

第一章 金属液态成形

1.

1 液态合金的充型能力是指熔融合金充满型腔，获得轮廓清晰、形状完整的优质铸件的能力。

2 流动性好，熔融合金充填铸型的能力强，易于获得尺寸准确、外形完整的铸件。流动性不好，则充型能力差，铸件容易产生冷隔、气孔等缺陷。

3 成分不同的合金具有不同的结晶特性，共晶成分合金的流动性最好，纯金属次之，最后是固溶体合金。

4 相比于铸钢，铸铁更接近更接近共晶成分，结晶温度区间较小，因而流动性较好。

2. 浇铸温度过高会使合金的收缩量增加，吸气增多，氧化严重，反而是铸件容易产生缩孔、缩松、粘砂、夹杂等缺陷。

3. 缩孔和缩松的存在会减小铸件的有效承载面积，并会引起应力集中，导致铸件的力学性能下降。

缩孔大而集中，更容易被发现，可以通过一定的工艺将其移出铸件体外，缩松小而分散，在铸件中或多或少都存在着，对于一般铸件来说，往往不把它作为一种缺陷来看，只有要求铸件的气密性高的时候才会防止。

4 液态合金充满型腔后，在冷却凝固过程中，若液态收缩和凝固收缩缩减的体积得不到补足，便会在铸件的最后凝固部位形成一些空洞，大而集中的空洞成为缩孔，小而分散的空洞称为缩松。

浇不足是沙型没有全部充满。冷隔是铸造后的工件稍受一定力后就出现裂纹或断裂，在断口出现氧化夹杂物，或者没有融合到一起。

出气口目的是在浇铸的过程中使型腔内的气体排出，防止铸件产生气孔，也便于观察浇铸情况。而冒口是为避免铸件出现缺陷而附加在铸件上方或侧面的补充部分。

逐层凝固过程中其断面上固相和液相由一条界线清楚地分开。定向凝固中熔融合金沿着与热流相反的方向按照要求的结晶取向进行凝固。

5. 定向凝固原则是在铸件可能出现缩孔的厚大部位安放冒口，并同时采用其他工艺措施，使铸件上远离冒口的部位到冒口之间建立一个逐渐递增的温度梯度，从而实现由远离冒口的部位像冒口方向顺序地凝固。

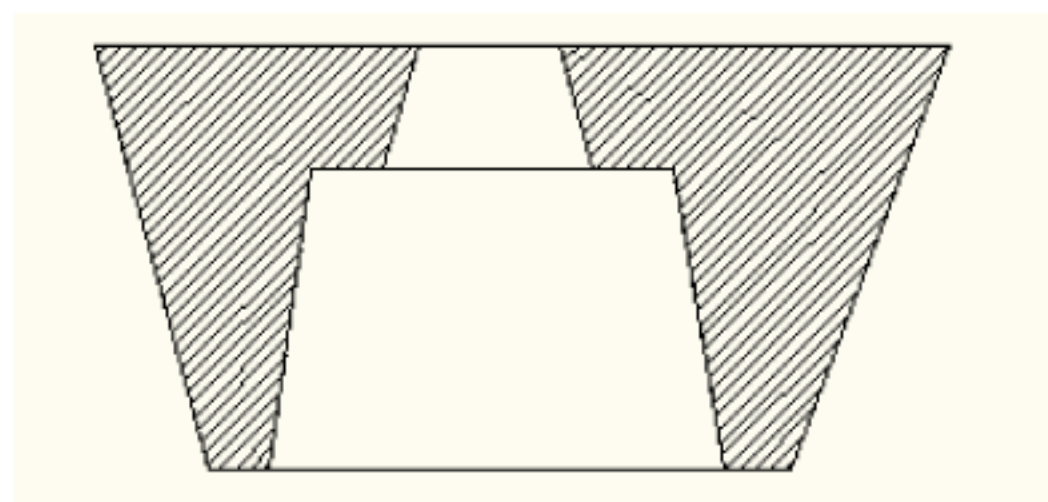
铸件相邻各部位或铸件各处凝固开始及结束的时间相同或相近，甚至是同时完成凝固过程，无先后的差异及明显的方向性，称作同时凝固。

定向凝固主要用于体收缩大的合金，如铸钢、球墨铸铁等。同时凝固适用于凝固收缩小的合金，以及壁厚均匀、合金结晶温度范围广，但对致密性要求不高的铸件。

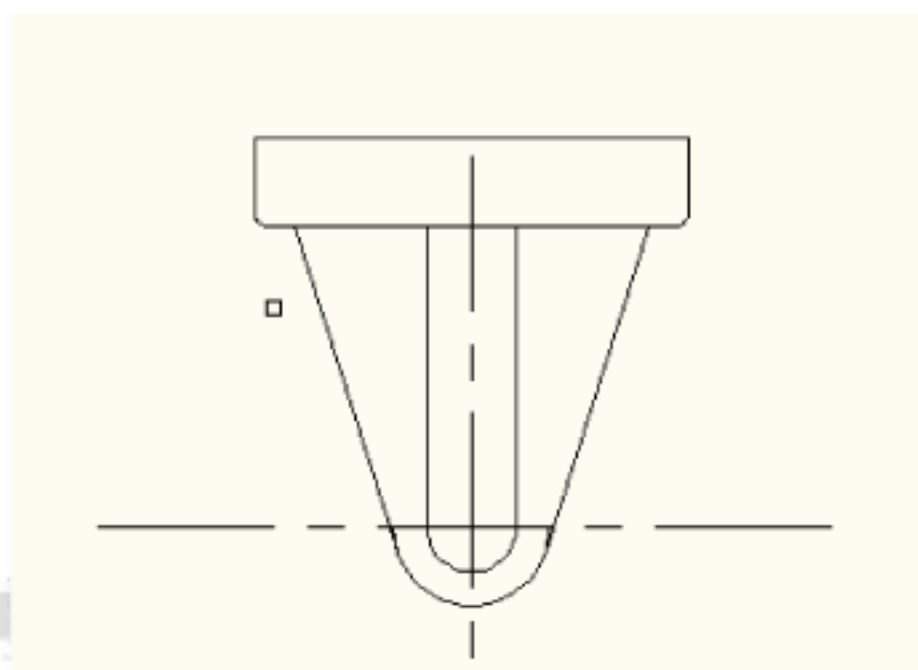
6. 不均匀冷却使铸件的缓冷处受拉，快冷处受压。零件向下弯曲。

10. 铸件的结构斜度指的是与分型面垂直的非加工面的结构斜度，以便于起模和提高铸件精度。

结构斜度是零件原始设计的结构；拔模斜度是为了造型拔模（起模）方便，而在铸件上设计的斜度。无法起模，结构可改为下图所示



1.12 无法起模， 可将凸台延伸至分型面



1.13 结构圆角可减少热节，缓解应力集中。 分型面的圆角不合理，应该为直角。

1.14 a 方案存在较大的水平面，不利于浇铸， 左上角的结构距离太近，不利于铸造。

b 方案有较好的结构斜度，利于浇铸，但存在锐角连接，可能会产生热节等缺陷，但其方向不影响液体流动。 综合比较，b 较好

1.15 加工困难是因为外形结构存在凹面，起模困难，断腿是因为直角连接处存在应力集中。

可将直角改为圆角，适当增加壁厚。根据结构需要，可将内凹弧面改为平面或者其他利于铸造的结构。

1.16

a：铸造需要型芯。可改为工字型结构 b：铸造时，型芯无法固定。开设工艺孔，增加型芯头。c：结构过于复杂。可将口开成与内壁宽度相同，平滑连接，减少型芯数量。圆弧外的凸起，无法起模，可以将分型面转换到与凸起物垂直的面上。d：缺少圆角，且中间部分太厚，容易产生缩孔等缺陷。

过渡处倒圆角，尤其是半径转换的地方。在不改变结构的情况下，可以从底部加一块型芯，既可以避免过厚，又可以减少重量。

1.18 熔模铸造又称失蜡铸造，是利用蜡来制作外壳，形成模具，浇铸成型的铸造方法。

- 1 制造蜡模，将糊状蜡料压入金属模具，冷凝后取出。
- 2 制造型壳，在蜡模组表面涂上涂料，然后硬化，重复多次，形成耐火坚硬型壳。

- 3 脱蜡，将蜡模浸入热水中，融化蜡料
- 4 型壳焙烧，将型壳放入800-950度加热炉中保温，去除残余蜡和水分
- 5 浇注，趁热浇入合金液，凝固冷却。
- 6 脱壳和清理，人工或机械去除型壳，切除冒口。

1.19

- 1 有较高的尺寸精度和较小的表面粗糙度，机械加工余量小。
- 2 导热性好，冷却速度快，铸件的晶粒细小，力学性能好。
- 3 可实现一型多铸，提高劳动生产率，节约造型材料，减轻环境污染。

金属型因不透气且无退让性，铸件容易产生冷隔冷缺陷，加上金属型无溃散性，因此不宜铸造形状复杂、薄壁、大型铸件。制造成本高，周期长，不宜单件小批生产，受金属型材料熔点的限制，不宜生产高熔点合金铸件。而砂型铸造尽管精度低，但适用范围广，成本低，因此金属型不能取而代之。

1.22 离心铸造时将熔融金属浇入旋转的铸型中，在离心力的作用下充填铸型并凝固成形的一种铸造方法。

不用型芯即可铸造出圆筒件，省去了浇铸系统的冒口；金属由表向内定向凝固，改善了补缩条件；离心力的作用提高了金属液的充型能力；便于制造双金属铸件。

1.26

类别	石墨形态	制造过程	适用范围
灰铸铁	片状	$w_c = 2.6 \sim 3.6\%$ $w_{si} = 1.2\% \sim 3.0\%$ ，向铁液中冲入75%硅铁或硅钙合金等。对精度要求较高或大型复杂铸件，加工前应进行消除应力退火。消除白口退火用于表层或薄壁处出现白口组织的灰铸铁。对表面要求高硬度高耐磨的导轨等可采用接触电阻加热进行表面淬火。	常用于制造床身、机座等要求耐压、消振、减磨耐磨的零件
可锻铸铁	团絮状	$w_c = 2.2 \sim 2.8\%$ $w_{si} = 1.0\% \sim 1.8\%$ 先由一定化学成分的铁水迅速冷却获得白口组织，再进行高温、长时间石墨化退火。	适于制造形状复杂，壁厚薄，承受振动，要求较高强度的小铸件，如弯头等
球墨铸铁	球状	$w_{si} = 2.0\% \sim 3.2\%$ $w_c = 3.6 \sim 4.0\%$ 冲入稀土镁合金等球化剂，在铁液包内的球化剂与铁液充分反应后，将孕育剂放在炼铁炉出铁槽内，冲入孕育剂。 热处理有为获得铁素体基体的退火，获得珠光体基体的正火等。	应用于曲轴、凸轮轴等承受载荷较大、承受振动和一定冲击、要求耐磨损的铸件。

蠕墨铸铁	蠕虫状	与球墨铸铁相似，只是蠕化铸铁液中加入的是适量的蠕化剂。	可用于制造汽缸盖，钢锭模，液压阀等铸件
白口铸铁	渗碳体	快速冷却	耐磨性要求不高的抗磨铸件，可锻铸铁白口胚件等

1.28 可锻铸铁的碳、硅含量低，流动性差，而且冷却速度快，故适宜铸造薄壁小型铸件，铸造厚壁大铸件，可能会产生浇不到等缺陷。

1.29 不正确，不同壁厚的灰铸铁的力学性能不一样，壁厚为5mm 的抗拉强度 $\sigma_b \geq 175\text{mpa}$ ，满足条件，而其余的两个不满足。

第二章 金属塑性成形

2-1 什么是最小阻力定律？为什么闭式滚挤或拔长模膛可以提高滚挤或拔长效率？

答：最小阻力定律是指金属在塑性变形过程中，如果金属质点有向几个方向移动的可能时，则金属各质点将向阻力最小的方向移动。因为闭式的模膛使得材料发生塑性变形时，朝着填满型腔方向的阻力唯一最小（开式的可能朝几个方向的阻力都最小），因此效率要相对高一些。

2-2 纤维组织是怎样形成的？它的存在有何利弊？

答：金属铸锭组织中存在着偏析夹渣物、第二相等，在热塑性变形时，随金属晶粒的变形方向或延伸呈条状、线状或破碎呈链状分布，金属再结晶后也不会改变，仍然保留下来，呈宏观“流线”状。纤维组织使得金属的力学性能呈现出方向性，沿着纤维方向抗拉抗压强度增大，垂直于纤维方向的抗拉抗压强度减弱。

2-3 何为“过热”？何为“过烧”？它们分别会对锻件产生什么影响？

答：金属塑性成形过程中，如果加热温度过高，导致金属的晶粒急剧增大，这种现象称为“过热”；如果温度过高接近熔点时，晶界发生氧化或者局部融化的现象称为“过烧”。过热会导致金属塑性减小，塑性成形能力下降；过烧会导致金属的塑性变形能力完全消失。

2-4 判断以下说法是否正确？为什么？

（1）金属的塑性越好，变形抗力越大，金属可锻性越好。

错误；塑性越好，变形抗力越小，可锻性越好。

（2）为了提高钢材的塑性变形能力，可以采用降低变形速度或在三相压应力下变形等工艺。

错误；当变形速度低于临界值时，降低变形速度可以提高材料塑性变形能力，但当变形速度高于临界值时，降低变形速度降低了材料的塑性变形能力。

（3）为了消除锻件中的纤维组织，可以采用热处理的方式实现。

错误；只能通过塑性变形改变纤维的方向和分布。

2-5 求将 75mm 长的圆钢拔长到 165mm 的锻造比，以及将直径 50mm、高 120mm 的圆钢锻到 60mm 高的锻造比。能将直径为 50mm、高 180mm 的圆钢锻粗到 60mm 高吗？为什么？

答： $s_0 H_0 = s_1 H_1$ $Y_{\text{锻}} = s_0 / s_1 = H_1 / H_0 = 165 / 75 = 2.2$; $Y_{\text{锻}} = 120 / 60 = 2$ ；不能，因为整体锻粗用圆形截面坯料的高度和直径比不大于 2.5~3，此处的高径比为 3.6。

2-8 带头部的轴类零件，在单件小批量生产条件下，若法兰头直径 D 较小，杆长 L 较大时，应如何锻造？D 较大，L 较小时，又应如何锻造？

答：自由锻。D 较小，L 较大时，先将棒料拔长，然后局部锻粗，锻出头部；D 较大，L 较小时，先锻粗，然后锻轴杆。

2-9 答: a)不适合, 结构复杂且有肋板; b)不适合, 有圆柱面与平面相交形成空间曲线, 修改见图 2-15 (b); c)不适合, 有梯型槽, 去除梯型槽后可用于自由锻。

2-11 模锻时, 如何合理确定分模面的位置?

答: 1、首先保证模锻件能从模膛中顺利取出 2、分模面尽量选在能使模膛深度最浅的位置 3、尽量使上下两模沿分模面的模膛轮廓一致 4、尽量采用平面, 并使上下模膛深度基本一致 5、是模锻件上的敷料最少, 锻件形状尽可能与零件形状一致。

2-12 模锻与自由锻有何区别?

答: 1、模锻需要模具及锻压设备, 投资较大, 生产效率高, 适合批量生产。自由锻设备简单, 但是生产效率低, 适合单件小批量生产 2、模锻能锻造形状复杂的锻件, 尺寸较为精确, 并可使金属流线分布更为合理, 力学性能较高。减少切削加工工作量。自由锻尺寸精度低, 加工余量大, 耗材多 3、模锻操作简单、劳动强度低。对工人技术水平要求不高, 易于实现机械化、自动化。自由锻劳动强度大, 对工人技术水平要求较高

2-14 修改见图 2-35 2-15 分模面均为对称面

2-17 间隙对冲裁件断面质量有何影响? 间隙过大或过小会对冲裁产生什么影响?

答: 凸凹模间隙会严重影响冲裁件的断口质量, 间隙合适时, 板料内形成的上、下裂纹重合一线, 断裂带和毛刺均较小; 间隙过大时, 板料中拉应力增大, 裂纹提前形成, 板料内形成的上下裂纹向内错开, 断口断裂带和毛刺均较大; 间隙过小时, 凸凹模受到板料的挤压作用大, 摩擦加大, 板料内形成的上、下裂纹向外错开, 断口形成二节光面, 在两节光面间夹有裂纹。除此之外, 凸凹模间隙还影响模具寿命、冲裁力和冲裁件尺寸精度。

2-18 a)孔径过大, 孔壁过薄, 不易冲裁, 增大壁厚, 减小孔径 b)将直角部分改为圆角, 壁厚增大 c)弯曲半径小于最小弯曲半径, 应减小壁厚 d)底边过短, 不易弯曲, 将底边改为 20mm e)将凸台部分延长与基体相同, 另外在过渡部分倒圆角 f)增大冲孔部位与侧壁的距离, 将 R4 增大。

2-21 冲孔, 落料, 拉 2-22 冲孔 落料 弯曲

2-23 不能; $t/D_0=1.43\%$ $D_1=D_0 \cdot m_1=52.5 \sim 66.15 > 25$ 所以不能一次拉深。

$d_2=39.375 \sim 50.274$, $d_3=30.712 \sim 39.716$, $d_4=24.57 \sim 32.17$, $d_5=20.15 \sim 27$; 所以至少需要 4 次拉深。

2-24 试说明挤压、拉拔、滚扎、旋压、精密模锻的成形工艺与应用特点。

答: 1、挤压: 挤压是对挤压模具中的金属坯施加强大的压力作用, 使其发生塑性变形从挤压模具的模口中流出, 或充满凸、凹模型腔, 而获得所需要形状与尺寸制品的塑性成形方法。可加工某些塑性较差的材料, 改善组织和性能。可生产断面及其复杂或具有深孔、薄壁以及变断面的零件, 并且挤压件精度较高, 表面粗糙度小, 生产效率高。

2、拉拔: 在拉力作用下, 迫使金属坯料通过拉拔模孔, 以获得相应形状与尺寸制品的塑性加工方法, 称为拉拔。拉拔制品表面粗糙度小, 生产设备简单, 维护方便, 金属的塑性不能充分发挥, 适合连续高速生产断面较小的长制品。

3、滚扎: 金属坯料在旋转轧辊的作用下产生连续塑性变形, 从而获得所要求截面形状并改变其性能的加工方法, 称为轧制。生产效率高, 但是投资较大, 而且工作环境较差, 对轧辊有较高的要求。

4、旋压: 旋压是利用旋压机是毛坯和模具以一定的速度共同旋转, 并在滚轮的作用下, 是毛坯在滚轮接触的部位产生局部塑性变形, 由于滚轮的进给运动和毛坯的旋转运动, 使局部的塑性变形逐步扩展到毛坯的全部所需表面, 从而获得所需形状和尺寸零件的加工方法。所需成形工艺力小, 施压工具简单, 费用低, 可用来加工某些形状比较复杂的零件, 并且尺寸精度高, 表面粗糙度小, 但是, 只适合加工轴对称的回转件。

5、精密模锻: 在模锻设备上锻造出形状复杂、高精度锻件的模锻工艺。常用与成批生产形状复杂、使用性能高的短轴线回转体零件和某些难以用机械加工方法制造的零件。

加工时余量小，生产的零件精度高。对设备要求较高。

2-25 什么是超塑性？试说明超塑性成形的工艺特点。有何主要应用？

答：超塑性成形指金属或合金在低的变形速率（ $\dot{\epsilon}=10^{-2}\sim 10^{-4}/s$ ）、一定的变形温度（约为熔点绝对温度的一半）和均匀的细晶粒度（晶粒平均直径为 $0.2\sim 5\mu m$ ）条件下，伸长率 δ 超过 100% 的塑性成形。特点：大延伸、无缩颈、小应力、易成形。常用于金属材料的压力加工成形，例如超塑性模锻和挤压、超塑性冲压成形、超塑性气压成形。

第三章 连接成形

1. 当电弧中有空气侵入时，液态金属会发生强烈的氧化和氮化反应，空气间的水分以及工件表面的油、锈、水在高温下分解出的氢原子会融入到液态金属中，导致接头塑性和韧度降低，甚至产生裂纹。可以采用以下措施：

1 在焊接过程中，对融化金属进行机械保护，使之与空气隔开。

2 对焊接熔池进行冶金处理，主要通过焊接材料中加入一定的脱氧剂和一定的合金元素，在焊接过程中排除 FeO ，同时补偿合金元素的烧损。

4. 不能，电弧焊需要电离两极间的气体介质才能形成电弧，在真空中无法实现。

6. 采用直流弧焊机进行电弧焊时，有两种极性接法：当工件接阳极，焊条接阴极时，称为直流正接，此时工件受热较大，适合焊接厚大件。当工件接阴极，焊条接阳极时，称为反接，此时受热较小，适合焊接薄小工件。交流时，不存在正反接情况。

7. 焊接变形的形式包括：收缩变形，角变形，弯曲变形、扭曲变形、波浪变形

预防措施：焊前预热。选择合理的焊接顺序：尽量使焊缝能自由收缩，减少焊接应力；对称焊缝采用分散对称工艺。加热减应区。反变形法。刚性固定法。

矫正措施：机械矫正变形，利用机械力，产生塑性变形来矫正焊接变形。

火焰矫正变形，利用金属局部受热后的冷却来抵消已经发生的焊接变形。

8. 焊接应力和变形是同时存在的，焊接结构中不会只有应力或只有变形。焊接结构内部的拉应力和压应力总是保持平衡的，当平衡被破坏时（如车削加工），结构内部的应力会重新分布，变形也会变化。

为避免这类变形，应在焊接时采用预防和减小焊接应力和变形的工艺措施，如焊前预热。选择合理的焊接顺序等，在焊接后还可以采用消除焊接应力和矫正焊接变形的的方法如锤击焊缝、机械矫正变形等。

9. b 方案较为合理。

a 方案中，2、3、4 焊缝的横向和纵向收缩都会受阻，焊接应力较大。

10.

1 可采用焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊和电阻焊等。采用电弧焊时，焊前进行预热，焊后进行去应力退火以消除焊接应力。可以用双 Y 型破口上下两面进行焊接。

2 可采用焊条电弧焊。焊前进行预热以减小焊接应力。采用细焊条、小电流、开破口、多层焊，以减小含碳较高的母材金属的融入量，还可采用焊后缓冷，焊后热处理等工艺措施防止裂纹的产生。

3 可采用焊条电弧焊、氩弧焊，也可以采用埋弧焊。为防止晶间腐蚀和热裂，应按母材金属类型与之配套的含碳、硅、硫、磷很低的不锈钢焊条或焊丝。采用小电流、短弧、焊条不摆动、快速焊等工艺，接触腐蚀介质的工作面应最后焊等措施，杜宇耐蚀性要求较高的结构，焊后要进行高温固溶处理。

4 可以采用缝焊，用一对连续转动、断续通电的滚轮电极，滚轮压紧并带动搭接的被焊工件前进，所需焊接电流较大。

11.

1 热焊法, 采用焊条电弧焊, 采用铸铁焊芯的铸铁焊条 Z248 或者钢芯石墨化的铸铁焊条 Z208.

2 冷焊法, 采用焊条电弧焊, 焊条采用钢芯铸铁焊条或者铸铁芯铸铁焊条如。

3 冷焊法, 用焊条电弧焊进行补焊, 可采用采用钢芯铸铁焊条或者铸铁芯铸铁焊条。

12.

1 埋弧自动焊

2 焊条电弧焊

3 对焊

4 摩擦焊

5 对焊

6 焊条电弧焊

7 CO₂ 气体保护焊

6. a: 不满足, 中间部分焊条无法伸入, 且焊缝应远离机械加工面。

b: 不满足, 焊缝分布过于密集, 还有竖直方向的焊缝

c: 不满足, 焊点不对称, 且上边的焊点不利于焊条的深入

d: 不满足, 不利于保护气体的作用

e: 不满足, 焊缝分布在应力集中部位

14.

a 可行

b 不利于电极的伸入

c 不易于电极的伸入

d 不利于电极的伸入

e 不利于电极的伸入

f 不利于电极的伸入

g 可行

h 不利于电极的什么

i 可行

15. a: 不合理, 中间的竖直的焊缝不易成型, 且导致了焊缝的密集重合。在设计时应该将中间板材设计为一体。

b: 不合理, 焊缝处于应力集中处, 且应远离机械加工面, 且会造成较大应力。

可以把底部设计为带有过渡区的零件, 然后再通过焊接延长。

c: 不合理, 上边两个焊缝, 焊条无法伸入, 操作困难, 两条焊缝在应力集中处。

可以把上边两个焊缝下移一定距离, 下边的焊缝可定在中间部位。

d: 不合理, 内外两侧不能同时焊接。

应在外侧设置破口, 仅从外侧焊接。