粘结剂和附加物所组成。根据型砂的性能要求,可将三部分材料按一定种类和配比,在专用设备上进行混搅处理而配制成。在型砂性能检验合格后便可应用。表1—2为常用型(芯)砂的成分与性能。

表1—2 粘土砂的成分及性能

(三) 型(芯)砂种类和应用

型(芯)砂由于使用的粘结剂不同而有许多种类。主要有粘土砂、水玻璃砂、油砂、双快水泥砂、树脂砂等。

1. 粘土砂: 是以粘土做粘结剂的型(芯)砂。其组成主要是由原砂(SiO_2)、粘结剂(普通粘土和膨润土)及水混合制成的。粘土经一定量的水湿润后,形成粘土胶体以薄膜形式复盖在砂粒表面,使型砂具有一定强度。有时为改善型砂的某些性能,还常加入一些煤粉、

木屑等附加物。

粘土砂广泛用于制造各种砂型和型芯。湿型砂应用粘结性较强的膨润土作粘结剂，用其制成湿型生产铸件，具有生产周期短、成本低的优点，主要用于中小型铸铁件和有色金属铸件。干型砂多用普通粘土做粘结剂，用它制成的铸型要经干燥后进行浇注，干型一般用于铸件质量要求较高的中型及大型铸铁件或者是铸钢件。此外，还有表面干型仅将砂型型腔表面烘干，常用来代替干型，生产较大型铸件。

根据浇注的合金种类不同又有铸铁件用砂、铸钢件用砂及有色金属件用砂等不同种类的型砂。

2.水玻璃砂：是用水玻璃作粘结剂的型（芯）砂。水玻璃砂不需要加热干燥硬化，它的硬化过程主要是化学反应的结果，目前化学硬化的方法有CO₂硬化法、流态自硬砂、硅铁粉自硬砂等。

水玻璃砂具有硬化快、周期短、提高铸型精度等优点，已广泛地应用于铸钢件生产中。但是水玻璃砂还存在易粘砂、出砂性差、旧砂回用困难等问题，因此应用受到一定限制。

3.油砂与合脂砂：是用各种植物油或合脂作粘结剂的型（芯）砂。用油砂或合脂砂制作各种型芯，其干强度高、退让性好、且容易出砂，但其湿强度低、价格高、需要烘干。故油砂和合脂砂仅适用于制作各类形状复杂的小型型芯，在中小批生产中应用较多。

4.树脂砂：采用合成树脂作粘结剂的型（芯）砂。使用树脂砂做型砂，硬化速度快，生产效率高，可以制做形状十分复杂的型芯，且型芯尺寸精度好，生产过程可以实现机械化自动化。目前国内铸造用粘结剂主要有酚醛树脂、尿醛树脂、糠醇树脂等。用树脂砂制做型砂的方法主要是壳芯法、热芯盒法、冷芯盒法等。树脂砂适宜大批大

量铸造生产中应用，如汽车、拖拉机行业等。

(四) 涂 料

铸造用涂料是为了提高铸件表面光洁度，防止型砂与高温金属相互作用而产生粘砂，在砂型和型芯表面常涂上一层涂料，如铸铁件撒石墨粉或刷石墨水，铸钢件涂石英粉涂料等。

三、造 型

造型是砂型铸造的重要工艺过程，是用模型在砂箱中制作砂型型腔的操作。造型时首先要考虑的问题是如何将模型从砂型中取出来，构成铸型的型腔，以便浇注形成铸件。

一个铸造砂型一般是由上砂型、下砂型、型芯和浇注系统等几部分组成。图 1—4 所示为铸型各部分名称。

按造型的手段可分为手工造型和机器造型两大类。要根据铸件的形状、大小和生产批量的不同进行选择。

(一) 手工造型

图 1—4 铸型装配图

手工造型方法很多，主要有整模造型、分开模造型、假箱或挖砂造型、活块造型、刮板造型、地坑造型等方法。各种造型方法在生产中都有其不同特点和适用范围。表 1—3 为常用的手工造型方法。

手工造型完全靠手工操作完成，难度大需要熟练的操作技能。手工造型具有操作灵活适应性强，生产准备时间短，模型成本低等优点。其不足之处是生产效率低、劳动强度大，铸件质量不易保证等。主要

表 1—3 常用几种手工造型方法的特点和应用范围

用于单件和小批量生产，以及重型铸件的生产。

(二) 机器造型

机器造型是使用专用设备(造型机)，将造型过程中的两项主要操作工序——紧实型砂和起模实现机械化。与造型机相配合再将输送型砂、填砂、运送和翻转砂箱过程实现机械化，便可以大大提高生产效率，改善劳动条件和提高铸件质量。由于机器造型需要专用砂箱、模板和辅助设备，所以适合于大批量生产。在现代化铸造车间还可以将造型、合箱、合金浇注、落砂等工序用输送带连结起来构成铸造生产流水线。图 1—5 所示为铸造生产流水线。

图 1—5 造型—浇注—落砂流水线

1. 紧砂方法与设备

目前绝大多数造型机是以压缩空气或液压为动力来紧实型砂的。造型机的紧砂方法有：压实、震压、抛砂和挤压等，其中以震压式应用最广。

(1) 震压式紧砂：震压紧砂方法是將砂箱放在机器的工作台上，填满型砂，先进行多次震击，在惯性力的作用下，使型砂获得初步紧实。震击終了后还需进行压实，以提高震击后砂箱上层型砂的紧实度。

震压紧砂机构原理如图 1—6 所示。

这种紧砂机构紧砂效果较好，且生产效率高，因此它是生产中、

小型铸件的基本方法。其缺点是噪音大。

此外，还有一种微震压实造型机。

它的特点是在压实的同时，产生高频率小振幅的微震，使型砂紧实。它比普通震压式造型机紧实型砂效率高，紧实度均匀、噪音小。

(2) 抛砂紧实 在制造大、中型铸件或大型型芯时，常用抛砂机抛砂紧实，如图 1—7 所示。这种方法是利用抛砂机机头上高速旋转的叶板，连续地将输送带运来的型砂在机头内初步紧实，并呈团状高速地抛入砂箱中作进一步紧实，同时完成砂箱内填砂。由于机头可以沿水平面运动，从而可以紧实尺寸很大的铸型，而且生产效率高，型砂紧实度均匀。

(3) 高压紧实 高压造型机一般是指压实比压超过 70 MN/m^2 的造型机。如高压微震多触头式造型机（如图 1—8）、无箱挤压式造型机（如图 1—9）等。这类造型机生产效率高，一般都同造型自动线配套使用，适合于大量生产时采用。

图 1—6 震压紧砂
机构示意图

图 1—7 抛砂机机头紧
实型砂示意图

图 1—8 多触头压实示意图

图 1—9 垂直分型无箱挤压造
型机构原理图

各类造型机的特点及应用范围，见表 1—4。

2. 起模方法

除抛砂机外，造型机一般都有起模机构，其动力多用压缩空气或液压。目前广泛应用的起模机构有顶箱式、翻转式和漏模式三种。

图 1-10~12 为三种起模方式的示意图。

图 1-10 顶箱起模示意图 图 1-11 翻转起模示意图 图 1-12 漏模起模示意图

3. 机器造型的工艺特点

在造型机上不能进行三箱造型，只适合采用模板进行两箱造型。为发挥造型机的效率，模型上应尽量避免活块，模型上个别凸台或凹坑，常用外型芯予以解决。机器造型用的砂箱都是与模板配套使用的专用砂箱，上下平面均经机械加工，并用定位销定位。生产小型铸件时，可采用脱箱造型。所用型砂多为单一砂，以提高造型机的使用效率。

(三) 型芯制造

型芯的主要作用是用来获得铸件的内腔，但有时也可作为铸件难以起模部分的局部铸型，而组芯造型则全部由型芯组成铸型。

为了提高型芯的性能，除改进型砂性能和进行烘干外，在造芯时

还要采取一些措施，如在型芯中加入型芯骨以提高型芯的强度和刚度等。大型芯骨多用铸铁制成，小的芯骨多用铁丝制成。为了使型芯内的气体在浇注时能顺利排出型外，型芯内必须做出通气孔或在芯内埋蜡线。大型型芯常在其中间填焦炭或炉渣，以使气体易于排出和提高其退让性。型芯制造示例如图 1—13 所示。

图 1—13 型芯的制造示例

造芯的方法决定于型芯的构造、尺寸及生产量。

应用芯盒造芯是最常用的一种方法，它可以造出形状复杂的型芯。为了降低型芯的制造成本，某些旋转体的型芯也可以利用刮板来制造。

在单件小批量生产时多用手工造芯；在大量生产时广泛应用机器造芯。常用的造芯机有震压造芯机和射芯机等，以射芯机（如图 1-14）

应用最广。震压造芯机多用于大中型、形状不太复杂的型芯，有时也可应用抛砂机制芯。

大多数型芯要烘干，烘干温度为 $175\sim 325^{\circ}\text{C}$ ，烘干设备多用烘干窑。

四、浇注系统

为了将液体金属引入铸型，在铸型中所开设的通道称为浇注系统。浇注系统还可以起到挡渣、调节铸件的凝固顺序和补充金属等作用。因此选择浇注系统形式及其各部形状、尺寸和开设位置，对于保证铸件质量具有重要意义。

图 1-14 射砂紧实原理图

标准形式的浇注系统如图 1-15 所示。它包括外浇口、直浇口、横浇口、内浇口。浇注系统各部分的作用为：外浇口（又称浇口杯）的形状多为漏斗式或盆式，盆式用于较大的铸件。外浇口在浇注时必须保持充满状态，以使液体金属比较平稳地流入铸型内并使渣上浮。直浇口是外浇口下面的一段垂直通道，利用其高度产生一定的静压力，增强液态金属充填铸型的能力。横浇口的断面形状多为梯形，它的作

图 1-15 浇注系统