

第一章 课后复习思考题

- 1.1 制造技术的主要研究内容是什么？
- 1.2 简单介绍过程形态学的研究方法。
- 1.3 现代制造过程如何分类？
- 1.4 哪几种机械制造过程属于质量增加过程？

参考答案

- 1.1 产品和过程，以及相应的产品技术和过程技术是制造技术的两个基本组成部分，它们分别体现了机械制造的两大本质内容，即“做什么”和“怎么做”。以“设计”为中心的产品技术和以“工艺”为核心的过程技术构成了机械制造技术的全部内容，其中过程的含义涵盖了把物化前的产品设计和构思制造成物化的具体产品的全过程，因而，过程技术不仅是“制造技术”，还包括制造过程中所用的装备、工具、仪表和组织管理技术以及整个生产过程的构思、变化和设计。
- 1.2 过程形态学的研究方法是用简单清晰的图形反映各种材料成形过程的共同结构，通过对这些结构要素的定义与研究，反映各成形过程的内在联系、方法与基本原理，对材料过程获得连贯而系统的认识，对各种成形过程的可能性与局限性作出评价。
- 1.3 根据加工材料在过程初始和结束时的重量差异，可以将现代制造过程分为三大类：（1）质量不变过程，即加工材料在过程初始时的质量等于加工材料在结束时的最终质量；（2）质量减少过程，即加工材料的形状改变是通过去除一部分材料形成的；（3）质量增加过程，即加工材料在结束时的最终质量比在过程开始时的质量有所增加。
- 1.4 属于质量增加过程的机械制造过程有：表面处理过程（包括渗碳、渗氮、氧化处理、气相沉积、喷涂、电镀、刷镀等）、焊接过程和粘结过程。

第二章 课后复习思考题

- 2.1 何谓铸造？它有何特点？
- 2.2 何谓金属的充型能力？影响金属充型能力的因素有哪些？金属充型能力不好，会引起那些铸造缺陷？
- 2.3 从铁-渗碳体相图分析，什么合金成分具有较好的流动性？为什么？
- 2.4 何谓铸件的凝固？铸件的凝固方式有哪些？
- 2.5 何谓铸件的收缩？铸件的收缩分为哪 3 个基本阶段？
- 2.6 铸件的缩孔和缩松是怎么形成的？可采用什么措施防止？
- 2.7 什么是顺序凝固方式和同时凝固方式？各适用于什么金属？
- 2.8 铸造应力有哪几种？从铸件结构和铸造技术两方面考虑，如何防止铸件产生铸造应力、变形和裂纹？
- 2.9 试分析图 2.79 所示铸件：

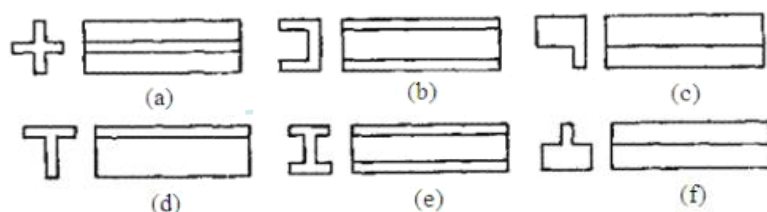


图 2.79

- ① 哪些是自由收缩？哪些是受阻收缩？
 - ② 受阻收缩的铸件形成哪一类铸造应力？
 - ③ 各部分应力具有什么性质（拉应力、压应力）？
- 2.10 铸件可能会出现哪几种气孔？它们是如何形成的？
 - 2.11 何谓铸件的化学成分偏析？它们是如何发生的？
 - 2.12 浇注系统的作用是什么？基本结构如何？基本类型有哪几种？各有何特点？在设计浇注系统时，应满足什么要求？
 - 2.13 何谓冒口？其主要作用是什么？何谓激冷物？其主要作用是什么？
 - 2.14 图 2.80 所示铸件的两种结构，哪一种较合理？为什么？

- 2.15 判断图 2.81 所示材料 HT150 铸件结构是否合理？应如何修改？
- 2.16 分析比较灰铸铁、铸钢件和铸造铝合金件的铸造性能、结构特点与铸造工艺技术特点。
- 2.17 用冲天炉熔炼铸铁的工作原理是什么？熔炼过程中金属液化学成分如何变化？
- 2.18 图 2.82 所示轴承盖铸件为单件小批生产，要求 $\Phi 120$ ， $\Phi 90$ ， $\Phi 74$ 柱面同心，试选择分型面和造型方式。
- 2.19 常用的手工造型（手工造芯）与机器造型（机器造芯）方法有哪些？其特点如何？
- 2.20 砂型铸造和特种铸造的技术特点是什么？
- 2.21 熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、实型铸造的基本原理是什么？简述其特点和应用范围。
- 2.22 选择铸造方法主要应考虑哪些因素？

参考答案

- 2.1 铸造是指熔炼金属、制造铸型并将熔融金属浇入铸型凝固后，获得具有一定形状、尺寸和性能的金属零件或毛坯的成形方法。铸造的主要优点是投资小、生产周期短、技术过程灵活性大、能制造形状复杂的零件。铸造成形也有其缺点，如铸件内部组织疏松、晶粒粗大，易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷；铸件外部易产生粘砂、夹砂、砂眼等。由此，与同样材料的锻件相比，铸件的力学性能低，特别是冲击韧性。又由于铸造工序多，难以精确控制，故铸件品质不够稳定。
- 2.2 液态金属的充型能力是液态金属充满铸型型腔，获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力。液态金属的充型能力主要取决于金属自身的流动性、铸型性质、浇注条件和铸件结构等因素。液态金属充型能力不好，铸件易产生浇不足、冷隔、气孔、夹杂、缩孔、热裂等缺陷。
- 2.3 从铁-渗碳体相图分析可知，纯金属和共晶成分的合金流动性最好，这主要是由于在恒温下进行结晶，固液界面比较光滑，对液态合金的阻力较小，其流

动性好；而其他成分的合金是在一定温度范围内结晶的，初生树枝晶与液相两相共存，粗糙的固液界面是合金的流动阻力加大，合金的流动性大大下降，合金的结晶温度区间越宽，流动性越差。

2.4 铸型中的合金从液态转变为固态的过程，称为铸件的凝固，或称为结晶。铸件的凝固方式有逐层凝固、体积凝固和中间凝固。

2.5 铸件的收缩是铸件在液态、凝固和固态冷却过程中所产生的体积和尺寸减小现象。铸件的收缩分为液态收缩阶段、凝固收缩阶段和固态收缩阶段。

2.6 液态金属在凝固过程中，由于液态收缩和凝固收缩，因而在铸件最后凝固部位出现大而集中的空洞，这种孔洞称为缩孔；细小而分散的孔洞称为缩松。缩孔形成的基本条件是金属在恒温或很窄的温度范围内结晶，铸件由表及里逐层凝固。形成过程如下：金属液充满型腔后，随着温度的下降发生液态收缩，但可以从浇注系统得到补偿。由于液态合金的冷却，表面层先凝固结壳，此时内浇口被冻结。继续冷却时，内部液态发生液态和凝固收缩，液面下降。同时外壳进行固态收缩，使铸件外形尺寸缩小。由于液态收缩和凝固收缩远超过外壳的固态收缩，金属液将充满硬壳。硬壳不断加厚，液面不断下降，当铸件全部凝固后，在上部形成倒锥形缩孔。因此，缩孔产生的基本原因是金属的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩值，且得不到补偿。缩松的形成原因与缩孔的形成原因相似，但形成缩松的基本条件是金属的结晶温度范围较宽，呈体积凝固方式。其形成过程如下：当合金结晶温度范围较宽时，在铸件表面结壳后，内部有一个较宽的液、固两相共存的凝固区域。继续凝固，固相不断增多。凝固后期，先生成的树枝晶相互接触，将合金液分割成许多小的封闭区域，当封闭区域内合金液凝固收缩得不到补充时，就形成了缩松。防止措施有：①采用顺序凝固原则，采用的工艺措施有合理设计内浇道及浇注位置，合理应用冒口、冷铁和补贴等技术；②加压补缩。③采用悬浮浇注、机械振动、电磁场、离心力消除一般技术措施难于消除的缩孔和缩松。

2.7 顺序凝固是指采用各种措施保证铸件结构各部分，从远离冒口的部分到冒口之间建立一个逐渐递增的温度梯度，实现由远离冒口的部分最先凝固，再向

冒口方向顺序凝固，使缩孔移至冒口中，切除冒口即可获得合格的铸件。其适用于那些易产生缩孔缺陷的金属，如铸钢、白口铸铁、铝青铜等。同时凝固是指采取一些工艺措施，使铸件内各部分温差很小，几乎同时进行凝固。其适用于适合于薄壁、壁厚较均匀的铸件。

- 2.8 根据阻碍形成的原因不同，铸造应力可以分为热应力、相变应力和机械阻碍应力。防止和减小铸件产生铸造应力、变形和裂纹的措施有：①合理设计铸件结构，铸件的形状愈复杂，各部分壁厚相差愈大，冷却时温度愈不均匀，铸造应力愈大，因此，在设计铸件时应尽量使铸件形状简单、对称、壁厚均匀；②尽量选用线收缩率小、弹性模量小的合金；③采用同时凝固的工艺，所谓同时凝固是指采取一些工艺措施，使铸件各部分温差很小，几乎同时进行凝固。因各部分温差小，不易产生热应力和热裂，铸件变形小；④设法改善铸型、型芯的退让性，合理设置浇冒口等；⑤若铸件已存在残余应力，可采用人工时效、自然时效或振动时效等方法消除。

- 2.9 ① (a)、(d)、(c)和(f)是自由收缩；(b)和(e)是受阻收缩。

② 受阻收缩的铸件形成机械阻力。

③ 铸件中厚板受拉应力，薄板受压应力。

- 2.10 铸件可能会出现侵入气孔、析出气孔和反应气孔。侵入气孔是浇注过程中熔融金属和铸型之间的热作用，使砂型或型芯中的挥发物（水分、粘结剂、附加物）挥发生成，以及型腔中原有的空气，在界面上超过临界值时，气体就会侵入金属液而不上浮逸出形成气孔。析出气孔是溶解于熔融金属中的气体在冷却和凝固过程中，由于溶解度的下降而从合金中析出，当铸件表面已凝固，气泡来不及排出而保留，在铸件中形成的气孔。反应气孔是浇入铸型的熔融金属与铸型材料、芯撑、冷铁或熔渣之间发生化学反应产生的气体在铸件中形成的孔洞。

- 2.11 铸件的化学成分偏析是指铸件凝固后，截面上不同部位，以至晶粒内部产生化学成分不均匀的现象。这主要是由于合金在结晶过程中溶质再分配的结果。晶体在成长过程中，由于结晶速度大于溶质扩散速度，使得初次析出的固相与液相的浓度不同，先析出的晶体与后析出的晶体的化学成分也不同，甚至同一晶粒内先结晶出来的部分和后结晶出来的部分也有差异，这样便形成了铸件各部分化学成分的不均匀性。

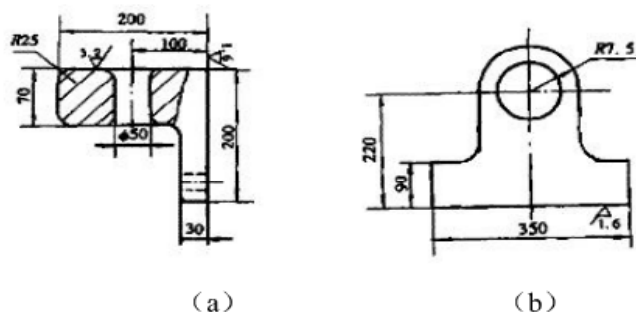
2.12 浇注系统的主要作用是将铸型型腔与浇包连接起来，平稳地导入液态金属；挡渣及排除铸型型腔中的空气及其他气体；调节铸型与铸件各部分的温度分布以控制铸件的凝固顺序；保证液态金属在最适合的时间范围内充满铸型，不使金属过度氧化，有足够的压力头，并保证金属液面在铸型型腔内有适当的上升速度等。浇注系统主要是由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道组成。浇注系统根据各组元间截面比例关系不同，即限流截面位置不同，分为封闭式和开放式浇注系统。封闭式浇注系统因充满快，故在浇注后不久有较好的挡渣能力，一般还可以减少金属液的消耗，在铸型中也较易安排，清理方便。其缺点是金属液进入型腔的线速度高，易冲坏砂型和砂芯，易产生喷溅并使金属液的氧化加剧。因此，封闭式浇注系统主要用于中、小型铸铁件，对易氧化的有色金属铸件不宜使用，对铸钢件和高大的铸铁件也不宜使用。开放式浇注系统是指从浇口杯到内浇道的截面逐渐加大，阻流截面在直浇道上口的浇注系统。开放式浇注系统挡渣能力很差，消耗的金属液多，但金属液流出内浇道的速度，只与未被充满的横浇道中的金属液静压力有关，而与整个浇注系统的高度和金属液的动压力无关，故充型平稳，主要用于易氧化的有

色金属铸件、球墨铸铁铸件及使用漏包浇注的铸钢件。在设计浇注系统时，应满足以下要求：尽可能阻止熔渣、气体、氧化物及非金属夹杂物吸附或夹附进入铸型型腔；防止铸型型腔和型芯被冲蚀；降低浇注温度；在正确部位及合适的速度把金属液引入铸型型腔，减少铸件的缩孔（松）和变形；减少浇注系统占用的金属，节约液态金属。

2.13 冒口是指铸型中能储存一定金属液（同铸件相连接在一起的液态金属熔池）补偿铸件收缩，防止产生缩孔和缩松缺陷的专门技术“空腔”。其主要作用是补缩铸件，此外还有集渣和通、排气作用。激冷物是指用来加大铸件局部冷却速度的，常用的激冷物有冷铁、钢铁、铜等金属材料。其主要作用是加快铸件某一部分的冷却速度，调节铸件的凝固顺序，与冒口配合使用，可扩大冒口的有效补缩距离。

2.14(a)和(b)中，(b)较合理。因为(a)图中分型面为曲面，(b)图中分型面为平面，后者分型面更为简化，造型、合型更加方便，有利于机器造型。(c)和(d)中，(d)较合理。因为(d)图中不仅将(c)图中铸件尖角改为圆角，而且避免了接头的交叉连接，减少和分散了热节点。(e)和(f)中，(f)较合理。因为(e)图中存在小的凸台，在造型过程中模样难以脱模，须利用活块进行造型，从而增加了铸造的难度和成本。

2.15 答：(a) 铸件结构不合理。因为在此铸件结构中存在一个小的凸台，在造型过程中模样难以脱模，须利用活块进行造型，从而增加了铸造的难度和成本。因此，可以考虑将这个小凸台去掉，如图（a）所示。（b）铸件结构也不合理。因为铸件中有明显的尖角，容易产生应力集中，在铸件上可能会产生裂纹、变形等缺陷。因此，应该考虑将其导成圆角。

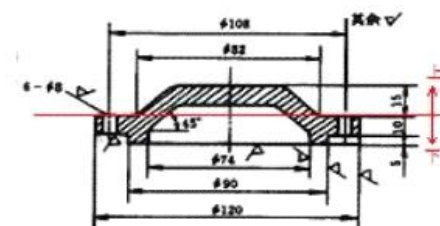


2.16 灰铸铁的铸造性能优良。灰铸铁凝固过程中碳大部分以石墨形式析出，故

收缩远小于铸钢。灰铸铁可设计薄壁、形状复杂的铸件。铸件残余应力小、吸振性好。不宜设计成很厚大的铸件，常采用非对称截面，以充分利用其抗压强度。灰铸铁对铸件壁厚均匀性要求较低，铸造技术过程简便，一般均采用同时凝固原则，无需设置冒口，省工、省料且热应力小。铸钢件的流动性差，易产生冷隔、浇不足、夹杂、气孔等缺陷，因此铸钢的铸造性能差。铸钢件的最小壁厚比灰铸铁件的厚，不宜结构复杂。铸钢件内应力大，易挠曲变形。结构应尽量减少热节点，并创造定向凝固的条件。连接壁的圆角和不同厚度壁过渡段要比铸铁件大。可将复杂的铸钢件设计成铸焊结构，利于铸造生产。生产铸钢件常设置冒口和冷铁，采用顺序凝固原则，以免产生缩孔。铸型应有较高的强度、透气性和耐火性，中、大型件的铸型一般采用黏土砂干型或水玻璃自硬砂型。型腔表面应涂以耐火涂料，以防产生粘砂缺陷。铝硅合金的铸造性能好，流动性好，收缩略大于铸铁。其他系列的铸造铝合金均远离共晶成分，凝固温度范围宽，多呈糊状凝固，流动性差，且收缩较大，难以通过补缩获得致密件，故制造性能差。此外，各类铸造铝合金均极易吸气和氧化，易产生夹杂和气孔缺陷。铸造铝合金件的结构特点类似铸钢件，壁厚也不能太大。生产铝合金铸件可采用各种铸造方法，批量大或重要的铸件宜采用特种铸造。砂型铸造时，一般均设置冒口顺序凝固。为保证铝液快而平稳地充型，避免吸气和氧化，通常采用开放式浇注系统及弯曲形状的直浇道，且内浇道数目较多。此外，熔炼时还应注意除气和去渣。

- 2.17 用焦冲天炉熔炼铸铁是由底焦燃烧、热量交换和冶金反应 3 个基本过程组成。其工作原理如下：鼓风机通过环绕冲天炉下部炉身的风口鼓入空气与底焦燃烧而形成向上运动的高温炉气，连续交替地加入焦炭、生铁、回炉料、溶剂材料金和合金元素等炉料，向上运动的高温炉气与向下运动的炉料发生热交换，金属炉料在冲天炉内被预热熔化过热。熔炼过程中金属液化学成分发生变化，包括：（1）碳量的变化，凡是能增加碳在铁液中溶解度的元素，都能使铁液含碳量增加；凡是能减少碳在铁液中溶解度的元素，都能使铁液含碳量减少。铁液含碳量变化的总趋势是趋向于共晶成分。（2）硫量的变化，在一般冲天炉内，金属炉料经熔炼后，含硫量往往增加 40%~100%。（3）磷量的变化，酸性冲天炉熔炼过程中不能脱磷，磷量基本不变。碱性冲天炉

2.18 分型面如图所示。由于该铸件为单件小批生产,且均为回转体铸件,因此可以采用刮板造型。



2.19 常用的手工造型（手工造芯）方法有两箱造型、三箱造型、脱箱造型、刮板造型、地坑造型等。两箱造型特点：用两个砂箱制造砂型，可采用多种模样（整体模、分块模、刮板模等）和多种造型方法（挖砂、假箱等），操作一般较简便；三箱造型特点：用三个或以上砂箱制造砂型，须采用分块模，操作费工，生产效率低；脱箱造型特点：在可脱砂型内造型，合型后脱去砂箱。操作简便灵活，生产效率高，适应性较强；刮板造型特点：不用模样或芯盒而用刮板造型，可节省制造模样的材料和工时、但操作技术要求高，生产效率低，铸件精度低；地坑造型特点：在砂坑或地坑中制造下型，可省去下砂箱，也可不用上型，但技术要求高，生产效率低。机器造型（机器造芯）方法有震实造型、微震实造型、高压造型、抛砂造型、气冲造型等。震实造型特点：设备结构简单，造价低，效率较高，紧实度较均匀；但紧实度较低，噪声大，适用于成批大量生产中、小型铸件；微震实造型特点：砂型紧实度较高且均匀，频率较高，能适应各种形状的铸件，对地基要求较低；但机器微震部分磨损较快，噪声较大，适用于成批、大量生产各类铸件；高压造型特点：砂型紧实度高，铸件精度高、表面光洁，效率高，劳动条件好，易于实现自动化，但设备造价高，维护保养要求高，适用于成批、大量生产中、小型铸件；抛砂造型特点：砂型紧实度较均匀，不要求专用模板和砂箱，噪声小，但生产率较低，操作技术要求高，适用于单件、小批生产中、大型铸

件；气冲造型特点：砂型紧实度高，铸件精度高，设备结构较简单，易维修且能耗低，散落砂少，噪声小，适用于成批、大量生产中、小型铸件，尤其适于形状较复杂的铸件。

2.20 砂型铸造的特点是适应性广，技术灵活性大，不受零件的形状、大小、复杂程度及金属合金种类的限制，生产准备过程较简单。但生产的铸件其尺寸精度较差及表面粗糙度高；铸件的内部质量也较低；在生产一些特殊零件（如管件、薄壁件）时，技术经济指标较低。特征铸造的技术特点是铸件的尺寸精度较高，表面粗糙度低。在生产一些结构特殊的铸件时，具有较高的技术经济指标，铸造生产时可以不用砂或少用砂，降低了材料消耗，改善了劳动条件；生产过程易于实现机械化、自动化。但特种铸造适应性差，生产准备工作量大，需要复杂的技术装备。因此，特种铸造技术一般适用于大批量生产。

2.21 熔模铸造的基本原理是先用低熔点易熔材料（一般用蜡质材料）制成模样，再在蜡模表面图上数层耐火材料，待其硬化干燥后，将其中的蜡模熔失制成无分型面的铸型型壳，在经焙烧后进行浇注，获得铸件。熔模铸造适用于各种铸件。

2.21 熔模铸造的基本原理是先用低熔点易熔材料（一般用蜡质材料）制成模样，再在蜡模表面图上数层耐火材料，待其硬化干燥后，将其中的蜡模熔失制成无分型面的铸型型壳，在经焙烧后进行浇注，获得铸件。熔模铸造适用于各种铸造合金，尤其是高熔点、难加工的高合金钢的小型铸件的成批、大量生产，如汽轮机叶片、成形刀具和小型零件等。铸件精度较高、表面粗糙度低、形状可较复杂。但其工序繁杂、生产周期长，原料较贵，故铸件成本较高，大尺寸的蜡模还易变形。金属型铸造是利用重力浇注法将液态金属浇入金属铸型中，并在重力下结晶凝固而生产铸件的铸造方法。金属型铸造的特点是与砂型铸造相比较，金属型铸件的力学性能较高；铸件的尺寸精度高和表面粗糙度较低，铸件品质和尺寸较稳定，能节约金属，降低切削加工量；易于实现机械化、自动化，一型多铸、生产率高、适用于大批大量生产；不要型砂或少用型砂，环境污染小，工作条件改善。其主要应用于成批、大量生产铝合金、铜合金等非铁合金的中、小型铸件，如活塞、缸体、液压泵壳体、轴瓦和轴套等。压力铸造的基本原理是将熔融合金在高压作用下，以高速充填铸型型腔，并在高压下结晶凝固而获得铸件的特种铸造工艺。压铸的生产

但同时由于压铸时气体难以排出，压铸件表皮下易产生小气孔，故压铸不能进行较大余量的切削加工，以防气孔露出，也不能进行热处理，否则孔内气体膨胀会使铸件表面气泡或变形；压铸机投资大，压铸型制造复杂，费用高，生产准备时间长，不宜于小批量生产。其主要用于铝、锌、镁等各类非铁合金中、小型铸件的大量生产，如内燃机缸体、缸盖、仪表和电器零件等。低压铸造的主要原理是液体金属在压力作用下，通过升液管自下而上地充填铸型型腔，并在压力下结晶凝固而获得铸件的铸造方法。低压铸造的特点：底注式平稳充型，无飞溅、气体卷入和型壁冲刷等弊病，铸件合格率提高；利于提高金属液的充型能力，且充型压力和速度可调；压力下结晶，组织致密，轮廓清晰，表面光洁，少切削或零切削，机械性能高，对薄壁件铸造尤其有利；节省补缩冒口，金属利用率高达 90-98%；劳动强度低，劳动条件好，容易数控自动化，但升液管寿命短，金属液在保温时易氧化且生产效率低于压铸。其主要用于铝、镁等非铁合金中、小型铸件的成批、大量生产，适于铸造形状复杂的薄壁铸件。离心铸造是将熔融金属浇入旋转的铸型中，使液体金属在离心力作用下充填铸型并凝固成形的一种铸造方法。离心铸造使金属液在离心力作用下由外表面向内表面顺序凝固，易于补缩，且渣粒、沙子和气体等易向内表面浮动，铸件组织致密，内部不易产生缩孔、缩松、夹杂物、气孔等铸造缺陷，力学性能好。生产管状、筒状铸件时，采用离心铸造可不用型芯，技术简化，生产率较高。此方法还便于生产双金属铸件，如钢背铜轴瓦等。但离心铸造件已形成成分偏析，内表面粗糙且尺寸不易控制，离心铸造设备的投资也大。离心铸造可用于各类铸造合金及各种尺寸的铸件的成批、大量生产，尤其适于生产空心回转体类铸件，如铸铁管、滑动轴承等。实型铸造是指采用聚苯乙烯发泡塑料模样代替普通模样，造好型后不取出模样就浇入金属液，在金属液的作用下，塑料模样燃烧、气化、消失，金属液取代原来塑料模所占据的空间位置，冷却凝固后获得所需铸件的铸造方法。实行铸造的特点是不必起模和修型，工序少，生产效率高；铸件精度高、形状可较复杂；可采用无粘结剂的干砂造型，劳动强度低。但此方法目前尚存在模样汽化时污染环境、铸钢件表层易增碳等问题。其应用范围较广，几乎不受铸件结构、尺寸、质量、批量和合金种类的限制，特别适用于形状较

复杂铸件的生产。

- 2.22 选择铸造方法主要考虑下列因素：（1）零件的使用性能；（2）零件的铸造技术性能；（3）经济的合理性。

第三章 课后复习思考题

- 3.1 为什么金属材料的固态塑性成形不像铸造那样具有广泛的适应性？
- 3.2 冷变形和热变形各有何特点？它们的应用范围又如何？
- 3.3 碳钢在锻造温度范围内进行塑性变形时，是否会出现加工硬化现象？
- 3.4 提高金属材料可锻性最常用且有效的办法有什么？为何这样？
- 3.5 绘制模锻件图与自由锻件图有何不同？
- 3.6 锻件图有何用途？它与零件图比较有何不同？
- 3.7 锻上模锻大都有飞边和冲孔连皮，是否能直接锻出没有冲孔连皮的通孔和没有飞边的模锻件？
- 3.8 金属板料塑性成形过程中是否会出现加工硬化现象？为什么？
- 3.9 加工硬化对金属板料成形有何影响？
- 3.10 比较落料或冲孔与拉深过程凹、凸模结构及间隙 Z 有何不同？为什么？
- 3.11 用 $\Phi 250 \times 1.5\text{mm}$ 的低碳钢坯料，能否一次拉深直径 $\Phi 50$ 的拉深件？为什么？应采取什么措施才能完成？
- 3.12 图 3.76 为汽车离合器从动片上的孔形，它们都能保证使用要求，试问哪种

孔形最佳？为什么？



图 3.76

3.13 试述图 3.58 消声器后盖两种结构的冲压过程。

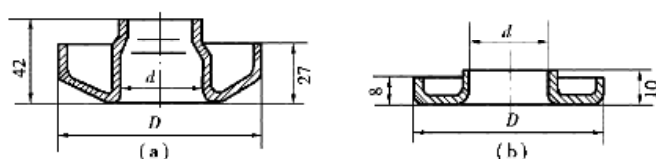


图 3.58

参考答案

- 3.1 因为要实现金属材料的固态成形，必须要有两个基本成形条件，即：（1）被成形的金属材料应具备一定的塑性；（2）要有外力作用于固态金属材料上。很明显，金属的固态成形收到内外两个方面因素的制约，内在因素即金属本身能否进行固态形变和可形变的能力大小，外在因素即需要多大的外力。因此，金属材料的固态塑性成形不像铸造那样具有广泛的适应性。
- 3.2 冷变形的特点是变形后具有加工硬化现象，强度、硬度升高，塑性和韧性下降；冷变形制成的产品尺寸精度高、表面质量好；对于不能用热处理方法提高强度、硬度的金属构件（特别是薄壁细长件），利用加工硬化来提高构件的强度、硬度不但有效而且经济。但是冷变形过程的加工硬化使金属的塑性变差，给进一步塑性变形带来困难；对加工坯料要求其表面干净、无氧化皮、平整；加工硬化使金属变形处电阻升高，耐蚀性降低。冷变形加工在各行各业有广泛的应用，如各类冷冲压件、冷轧冷挤型材、冷卷弹簧、冷拉线材、冷镦螺栓等。

热变形的特点是金属在热变形中始终保持良好的塑性，可使工件进行大量的

塑性变形；又因高温下金属的屈服强度较低，故变形抗力低，易于变形；热变形使内部组织结构致密细小，力学性能特别是韧度明显改善和提高；热变形使金属材料内部的缩松、气孔或空隙被压实，粗大的晶粒组织被再结晶细化，使金属内部组织致密细小，力学性能明显改善和提高。热变形还使金属材料内部晶粒间的杂质和偏析元素沿金属流动的方向呈线条状分布，并形成纤维组织，使力学性能具有方向性。热变形广泛应用于大变形量的热轧、热挤以及高强度高韧度毛坯的锻造生产等；但热变形中，金属表面氧化较严重，工件精度和表面品质较冷变形的低；另外，设备维修工作量大，劳动强度也较大。

- 3.3 碳钢在锻造温度范围内进行塑性变形时，不会出现加工硬化现象，只有当锻造温度低于终锻温度时，才会出现加工硬化现象，使材料的塑性下降，变形抗力剧增，变形难于进行。
- 3.4 提高金属材料可锻性最常用且有效的办法是提高金属的塑性，降低变形抗力。因为金属的可锻性是指金属材料在塑性成形加工时获得优质毛坯或零件



的难易程度，金属的塑性越好，变形抗力越低，材料的塑性成形性能越好，即可锻性越好。

- 3.5 绘制自由锻件图时要考虑三个因素：（1）敷料；（2）加工余量；（3）锻件公差。但绘制模锻件图时，要考虑的因素除了以上三个之外，还有分模面；模锻斜度；模锻件圆角半径。此外，由于模锻件的尺寸精度较高，其余量和公差比自由锻件的小得多。
- 3.6 锻件图是以零件图为基础结合锻造过程特征绘制的技术资料。绘制锻件图是进行锻造生产必不可少的技术准备工作，锻件图是组织生产过程、制定操作规范、控制和检查产品品质的依据。锻件图是以零件图为基础，结合锻造工艺特点绘制而成的图形，它可将零件图中的一些复杂部分（或不易锻出的部分）进行了简化，同时在零件图的基础上添加了加工余量；而零件图是已经加工过的成品图。
- 3.7 为了获得尺寸完整、轮廓清晰的锻件，必须使用金属充满整个模膛，故坯料体积常常大于模膛空积。为了容纳坯料充满模膛后的多余金属，模膛周围须开设飞边槽；同时飞边还可以减轻上模对下模的打击，起缓冲作用。对于具有通孔的锻件，由于不可能靠上、下模的突出部分把金属完全挤压形成通孔，

故终锻后在孔内必须留下一薄层金属即冲孔连皮，它可以减轻锻模的刚性接触，起缓冲作用，避免锻模损坏，如同锻件外围在分模面处留下的飞边。因此，不能直接锻出没有冲孔连皮的通孔和没有飞边的模锻件。

3.8 由于金属板料的厚度一般都在 6mm 以下，且通常是在常温下进行，故板料成形又常称为冷成形。只有当板料厚度超过 8mm 时，才采用热成形。因此，通常金属板料塑性成形过程中会出现加工硬化现象。

3.9 加工硬化作用越强，金属板料成形过程中的变形阻力就越大，甚至有可能使工件开裂。

3.10 拉深用的模具构造和冲裁模相似，主要区别在于工作部分凸模与凹模的间隙不同，而且拉深的凸凹模上没有锋利的刃口。凸模与凹模之间的间隙 Z 应大于板料厚度 S ，一般 $Z = (1.1 \sim 1.3) S$ ，而冲裁模中凸模与凹模之间的间隙较小。为能顺利完成冲裁过程，要求凸模和凹模都应有锋利的刃口，这主要因为在冲裁过程中，随着冲压力加大，在较大剪切应力作用下，金属板料在

刃口处因塑性变形产生加工硬化，且在刃口边出现应力集中现象，使得金属的塑性变形进行到一定程度时，沿着凸凹模刃口处开始产生裂纹，最终使坯料被分离。但拉深是使坯料发生塑性变形而形成杯形工件的过程，在拉深过程中，要防止坯料的开裂。很明显，它跟冲裁过程完全不同，后者是使坯料分离过程。因此，冲裁和拉深过程凹、凸模结构和间隙 Z 的不同主要是由于这两种方法的原理和目的完全不同。

3.11 不能一次拉深成形。由于拉深系数 $m=d/D=50/250=0.2$ ，明显小于 0.5。因此要成形 $\Phi 50$ 的拉深件，必须采用多次拉深。

3.12 右边的孔形为最佳。模具结构工艺性较好，模具寿命较高。

3.13 (a) 冲压过程为：落料→一次拉深→反拉深→整形→冲孔→翻边→缩口

(b) 冲压过程为：落料→拉深→冲孔→翻边

第四章 课后复习思考题

4.1 对于中小批量生产的制品是否适宜用粉末压制法制造？为什么？

4.2 还原粉末和雾化粉末的特点是什么？

4.3 粉末压制制品为什么在压制后，一定要经过烧结才能达到所要求的强度和密度？

4.4 粉末压制机械零件、硬质合金、陶瓷都是用粉末经压制烧结而成。它们之间有何区别？各适用于哪些制品？

4.5 硬质合金中的碳化钨和钴各起什么作用？能否用镍、铁代替钴？为什么？

4.6 粉末压制件设计的基本原则是什么？为什么要这样规定？

参考答案

5/6

- 4.1 不适宜。因为金属粉末的价格一般较高，粉末冶金的设备和模具投资较大，零件几何形状受一定限制，因此粉末冶金适宜于大批量生产的零件，不适宜中小批量生产的制品。
- 4.2 还原法制取粉末是金属矿石在一定冶金条件下被还原后，得到一定形状和大小的金属料，然后将金属料经粉碎等处理以获得粉末。因此，其粉末的纯度直接与矿石的纯度有关。如通过矿石还原获得的铁粉中含有从矿石中带来的杂质，且单个的颗粒含有许多内部微孔，密合这些内部微孔需极高的压力，故这种铁粉不适于压制高密度产品。根据生产条件的不同，颗粒内部微孔的多少和大小也在变化，且形状一般也不规则。雾化法是将熔化的金属液通过喷射气流、水蒸气或水的机械力和急冷作用使金属溶液雾化，而得到金属粉末。雾化法制得的粉末的纯度直接与原材料及熔化、精炼过程有关。根据过程参数不同，粉末颗粒的形状及大小可在较宽的范围内变化。如气体雾化将得到较大的球状颗粒；而水雾化则得到没有内部微孔的细小而不规则颗粒。雾化法制得的粉末纯度 $\uparrow$ ，又可合金化，粉末有其特点，且产量高、成本

较低，故其应用发展很快。

4.3 烧结是粉末压制技术的关键性过程之一，只有通过正确的烧结，制品才能获得所要求的力学与物理性能。在这主要是由于烧结过程中，通过高温加热发生分离之间原子扩散等过程，使压坯中分离的接触面结合起来，成为坚实的整块。

4.4 粉末压制机械零件又称烧结结构件，这类制品在粉末冶金工业中产量最大、应用面最广。在现今汽车工业中广泛采用粉末压制制造零件。烧结结构总产量的 60%~70%用于汽车工业，如发动机、变速器、转向器、启动马达、刮雨器、减震器、车门锁中都是使用有烧结零件。硬质合金是将一些难熔的金属碳化物（如碳化钨等）和金属黏结剂粉末混合，压制成形，并经烧结而成的一类粉末压制制品。由于高硬度的金属碳化物作为基体，软而韧的钴或镍起粘结作用，使硬质合金既有高的硬度和耐磨性，又有一定的强度和韧度。硬质合金硬度高，热硬性好，耐磨性好，用硬质合金制作刀具，寿命可提高 5~8 倍，切削速度比高速钢高十几倍。常将硬质合金制成一定规格的刀片，

镶焊或装夹在刀体上使用。硬质合金还广泛用于制作模具、量具和耐磨零件。陶瓷材料具有高熔点、高硬度、高刚度、高绝缘性和高耐蚀性，但很难产生塑性变形，脆性大、裂纹敏感性强；陶瓷材料的耐磨性远优于金属，在高温、腐蚀环境条件下更显示出它的优越性；陶瓷材料的断裂韧性比金属材料低一个数量级，陶瓷材料在室温下，很难产生塑性变形，以脆性断裂方式断裂；陶瓷材料熔点高；导热性差，隔热保温性能好；陶瓷材料具有优良的抗热震性；陶瓷材料的化学键及晶体结构远比金属复杂，包括导电陶瓷、半导体陶瓷、绝缘或介电陶瓷及超导陶瓷。

- 4.5 高硬度的碳化钨为基体，软而韧的钴起粘接作用。可以。因为镍、铁都具有软而韧的特性，可以起到粘接作用。
- 4.6 粉末压制件设计的基本原则是：（1）压制件应能顺利地压模中取出，由于烧结零件是在压模中压制成形，成形后压坯必须从压模中脱出；（2）应避免压制件出现窄尖部分，压制成形时，要将配混好的粉末装填在压模型腔中，但有时型腔的窄尖部分会出现装粉不足，使压制困难，此外，这些窄尖部分还会影响压模的强度和寿命；（3）零件的壁厚应尽量均匀，台肩尽可能少，高（长）、宽（直径）比不超过 2.5（厚壁零件不超过 4），由于粉末压制大多数都是双向压制成形的，因此零件的高度太高、压制方向上的台肩多、多部分壁厚相差过大等，都会造成压制件的密度分布不均匀；（4）制品的尺寸精度及表面粗糙度，压制烧结零件的尺寸精度在压制方向和与之垂直的方向有显著差异，从而提高零件压制方向的尺寸精度颇为困难，另外，阴模、压头、芯棒等相互间均有一定间隙，零件的同心度也难以达到很高的精度。

第五章 课后复习思考题

5.1 什么是焊接热影响区？为什么会产生焊接热影响区？焊接热影响区对焊接接头有何影响？如何减小或消除这些影响？

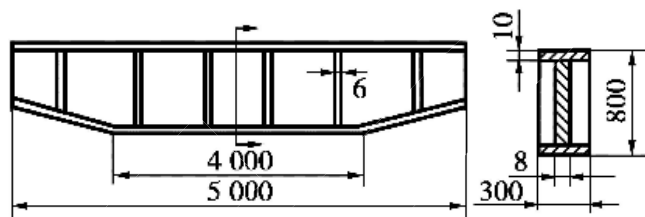
5.2 产生焊接应力和变形的原因是什么？防止焊接应力和变形的措施有哪些？

5.3 焊接过程中焊接裂纹和气孔是如何形成的？如何防止？

5.4 图 5.40 所示的焊缝，其焊缝布置是否合理？若不合理，请加以改正。

5.5 图 5.41 为贮槽，筒体材料为 16Mn，板厚为 20 mm，内径为 1 500，长 800 mm。接管为 88.9×14 mm，生产 100 台，试选择图中各条焊缝的焊接方法以及焊条或焊丝，焊剂的牌号。

5.6 焊接梁（尺寸见图 5.42）材料为 15 号钢，成批生产，现有钢板最大长度为 2 500 mm。要求：①决定腹板、翼板接缝位置；②选择各条焊缝的焊接方法；③画出各条焊缝接头形式；④制定各条焊缝的焊接次序。



5.7 何谓金属材料¹⁰ 用碳当量法确定钢材的焊接性有哪些优点和缺点？

5.8 低合金高¹¹ 焊接时，应采取哪些措施防止冷裂纹的产生？

5.9 铸铁焊接性¹² 主要表现在哪些方面？试比较热焊、冷焊法的特点及应用。

5.10 焊接铜、铝及其合金的特点和应注意的问题是什么？

5.11 塑料焊接常用的方法有哪些？各有什么特点？

5.12 粘接的基本原理是什么？

5.13 黏结剂常规的组成物有哪些？分别在黏结剂中起什么作用？如何选用黏结剂？

5.14 粘接前的表面处理有哪些？为什么要进行表面处理？

参考答案

- 5.1 (1) 焊接热影响区是指在电弧热的作用下，焊缝两侧处于固态的母材发生组织或性能变化的区域。焊接热影响区可分为过热区、正火区和部分相变区。
- (2) 熔化焊接是在局部进行的、短时高温的冶炼、凝固过程。这种冶金和凝固过程是连续进行的；与此同时，周围未熔化的基体金属受到短时的热处理。因此，焊接过程会引起焊接接头组织和性能的变化，直接影响焊接接头的品质。
- (3) 熔合区的塑性、韧性极差，成为裂纹和局部脆性破坏的源点，其很大程度上决定着焊接接头的性能。过热区紧靠熔合区，其塑性和冲击韧性很低。焊接刚度大的结构或碳的质量分数较高的易淬火钢材时，易在此区产生裂纹。正火区紧靠过热区，该区的冷却速率较快，相当于进行一次正火处理，使晶粒细小而均匀，该区的力学性能高于未经热处理的母材金属。部分相变区紧靠正火区，已相变组织和未相变组织在冷却后晶粒大小不均匀对力学性能有不利影响。由此可见，熔合区和过热区是焊接接头中力学性能很差的区域，对焊接接头有不利影响，应尽量缩小这两区间的范围，以减小和消除其不利影响。

(4) 一般来说,在保证焊接接头品质的前提下,增加焊接速度、减少焊接电流都能使熔合区、过热区变小。

5.2 焊接过程中对焊件进行了局部的不均匀的加热是产生焊接应力和变形的根本原因。防止焊接应力和变形的措施有:(1)合理设计焊接构件;(2)采取必要的技术措施,反变形法、加裕量法、刚性夹持法、选择合理的焊接顺序和采用合理的焊接方法。

5.3 焊接过程中焊接裂纹形成的原因一方面是因为焊缝中碳、硫、磷含量较高导致焊缝韧性下降;另一方是因为接结构设计不合理,焊缝冷速太快,焊接顺序不正确而导致焊接应力过大。气孔形成的主要原因是焊件不洁净,焊条潮湿,电弧过长,焊速过快及含碳量高。各种焊接裂纹都是由于冶金因素和应力因素造成的,因此防止焊接裂纹也必须从这两方面入手。所有防止和减少拉应力的措施都能防止和减少焊接裂纹。在冶金方面,为了防止热裂纹应控制焊缝金属中有含杂志的含量,碳素结构钢用焊芯 $w(C) \leq 0.10\%$, $w(S)$, $w(P) \leq 0.03\%$,焊接高合金钢时要控制更严。此外,焊接时应选择合适的技术

参数和坡口参数。采用碱性焊条和焊剂，由于碱性焊条具有较强的脱硫、磷能力，因此具有较高的抗热裂能力。对于防止冷裂纹，应降低焊缝扩散氢的含量，如采用碱性低氢焊条，严格按照规定烘干焊条和焊剂，并防止在使用过程中受潮。采用预热、后热等技术措施也可有效地防止冷裂纹的产生。为了防止焊缝中气孔的产生，必须仔细清除焊件表面的污物，手工电弧焊时在坡口面两侧各 10mm、埋弧焊时各 20mm 范围内去除锈、油，应打磨至露出金属表面光泽。特别是在使用碱性焊条和埋弧焊时，更应做好清洁工作。焊条和焊剂一定要严格按照规定的温度进行烘烤。酸性焊条抗气孔性能优于碱性焊条。焊接规范参数必须选择合适，电流过大会使焊条发热，药皮提前熔化或分解，影响保护效果。电流过小和焊速过快又使熔池内气体不能及时排除，导致气孔产生。

5.4 (a)不合理，因为焊缝不应出现应力集中的位置。应采用(b) 中的结构。

(c)和(d)中，(c)不合理，因为焊缝过于集中，不利于焊接应力和变形的减小，应该像(d)一样，将焊缝尽量分散。

(g)不合理，不同厚度工/ 焊接时，接头应平滑过渡。

(h)不合理，焊缝应尽量对称分布。应去除与底板长焊缝相交的肋板。

(e)和(f)不合理，结构中焊缝未焊透，会形成应力集中。待焊表面应开坡口。

5.5 1—手工电弧焊（E5015）+埋弧自动焊（HJ431 焊剂配合 H10Mn2 焊丝）埋弧焊；

2—手工电弧焊（E5015）+马鞍形埋弧自动焊（HJ431 焊剂配合 H10Mn2 焊丝）；

3—气—电立焊， 采用 GL—YJE50A 药芯焊丝；

4—手工电弧焊，采用焊条型号 E5015。 或使用 CO₂ 气体保护焊，采用 H08Mn2SiA 焊丝；

5.6（1）因腹板和翼板较长，应拼接。其对接焊缝要求焊透，并且使腹板和翼板的拼接焊缝至少错开 500mm,避免焊缝交叉。

（2）所有板的厚度均不超过 10mm,并且产品为批量生产。所以，所有焊缝均采用 CO₂ 气体保护焊。

（3）腹板和翼板的拼接可采用 Y 形破口；腹板与上下翼板的四条纵焊缝，可



使腹板加工为 K 形破口；腹板与肋板的焊缝，可使肋板加工为 K 形破口。

(4) 焊接顺序：下翼板拼焊—上翼板拼焊—腹板拼焊—腹板与翼板焊接—腹板与肋板焊接

- 5.7 金属材料的焊接性是指金属在一定的焊接技术条件下，获得优质焊接接头的难易程度，即金属材料对焊接加工的适应性。碳当量法是用碳当量的大小来评定钢材焊接性的优劣，并按焊接性的优劣提出防止产生焊接裂纹的工艺措施。但是碳当量涉及的元素有限，特别是没有考虑板厚和焊接条件的影响。所以，碳当量法只能用于对钢材焊接性的初步分析。
- 5.8 低合金高强度结构钢焊接时，为了防止冷裂纹的产生，采取的措施有：(1) 严格控制焊缝含氢量，根据强度等级选用焊条，并尽可能选用低氢型焊条或使用碱度高的焊剂配合适当的焊丝；(2) 焊前预热，一般预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ，焊接时，应调整焊接规范来严格控制热影响区的冷却速度。焊后应及时进行热处理以消除内应力。
- 5.9 铸铁焊接性差主要表现在：(1) 焊接接头易产生白口组织，硬度很高，焊后很难进行机械加工；(2) 焊接接头易产生裂纹，铸铁焊补时，其危害性比形

成白口组织大；（3）在焊缝易出现气孔。热焊是指把焊件整体或局部预热到 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，焊接过程温度不低于 400°C ，焊后使焊件缓慢冷却的技术。用热焊法，焊件受热均匀，焊接应力小，冷却速度低，可防止焊接接头产生白口组织和裂纹。但热焊法技术复杂，生产率低，成本高，劳动条件差，一般仅用于焊后要求机械加工或形状复杂的重要工件。冷焊是指焊前不预热或采取低温度（ 400°C 以下）预热的焊补方法。冷焊法采用手工电弧焊具有生产率高，焊接变形小，劳动条件比热焊好等优点，但其焊接品质不宜保证。生产中冷焊多用于不含要求不高的铸件，或用于补焊高温预热易引起变形的工件。

5.10 焊接铜合金的特点是：（1）难熔合；（2）易变形；（3）易形成气孔和产生氢脆现象。气焊紫铜及青铜时，应采用严格的中性焰。氧过多时，铜的氧化严重；乙炔过多时，铜的吸氢严重。采用各种方法焊接铜及铜合金时，焊前都要仔细清除焊丝、焊件坡口及附近表面的油污、氧化物等杂质。气焊、钎焊或电弧焊时，焊前应对焊剂（气剂）、钎剂或焊条药皮作烘干处理。焊后

应彻底清除残留在焊件上的溶剂和熔渣，以免引起焊接接头的腐蚀破坏。

焊接铝合金的特点是：（1）易氧化；（2）易形成气孔；（3）易变形、开裂；（4）操作困难。铝合金焊接时无论采用哪种焊接方法，焊前都必须进行氧化膜和油污的清理。清理品质的好坏将直接影响焊缝品质。

- 5.11 塑料焊接常用的方法有：（1）热气焊，其特点是利用热气体对塑料表面加热，并通过手动或机械方式对焊接区施加焊接压力，从而进行焊接；（2）超声波焊接，使塑料的焊接面在超声波能量的作用下作高频机械振动而发热熔化，同时施加焊接应力，从而把塑料焊接在一起；（3）摩擦焊，其特点是摩擦焊一般不需要填充焊料，但有时也是有与被焊塑料相同的中间摩擦件作为填充焊料；（4）挤塑焊，其特点是总是以塑化装置挤出的棒状熔料作为焊接填料，焊接填料混合均匀，并已充分塑化，焊接表面必须与加热至焊接温度，焊接时必须施加压力。（5）光至热能焊接，在这种焊接方法中，是由一台挤出机塑化填充填料，并将其挤入已由加热灯预热的坡口或隙缝，进而把塑料焊接在一起；（6）热工具焊，它是利用一个或多个发热工具对被焊塑料的表面进行加热，直至其表面充分熔化，然后再压力作用下进行焊接的方法。

5.12 粘接的基本原理是借助黏结剂在固体表面上产生粘合力,将一个物件与另一个物件牢固地连接在一起的方法。

5.13 黏结剂常规的组成物有黏料、硬化剂、增韧剂、溶剂和附加物。黏料是黏结剂的主要组分,决定着黏结剂的性能;硬化剂是促使黏结剂固化的组分,是一种能使线型结构的树脂变成体型结构的硬化剂;增韧剂是黏结剂中改善黏结剂的脆性,提高其柔韧性的成分。溶剂是黏结剂中用来降低其黏度的液体物质,能增加黏结剂对被黏物表面的浸润能力,并便于施工。附加物主要是用以改善黏结剂的某种性能。黏结剂的选择原则是:(1)黏结剂必须能与被黏材料的种类和性质相容;(2)黏结剂的一般性能应能满足粘结接头使用性能的要求;(3)考虑粘结过程的可行性、经济性以及性能与费用的平衡。

5.14 为了保证粘结的品质,要求被黏材料的表面具有一定的粗糙度和清洁度,同时还要求材料表面具有一定的化学或物理的反应活性。因此,在进行粘结前,必须进行材料表面的清洁及活性处理。常见的表面处理有:溶剂清洗法、机械处理法、化学处理法、电化学酸洗除锈和表面化学转变处理。

第六章 课后复习思考题

- 6.1 试述注射成形、挤出成形、模压成形原理及主要技术参数的正确选用。
- 6.2 塑料成形特性的内容及应用有哪些？
- 6.3 热塑性塑料注射模的基本组成有哪些？
- 6.4 何谓分型面？正确选择分型面对制品品质有哪些影响？
- 6.5 热塑性注射模普通浇注系统由哪些部分组成？各个组成部分的作用和设计原则是什么？
- 6.6 注射模成形零件设计包含哪些基本内容？
- 6.7 压塑模按凸凹模结构特征分类可分几类？它们各有什么特征？
- 6.8 压塑模的半闭合式凸凹模结构组成、储料槽、排气槽的结构有哪些？
- 6.9 挤出机头的分类及特点有哪些？机头设计的主要内容是什么？
- 6.10 塑料制品的结构技术特征包括哪些内容？针对具体的塑料制品，如何分析其技术特征
- 6.11 简述影响橡胶注射成型的主要技术因素及注射成型的应用特征。
- 6.12 压延成型技术能够生产哪些橡胶制品？其生产过程与塑料压延有何异同？
- 6.13 挤出成型在橡胶加工中有何作用？影响挤出成型的主要因素是什么？
- 6.14 橡胶制品的成型特性包括哪些内容？

参考答案

6.1 (1) 注射成形原理是将粒状原料在注射机的料筒内加热加压熔融塑化，在柱塞或螺杆压力作用下，压缩熔融物料并向前推移，通过料筒前端的喷嘴以很高的速度注入温度较低的闭合模具内，冷却定形后，开模取件得到塑料制品。其主要技术参数包括：料筒温度、喷嘴温度、模具温度、注射压力和成形时间。料筒温度应选择高一些，以便提高塑料的流动性，达到顺利充模的目的，而对厚壁塑料制品，则料筒温度可选择低一些；喷嘴温度一般比料筒最高温度略低一些，但也不能太低，以防堵塞喷孔，或在模腔中流入冷凝料；对于一些黏度高、流动性差、结晶速度快、内应力敏感的塑料，注射时模具必须加热，否则制品容易开裂。模具加热温度以不超过塑料的热变形温度为限，模温太高制品脱模时就会变形；注射压力的大小取决于塑料品种、注射机类型、模具结构、塑料制品厚度和流程及其他技术条件，尤其是浇注系统的结构和尺寸，在塑料熔体粘度较高、壁薄、流程长和针尖浇口等情况下，采用较高的注射压力，料筒温度高、模具温度高的注射压力也可以较低；合理的成形时间是保证制品品质，提高生产率的重要条件。

(2) 挤出成形主要由一个加热的料筒和一根在料筒中旋转的螺杆组成。料筒右端装有加料口，上有料斗，粉状或粒状的塑料通过料斗进入料筒。料筒的左端装有口模，在螺杆头与口模之间装有过滤网，过滤板等部件，使塑料沿着螺杆方向形成压力差。进入料筒的塑料，经外部加热和料筒内螺杆机械作用而成粘流态，并借助螺杆的旋转推力使熔料通过机头里的口模，挤成与口模形状相仿的连续体，此后经过定型、冷却、牵引、卷绕和切割等辅助装置，获得需要的制品。挤出成形的主要技术参数有：温度、压力和挤出速率。根据不同的塑料而异，一般情况下，加料段温度不宜过高，压缩段和计量段则可控制高一点，塑化温度一般是在 $180^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ ；根据塑料品种和塑料制品类型确定合理的数值及参数；挤出速度是单位时间内挤出机口模挤出的塑料质量(Kg/h)或长度(m/min)，与口模阻力、螺杆与料筒的结构、螺杆转速、加热系统和塑料特性有关。

(3) 模压成形的基本原理是将粉状、粉状或纤维状的固态塑料，置于成形温度下的模具型腔中，然后闭模加压，使其成形、固化的过程。在这一过程中，

置于模腔中的热固性塑料，在高温和压力作用下，先由固态变为熔融状，并在此状态下充满整个模腔，熔融态逐渐变为固态，最后开模取得所需塑料制品。压塑成形工艺参数有成形温度、成形压力和成形时间。成形温度是使物料熔融流动充满型腔，提供固化所需热量。调节和控制成形温度的原则是保证充模固化定型并尽可能缩短模塑周期；塑料品种、物料形态、塑料制品形状尺寸、成形温度、注射速度、压缩率和预热情况等均影响成形压力的大小，对于流动性差的塑料，采用的成形压力较高，制品形状越复杂、成形温度越低、成形深度越大、收缩率越大所需的成形压力越大；成形时间与成形温度、制品厚薄及塑料的硬化速度有关。

6.2 塑料成形的特性有：流动性、收缩性、结晶性、吸湿性与粘水性、热敏性和水敏性等。

（1）流动性指塑料在一定的温度与压力下填充模腔的能力。流动性小，将使填充不足，不易成形，成形压力大；流动性太大易使溢料过多，填充型腔不密实，塑料制品组织疏松，模具易黏及清理困难，硬化过早。因此，选用塑料的流动性必须与塑料制品要求、成形过程及成形条件相适应。



(2) 收缩性指塑料制品自模腔中取出冷却至室温后，其尺寸发生缩小的这种性能。收缩性主要影响塑料制件尺寸精度和质量。

(3) 结晶性指塑料由高温熔体向低温固态转变的过程中聚合物分子链的构型(结构形态)稳定规整的排列。①结晶性塑料比非结晶性塑料达到成型温度需要更多的热量；冷凝时，结晶性塑料放出热量多，需要较长的冷却时间；②结晶性塑料不像金属具有单一熔点，而是一个熔程；③结晶性塑料硬化密度与熔融时密度差别很大，成型收缩大，易发生缩孔、气孔；④由于分子的定向作用和收缩的方向性，结晶性塑料制品易变形、翘曲；⑤冷却速度对结晶性塑料的结晶度影响很大；⑥结晶度大的塑料制品密度的，强度、硬度高，刚度、耐磨性好，耐化学性和电性能好；结晶度小的塑料制品柔软性、透明性好，伸长率和冲击韧度较大。

(4) 吸湿性与粘水性是指塑料和其中的各种添加剂对水分的亲疏程度。塑料吸湿性大致可分为两类：一类是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料，如 ABS、聚酰胺、聚甲基丙烯酸甲酯等；另一类是既不吸湿也不易黏附水分的塑料，

如聚乙烯、聚丙烯等。对于具有吸湿或黏附水分倾向的塑料，在成形过程中由于水分在高温料筒中变为气体并促使塑料发生水解，导致塑料起泡和流动性下降，这不仅增加了成形难度，而且降低了塑料制品的表面品质和力学性能。因此，对这一类塑料，在成形之前应进行干燥，以除去水分。

(5) 热敏性是指塑料对热较为敏感，在高温下受热时间较长或进料口截面过小，剪切作用大时，料温增高易发生变色、降聚、分解的倾向，塑料的这种特性的称之为热敏性。如硬聚氯乙烯、聚三氟氯乙烯等为热敏性塑料。热敏性塑料在分解时产生单体、气体、固体等，有的气体对人体、设备、模具有害，而且降低塑料的性能，应予以预防。为了防止热敏性塑料在成形加工过程中出现分解现象，一方面在塑料中加入热稳定剂，另一方面应选择螺杆式注射机，模具可镀铬；同时，必须严格控制成形温度、模温、加热时间等。

(6) 水敏性指塑料即使含有少量水分，在高温、高压下也会发生分解的特性，如聚碳酸酯。对此种塑料必须在成形之前进行加热干燥处理。

6.3 热塑性塑料注射模的基本组成为：成形零部件、浇注系统、导向机构、脱模机构、分型抽芯机构、冷却系统和排气系统等。

6.4 注射成形模的分型面是指模具闭合时凸模与凹模相配合的接触面。正确选择分型面对制品品质、成形工艺特性和模具制造都有很大影响，它决定了模具的结构形式，是模具设计工作中的重要环节。分型面的选择应便于塑料制品脱模和简化模具结构；有利于提高制品的外观品质；有利于提高制品的尺寸精度；有利于排气；有利于防止溢料。

6.5 热塑性注射模普通浇注系统由主流道、分流道、浇口及冷料井组成。

（1）主流道是从喷嘴口起至分流道入口处的一段进料通道。主流道的设计特点是：为了便于塑料熔体按序顺利地向前流动，开模时主流道凝料又能顺利地的主流道中拔出；主流道通常设计成圆锥形，其锥角 $\alpha=2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ，对流动性较差的塑料可取 $\alpha=3^{\circ}\sim 6^{\circ}$ ；主流道入口端应制成半球形凹坑，半径 $R_2=R_1+(1\sim 2)\text{mm}$ ，小端直径 $d_1=d_2+(0.5\sim 1)\text{mm}$ ；主流道长度应尽可能短，常取 $L\leq 60\text{mm}$ ；主流道出口应做成圆角，圆角半径 $r=0.5\sim 3\text{mm}$ ；主流道表面粗糙度一般应在 $Ra=0.63$ 以下。

（2）冷料井的作用是搜集料流前锋的“冷料”，防止“冷料”进入型腔而影响塑

料制品品质，开模时又能将主流道中的冷凝料拉出。冷料井直径宜稍大于主流道直径，长度约为主流道大端直径。

(3) 分流道的作用是使熔融塑料过渡和转向。①分流道截面形状有圆形、梯形、U 形和六角形等。设计分流道时为减少分流道内的压力损失，希望分流道截面积要大，为减少散热，希望分流道表面积要小。通常用分流道的截面积(A)与周长(L)的比值(R)来表示流道的效率。流道效率高意味着流体和流道壁的接触少，阻力小，通流能力大，压力损失小，散热少；流道效率低则反之。②分流道的布置取决于型腔的布局，分流道布置的原则是应尽量均匀布置，使各浇口处压力降相等；流程应尽量短，排列紧凑，使模具尺寸小。分流道的布置形式分为：**a.平衡式**，特点为主流道至各型腔的分流道，其长度、形状、断面尺寸等必须对应相等，保证各型腔的热平衡和塑料的流动平衡；加工时注意对应部位尺寸的一致性；但其加工困难，分流道长。**b.非平衡式**，特点为主流道至各型腔的分流道长度各不相同，为了使各个型腔同时均衡进料，须将浇口开成不同的尺寸；对于品质要求很高的塑料制品，不宜采用非平衡式布置，在多型腔数时，可缩短流道的总长度。③分流道表

面不要求太光洁，表面粗糙度要求达到 $Ra=0.8\mu m$ 为佳。

(4) 浇口是连接分流道与型腔之间的一段细短流道，其作用是调节控制料流速度、补料时间及防止倒流。选择浇口位置时应遵循以下原则：①避免塑料制品上产生缺陷；②浇口应开设在塑料制品截面最厚处；③浇口位置应有利于型腔排气；④浇口位置应使熔料流程最短，料流变向最少，并防止型芯变形；⑤浇口位置及数量应有利于减少熔接痕和增加熔接强度；⑥浇口位置应尽量开设在边缘和底部，以保证制品外观不受影响；⑦确定大型塑料制品的浇口位置时，须校核流动比，以保证塑料熔体能充满整个型腔；

6.6 注射模成形零件设计包含凹模、凸模（型芯）、各种成形杆和成形环的设计。

成形零部件结构设计主要应在保证塑料制品品质的前提下，从便于加工、装配、使用、维修等方面考虑。凹模用以形成塑料制品的外表面，按其结构不同可分为整体式、整体嵌入式、局部镶嵌式和拼合式等形式。凸模又称为型芯或阳模，是用于成形塑料制品内表面的零部件。成形杆是指能形成塑料制品孔、槽的小型芯。与凹模相似，凸模的结构形式也可为整体式凸模和组合

式凹模。

6.7 压塑模按凸凹模结构特征可分为溢料式、不溢式、半溢式 3 种类型。

(1) 溢料式模压成形模又称敞开式模压模，该模具无单独的加料腔，模具型腔起加料腔作用；由于凸模、凹模没有配合面，因此模压时过剩的塑料极易溢出，使成形密度不高，强度也差；同时，这类模具压缩的塑料制品飞边是水平方向的，去除溢边常会损害塑料制品的外观；其优点为结构简单，塑料制品易取出，加料不需要十分准确。它适合于压制扁平的盘形塑料制品，流动性好的低精度及薄壁大型塑料制品，如各种盒盖、纽扣、装饰品等。

(2) 不溢式模压成形模的特点是加料腔是型腔的延续，其断面形状、尺寸与型腔完全相同，无挤压面、成形时压力机的压力全部传递到塑料制品上，能获得密度高、强度大、形状复杂、壁薄、长流程、比容大的塑料制品；特别适用于含棉布、玻璃纤维等长纤维模料的塑料制品，产生溢边少，且呈垂直方向分布，易除去采用不溢式模具结构时，由于塑料的溢出量少，加料量直接影响制品的高度尺寸，所以加料要求准确，一般也不应设计成多腔式模，不溢式模具脱模困难，应设脱模装置。

(3) 半溢式模结构的特点是具有加料腔、挤压面用这类模具使用成形的塑料制品兼有溢式和不溢式的优点，既能保证壁厚尺寸精度，又能保证高度方向尺寸精度，而且致密度高；模具使用寿命长，塑料制品脱模容易。凸模与加料腔在制造上较不溢式简单；其缺点是对于流动性差的片状或纤维状塑料的成形会形成较厚的毛边。半溢式模压成形模具使用广泛，适用于各种模塑成形场合，如单型腔、多型腔、大的、复杂的塑料制品等。

6.8 半溢式压塑模与溢式压模相同的是都有一个水平的环形挤压面，称挤压环，用于凸模下行限位，保证最薄的横向毛边。半溢式压塑模与不溢式压模相似的是凸模与加料腔也常设有配合环和引导环。其配合关系及尺寸类似于不溢式压模，特殊的是凸模的前端周边常设计成外圆角 $R=0.5\sim 0.8\text{mm}$ ，加料室底四周也设计成外圆角 $R=0.3\sim 0.5\text{mm}$ ，这样有利于凸模导入加料室，也有利于清除废料，同时凸凹模都不易损坏。在挤压环之外常有一环形的储料空间，称为储料槽。储料槽通过凸模或凹模上的排气溢料槽与加料腔相通，其大小应适当。当储料槽过大时，易发生制品缺料或压制不实；当储料槽过小时，



则影响制品精度及毛边增厚，一般它的尺寸取 0.5~1mm。

6.9 常用的管机头可以分为直通式、直角式和旁侧式机头。

(1) 直通式机头的特点是机头形式结构简单，制造容易，但由分流器支架筋所形成的熔接痕不易消除，管材力学性能低。

(2) 直角式机头的特点是内部无分流器支架，塑料熔体在机头中包围芯模流动成形，因此只产生一条分流痕迹，定型精度高；另外，流动阻力较小；料流较稳，出料较均匀；生产率高，成形品质较好；但是结构比较复杂，制造较困难，生产占地面积较大。

(3) 旁侧式机头的特点与直角式相似，适合于大口径、厚壁管材成形；但是其结构复杂，挤出成形时的料流阻力较大。机头设计的主要内容包括口模、芯棒、分流器、分流器支架、过滤板、机头体等部件的设计。

6.10 塑料制品的结构技术特征包括塑料制品几何形状的设计和金属嵌件的设计。

(1) 塑料制品几何形状的设计则包括脱模斜度、壁厚、加强筋、圆角、孔和支承面的设计。①塑件脱模斜度的大小，与塑件的性质、收缩率、摩擦因数、

塑件壁厚和几何形状有关，也和制品高度、型芯长度有关。一般最小脱模斜度为 $15'$ ，通常取 0.5° 即可。

②合理确定塑料制品壁厚是十分重要的。壁厚应设计合理，壁太薄则流动阻力大、会产生缺料现象；壁太厚塑料制品内部易产生气泡、凹陷等缺陷；壁厚不均匀将造成收缩不一致，导致塑料制品变形、翘曲。因此，塑件的壁厚一般为 $1\sim 6\text{mm}$ ，大型塑件的壁可达 8mm 。

③加强筋的厚度应小于塑件壁厚，并与壁用圆弧过渡；加强筋的高度也不宜过高，否则会使筋部受力破坏，降低自身的刚性；加强筋端部不应与塑件支承面平齐，而应缩进 0.5mm 以上。

④以塑料制品整个底面作支承面，一般说来是不易做到的，因为模塑成形后要使该面各点均在同一水平面颇为困难。因此，通常采用凸缘或凸台作为支承面。

⑤在设计塑料制品结构时，应尽可能采用圆角。当圆弧半径小于塑料制品壁厚 $1/4$ 时，其应力集中系数多数小于 2；当这个比值增大为 $1/2$ 时，其应力集中系数可减至 15。

⑥常见的孔有通孔、盲孔、异形孔（形状复杂的孔）；孔与孔之间、孔与壁之间应留有足够的距离，以保证有足够的强度。

⑦塑料制品上出现侧孔及侧凹时，为便于脱

模，必须设置滑块或侧抽芯机构，从而使模具结构复杂，成本增加。因此，在不影响使用要求的情况下，塑料制品应尽量避免侧孔或侧凹结构。

(2) 设计金属嵌件应注意以下几个方面：①设计嵌件时由于金属与塑料冷却时的收缩值相差较大，致使嵌件周围的塑料存在很大的内应力，如果设计不当，则会造成塑料制品的开裂。②嵌件尽可能采用圆形对称形状，以利均匀收缩。其边棱应倒成圆弧或倒角，以减少应力集中。③为了防止嵌件受力时转动或拔出，嵌件部分表面应制成交叉滚花、沟槽、开孔、弯曲或采用合适的标准件等结构，保证嵌件与塑料之间具有牢固的联接。④嵌件在模具内应定位准确，以保证尺寸精度。⑤当嵌件过长或呈细长杆状时，应在模具内设支柱以免嵌件弯曲，但会在塑料制品上留下孔。⑥当嵌件为通孔、高度与塑料制品相同，但嵌件高度有公差要求时，塑料制品设计高度应大于嵌件高度0.5mm以上，以防止嵌件被压缩变形。

6.11 影响橡胶注射成型的主要技术因素有螺杆转速、注射速度、注射压力、温度（机筒温度、注射温度和模具温度）、硫化条件和胶料。

(1) 胶料塑化时，螺杆转速对注射温度、硫化时间和塑化能力都有影响。螺

杆转速越高，胶料受到剪切、塑化、均化的效果越好，可获得较高的注射温度，缩短注射时间和硫化时间。转速过高，使螺杆表面的橡胶分子链发生取向，产生“包辊现象”，结果使一部分胶料随着螺杆而旋转，不能产生剪切作用。螺杆转速不超过 100r/min 为宜。国内经验值在 30~50r/min，螺杆直径大的转速宜低些，黏度高的胶料，转速也应低些。

（2）注射速度与注射压力、喷嘴直径及胶料性质有关。注射速度越高，注射温度和硫化速度越快，由于注射温度增加，缩短了注射时间，提高了生产效率。但注射速度过高，由于摩擦产生热量大，易焦烧，或制品表面产生皱纹或缺胶。注射压力对胶料填充模具有决定性的作用。其值大小取决于胶料的性质、注射机类型、模具结构及其他技术条件。

（3）合理的温度能保证胶料顺利注射和快速硫化，主要控制的是机筒温度、注射温度及模具温度。①机筒温度：橡胶的塑化过程其他技术条件和硫化胶某些性能（如硬度等）提高机筒温度可以提高注射温度，缩短注射时间和硫化时间。机筒温度的选择通常应在焦烧安全许可的前提下尽量提高一些。②

注射温度：胶料通过喷嘴之后的温度控制原则是在焦烧安全许可的前提下尽可能接近模腔温度。温度过高，容易产生焦烧，若过低则造成硫化时间延长。

③模具温度：根据胶料硫化的条件来确定。从提高生产率的角度，模温应尽可能采用充模时不会焦烧的最高温度，以免因模温过低，延长硫化时间，降低产量。一般模温的选择应比焦烧时的温度低 3~5℃。

（4）硫化条件通常是指硫化压力、温度和时间。当硫化压力、温度确定后，则主要考虑硫化时间。硫化时间是完成硫化反应过程的条件，它是由胶料配方、硫化温度来决定的。时间过长产生过硫，时间过短产生欠硫，过硫和欠硫都使制品性能下降。

（5）一般情况下，可用测定门尼黏度和焦烧时间来预估胶料是否适合于注射。如果门尼黏度不大于 65 门尼，而焦烧时间在 10-20min，通常认为这种胶料适合于注射。

目前橡胶注射成形主要应用于模型橡胶制品，如：密封圈、带金属骨架模制品、减振垫和鞋类等橡胶制品的生产，也试用于注射橡胶轮胎制品。

6.12 压延成形技术能够生产胶片，如胶料的压片、亚型和胶片的胶片的贴合，

胶布的压延，如纺织物的贴胶、插胶和压力贴胶等。其特点是连续生产过程、压延成形速度快、生产效率高、产品断面厚度尺寸精确。如橡胶的压延速度一般在 30~50m/min，胶布的压延速度可达 100m/min 以上。对压延制品的品质要求是表面光滑，花纹清晰，内部密实，断面几何形状准确，厚度尺寸精确。橡胶制品的生产主要包括混炼、成形、硫化等加工过程。橡胶的混炼是将各种配合剂混入并均匀分散在橡胶中的过程，其基本任务是生产出符合品质要求的混炼胶。将混炼好的胶料可通过压延机来成形得到板材、片材或在织物上贴胶而得到胶布等半成品。这些半成品还要经过加热、加压硫化而得到最终产品。橡胶硫化的目的在于使橡胶具有足够的强度、耐久性及抗剪切和其他变形能力，减少橡胶的可塑性。而塑料的压延成形是将加热塑化好的热塑性塑料直接成形为板材、片材、薄膜，人造革或其他涂层制品的最终产品。

- 6.13 挤出成形是使高弹性的橡胶在挤出机机筒及螺杆的相互作用下，受到剪切、混合和挤压，在此过程中，物料在外加热及内摩擦剪切作用下熔融成为黏流

态，并在一定的压力和温度下连续均匀地通过机头口模成形出各类断面形状和一定尺寸的制品。在橡胶加工中，它可以用来成形轮胎胎面胶条，内胎、胎筒、纯胶管、胶管内外层胶和电线电缆等半成品，也可用于胶料的过滤、造粒、生胶的塑炼等。

(1) 热喂料挤出成形过程中主要技术条件包括：①塑料胶料的可塑性通常挤出胶料的可塑度为 0.25~0.4（冷喂料挤出为 0.3~0.5）可塑性适当时，挤出过程摩擦小，生热低、不易焦烧、流动性好、挤出速度较快，且表面光滑。②挤出温度 挤出机各段温度直接影响挤出过程的正常进行和制品的品质。③挤出速度 通常是以单位时间内挤出物料的体积或质量来表示，对一些固定产品单位时间挤出长度来表示。应选择合适的挤出速度大小和保持稳定的挤出速度。④挤出物的冷却 挤出物离开口模时，温度较高，必须冷却，其目的是防止半成品存放时产生自硫；使胶料恢复一定的挺性，防止变形。

(2) 冷喂料挤出，其主机采用冷喂料挤出机，具有节省热炼设备，易实现机械化、自动化生产等特点，由于主机强化了螺杆结构的剪切和塑化作用，使胶料获得均匀的温度和压力。改善了挤出制品的品质，减小了表面粗糙度，压出的半成品具有较稳定一致的尺寸规格。冷喂料挤出过程与热喂料有所不同，加热前应先将各部位温度调节到规定值。待温度稳定后，以低速开启电机，然后加料。与热喂料一样，在冷喂料挤出过程中要注意控制物料的可塑性、温度、挤出速度等技术因素。

6.14 橡胶制品的成形特性包括：流变性能、流动性、硫化性能和热物理性能。

第七章 课后复习思考题

- 7.1 模具的结构一般由哪几部分组成？何谓模具的封闭高度？有何作用？
- 7.2 对模具材料有哪些性能要求？选择模具材料的原则和需要考虑的因素有哪些？
- 7.3 什么是模具寿命？有哪些因素会影响模具寿命？
- 7.4 模具的主要失效形式有哪些？它们的失效机理是什么？
- 7.5 模具制造的特点有哪些？模具的制造一般分为几个阶段？
- 7.6 模具电火花加工的基本原理是什么？它必须满足哪几个基本条件？

参考答案

- 7.1 模具的基本结构主要由动模（上模）和定模（下模）两大主要部分组成。从各个部件的功能上可分如下几类零部件组成：(1)成形工作零件：直接加工或形成制件形状和表面的零部件。(2)导向、定位零件：保证模具的运动方向和模具定位，确保成形零件的相对关系合理(或间隙均匀)，能准确对合，保证坯料有一个正确的加工位置。(3)支承零件：固定、连接和支承模具成形零件、功能零件的零部件，使模具各部分能组装一起形成一副完整的模具，方便安装和调试；也是与设备连接的接口部分。(4)送料、顶料机构、检测及安全机构：保证模具连续可靠工作，方便制件的取出，可靠的进行手工或自动送、进料等。(5)其它零件：各类标准件，如螺钉、销、键、弹簧等。模具的封闭高度是指模具在最低工作位置时，上、下模板（座）与成型设备安装面间的距离。冲模的闭合高度应与压力机的装模高度相适应，否则模具就不能在压力机上使用。
- 7.2 作为材料成形加工的工具，模具的服役条件恶劣，精度要求高，并且要求具有一定的使用寿命。



(1) 模具材料的使用性能要求有：①硬度和耐磨性 这是最基本的性能要求。有了一定的硬度和耐磨性，才能使模具在特定的工作条件下，保持形状和尺寸的稳定而不迅速发生变化。②强度、塑性和韧性 要求模具材料具有良好的塑性，提高其抗脆断能力；要求具有高强度、高韧性和高的抗疲劳强度，满足模具在工作时能承受高压和冲击循环载荷。③抗热性能 模具材料经常受到高温作用或直接在高温工作。冷作模具（冷挤压模）在强烈摩擦时，局部的温升可达 400°C 以上，热作模具的温升更高，锻模可达 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，热挤压模具可达 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，压铸模达 $300\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。这就要求模具具备一定的抗热性能。模具材料的热性能包括热强性、热硬性、热稳定性、热疲劳抗力和抗粘着性等。

(2) 模具材料的加工性能要求：①热加工性能 包括铸造性能、锻造性能和焊接性能。②冷加工性能 包括切削、抛光、研磨等性能。③热处理性能 包括淬透性和淬硬性，要求热处理变形小，淬火温度范围宽，过热敏感性低。模具材料选用的一般原则是：①足够的强度、硬度、塑性、韧性等 根据模



具工作条件，失效形式，寿命要求，可靠性等提出材料的强度、硬度、塑性、韧性等指标，提出时要考虑尺寸效应及主要关键的性能指标。②良好的加工性能 所选材料根据不同的制造工艺过程应具有良好的加工性能。

(3) 模具材料供应正常 应考虑市场资源和现实供应情况，尽量在国内解决，少进口，并且品种规格相对集中。

(4) 经济性合理 在满足性能和使用条件下尽量选用价格低的材料。模具材料选用考虑的因素是：①模具的工作条件 包括承载大小和性质、工作温度、腐蚀情况等；②模具的失效形式 分析弄清模具失效属于塑性变形失效、磨损失效还是断裂失效等。③模具所加工产品的特征 分清产品材质、形状复杂程度、生产批量大小、品质高低等。④模具自身结构 模具的大小、形状、模具的不同组件和不同部位等。⑤模具的制造过程 热加工、冷加工、特种加工、热处理、表面处理等。⑥模具的设计因素 大型模具常采用组合或镶嵌结构，工作部位和支承部位材料可不相同，如大型汽车覆盖件冲压模具。也可采用低级材料进行强化处理。

7.3 模具寿命是指模具在保证产品零件品质的前提下，所能加工的制件的总数量，它包括工作面的多次修磨和易损件更换后的寿命。即在不发生事故的情况下，模具的自然寿命。模具寿命与模具类型和结构有关，它是一定时期内对模具材料技术、模具设计与制造技术、模具热处理技术以及模具使用维护水平的综合反映。影响模具寿命的因素有：（1）模具结构，包括：模具圆角、几何形状和导向装置；（2）模具材料，模具材料必须满足模具对塑性变形抗力、断裂抗力、疲劳抗力、硬度、耐磨性、冷热疲劳抗力等性能的要求，如不能满足模具则会发生早期失效。（3）模具加工制造，模具加工制造工艺过程，特别是锻造工艺过程对模具的失效影响极大。模具的切削加工必须严格符合设计要求，应保证尺寸过渡处的圆角半径，圆弧与直线相接处应光滑。模具热处理的目的是获得所需要的内部组织和性能。（4）模具工作条件，模具使用寿命与模具的工作条件也密切相关。首先与成形材料及其温度有关；其次，模具寿命与成形设备有关；再次，模具工作时的冷却和润滑对其寿命也有影响。

7.4 模具的基本失效形式有磨损、断裂及开裂、疲劳及冷热疲劳、变形、腐蚀。



(1) 磨损失效 模具在工作过程中,与成形坯料接触,产生相对运动,造成磨损。当这种磨损使模具的尺寸发生变化或改变了模具的表面状态使之不能继续服役时,称为模具的磨损失效。磨损失效按磨损的机理又可分为以下几种:①磨粒磨损;②粘着磨损;③疲劳磨损;④气蚀磨损和冲蚀磨损;⑤腐蚀磨损。

(2) 断裂失效 模具出现大裂纹或分离为两部分或数个部分,丧失服役能力时,称为断裂失效。对模具来说断裂是最严重的失效形式,它是各种因素产生的裂纹扩展的归宿。若按断裂性质可分为塑性断裂、脆性断裂;若按断裂路径可分为穿晶断裂、沿晶断裂和混晶断裂;若按断裂机理可分为一次性断裂和疲劳断裂。

(3) 塑性变形失效 模具在使用过程中,发生塑性变形,改变了零件的几何形状或尺寸,而不能修复再服役时称为塑性变形失效。模具在工作过程中承受着很大的力,而且一般也不均匀,当模具的某个部位所受到的应力超过了模具材料在当时温度下的屈服强度,就会产生塑性变形导致模具失效。

7.5 模具制造的特点有:(1)形状复杂;(2)制造品质要求高;(3)材料硬度高;

(4) 单件生产；(5) 模具生产周期短；(6) 模具生产的成套性；(7) 试模与修模；(8) 模具加工向机械化、精密化和自动化发展；产品零件对模具精度的要求越来越高，高精度、高寿命、高效率的模具也越来越多。目前，精密成型磨床、CNC 高精度平面磨床、精密数控电火花线切割机床、高精度连续轨迹坐标磨床以及三坐标测量仪的使用越来越普遍，使模具加工向高技术密集型发展。模具的制造一般分为 6 个阶段：(1) 模具方案确定；(2) 模具设计；(3) 生产准备；(4) 模具成形零件加工；(5) 装配与调试；(6) 试模与验收。

7.6 模具电火花加工是指在一定介质中，通过工具电极和工件电极之间脉冲放电时的电腐蚀作用而去除材料的一种工艺方法。可以加工各种高熔点、高硬度、高强度、高纯度、高韧性的材料。其原理是脉冲电源输出的单向脉冲电压作用在工件和电极上，当电压升高至工件和电极间隙中填充的工作液的击穿电压时，使工作液在两电极表面微小尖峰间的最小距离处被击穿，产生火花放电。火花放电引起的瞬时高温时工件和电极表面都被蚀除掉一小块材料。一

次脉冲放电在工件和电极表面各形成一个凹坑，形成新的极间尖峰，每次放电都发生在极间最小距离的尖端，不会在同一位置重复放电。这样经过多次脉冲放电后，材料不断被蚀除，使整个工件的加工表面形成无数个小放电坑，电极的轮廓形状便被复制到工件上，从而完成工件的加工。实现电火花加工的基本条件：（1）脉冲电源：必须具有波形为单向的脉冲电源，脉冲宽度小于 $10^{-3}s$ ，放电时产生的热量来不及传散到材料内部，保证良好的加工精度和表面品质。同时，先后两次放电之间，必须要有足够的停歇时间使极间介电液充分消电离，恢复其介电性能，保证每次脉冲放电不在同一点重复进行，避免发生局部烧伤现象。（2）足够的放电能量：保证在脉冲放电点有足够的放电强度使局部金属熔化和气化。（3）放电间隙：电极与工件之间必须始终维持一定的间隙。间隙与工作介质、加工电压有关，一般为 $0.01\sim 0.1mm$ 。（4）绝缘介质：为了使脉冲放电能重复进行，极间必须充有绝缘介质，同时，绝缘介质还有排出放电间隙中的电蚀物和冷却电极的作用，常用的绝缘介质有煤油、皂化液、水基液等。

第八章 课后复习思考题

- 8.1 如何拟定材料成形方案？
- 8.2 材料成形过程与材料的选择有什么关系？
- 8.3 如何考虑材料成形过程的经济性与现实可能性？
- 8.4 如何控制成形件的品质？
- 8.5 什么叫做再制造技术？再制造技术的发展趋势如何？

参考答案

- 8.1 毛坯的选择与制造的品质直接影响成品的品质，如何正确地选择毛坯、正确地拟定成形加工方案不仅直接影响零件的力学性能、尺寸精度及表面品质，而且涉及生产过程、周期乃至整部机器的使用性能、制造成本及市场竞争能力。因此，正确地拟定材料成形方案及控制好其品质是机械设计与制造中的首要问题。材料成形方案拟订的一般原则是：（1）选择材料与成形过程的关系；（2）选择材料与成形过程的经济性与现实可能性；（3）材料成形技术的安全生产。
- 8.2 一般而言，选择材料与成形加工过程是互为依赖，相互影响的。一定的加工方法必须配合选择相对应的材料；一定的材料也必定选择相对应的加工过程。结构形状和尺寸、精度、表面粗糙度的要求在很大程度上左右了毛坯加工方法的选择。
- 8.3 考虑选择材料与成形过程的经济性，要注意以下几点：（1）尽量选用生产过程简单，生产率高，生产周期短，能耗与材料消耗少，投资小的毛坯加工方法，即使成本下降，又能保证其品质优良。（2）毛坯的加工批量决定了加工



的机械化、自动化程度。批量越大，越有利于机械化、自动化程度的提高。

(3) 毛坯选择要全面考虑生产过程的总成本，结合分析设计试验费、材料费、毛坯加工费、切削加工费、使用维修费等，分析相互的联系和制约，全面权衡利弊，选择最佳的经济方案。

- 8.4 对成形件进行检验是提高产品设计品质，改进成形技术，降低生产成本的重要手段。成形件检验包括：(1) 破坏检验 从成形件上切取试样，或以产品（或模拟件）的整体做破坏试验以检查其各项力学性能指标的试验法。(2) 无损检验和无损评价 不损坏被检对象（材料或成品）的性能和完整性的情况下，进行对该被检对象的缺陷、性质和内部结构等状况的检测，做出失效程度的评价。
- 8.5 磨损、腐蚀、疲劳等对机械设备及资产造成巨大损失。再制造技术与传统制造技术的重要区别之一是毛坯再制造成形技术。再制造工程是先进制造技术 21 世纪发展的一个重要组成部分和发展方向，是一个统筹考虑产品部件全寿命周期管理的系统工程，是利用原有零件并采用再制造成形技术（包括高新表面工程技术和其他加工技术），使零部件恢复尺寸、形状和性能，形成再制造的产品。再制造产品的品质控制是再制造工程的核心，再制造成形技术和表面技术是再制造技术的关键技术。这些技术的应用离不开产品的失效分析、检测诊断、寿命评估、品质控制等多种学科，所以发展再制造工程还能牵动其他学科的发展。 其他学科的发展反过来促进再制造技术的进步、发展和完善。