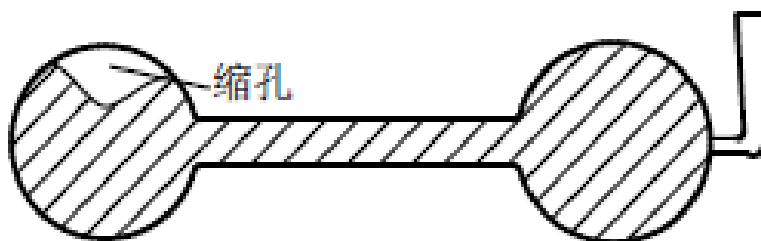


习题参考答案

一、铸造

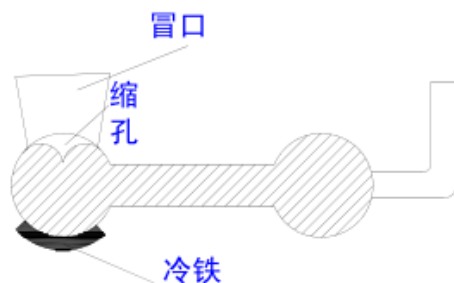
- 1、冒口和冷铁都有补缩的作用吗？各自的作用是什么？某工厂铸造一批哑铃，常出现下图所示的明显缩孔，有什么措施可以防止，并使铸件的清理工作量最小？



冒口是存贮液态金属的空腔，在铸件形成时补充金属，有防止缩孔、缩松、排气和集渣的作用，其主要作用是补缩。

冷铁防止铸件缩孔、缩松，保证铸件质量起着较为重要的作用，主要作用为：

- 1) 在冒口难于补缩的部位防止缩孔 缩松；2) 防止壁厚交叉部位及急剧变化部位产生裂纹；3) 与冒口配合使用，能加强铸件的顺序凝固条件，扩大冒口补缩距离或范围，减少冒口数目或体积；4) 用冷铁加速个别热节的冷却，使整个铸件接近于同时凝固，既可防止或减轻铸件变形，又可提高工艺出品率。5) 改善铸件局部的金相组织和力学性能。如细化基体组织，提高铸件表面硬度和耐磨性。6) 减轻和防止厚壁铸件中的偏析。



- 2、缩孔与缩松对铸件的质量有何影响？为何缩孔比缩松容易防止？（从形成机理、产生条件和位置等方面对比分析缩孔和缩松？）

凝固结束后在铸件某些部位出现的孔洞。大而集中的孔洞称为缩孔，细小而分

散的孔洞称缩松。**缩孔、缩松可使铸件力学性能大大降低，以致成为废品。**

缩孔产生的基本原因是合金的**液态收缩和凝固收缩大于固态收缩**，且得不到补偿。缩孔产生的部位在铸件最后凝固区域。缩孔可采用顺序凝固方式，并增加冒口的方式来防止。

缩松形成的基本原因是被树枝状的晶体分隔开的小液体区域得不到补充。主要出现在**糊状凝固**的合金中，或断面较大的铸件壁中。缩松形成原因与缩孔不一样，且面积大，一般需采用顺序凝固方式，并增加冒口的方式来防止。

3、设计铸件时，从铸造工艺来分析，应该考虑哪些方面？

铸造工艺也是铸件的一些缺陷（如缩孔、缩松、变形、裂纹、浇不到、冷隔等）的主要原因之一，应该考虑：

- 1) 尽量避免铸件起模方向有外部侧凹，便于起模；
- 2) 尽量使分型面为平面；
- 3) 凸台和筋条结构应便于起模；
- 4) 垂直分型面上的不加工表面最好有结构斜度；
- 5) 尽量不用或少用型芯；
- 6) 应有足够的芯头，便于型芯的固定、排气和清理；

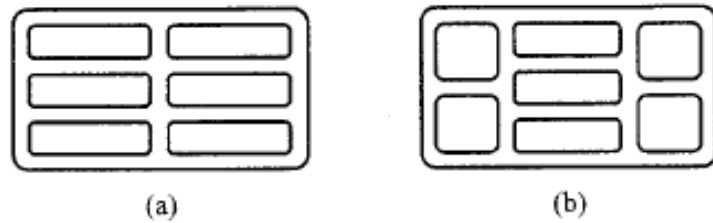
4、从合金的铸造性能来分析，设计铸件是应该考虑哪些方面？

合金的铸造性能是铸件的一些缺陷（如缩孔、缩松、变形、裂纹、浇不到、冷隔等）的主要原因之一，设计铸件是应该考虑：

- 1) 铸件应有合适的壁厚，且内壁应比外壁薄些，并尽可能均匀；
- 2) 壁间的转角处设计结构圆角，转角处内接圆半径 ≤ 1.5 倍壁厚，避免壁间锐角连接；
- 3) 尽量使铸件轮辐自由收缩，以防产生裂纹，如轮辐数应设计成奇数、采用弯曲的轮辐；尽可能采用交错接头或环形接头，应用防裂筋等；
- 4) 防止变形的设计：对细长易变形的铸件，尽量设计成对称截面；增设加强

筋，提高铸件的刚度等。

5、分析下图中砂箱箱带的两种结构各有何优缺点?为什么?



(a) 中结构的砂箱箱带采用交叉接头，交叉接头处热节较大，易产生内应力和裂纹。

(b) 中结构的砂箱箱带采用交错接头，交错接头利用微变形缓解内应力，防止裂纹产生。

思考题

1、什么是铸造工艺图？它包括哪些内容？

铸造工艺图是用各种符号及参数表达出铸造工艺方案的图形。包括的内容有：浇注位置、分型面、型芯数量、形状、尺寸、加工余量、收缩率、浇注系统等，其作用为：指导模样设计、生产准备、铸型制造、铸件检验等。

2、浇注位置选择和分型面选择哪个重要？如发生矛盾该如何处理？

浇注位置是浇注时铸件在铸型中所处的空间位置；浇注位置对铸件质量及铸造工艺都有很大影响。是制订铸造方案时必须**优先予以考虑**。**分型面**决定了铸件在造型时的位置。通常造型位置和浇注位置一致。分型面对铸件质量及铸造工艺有很大影响。首先应保证铸件质量要求，其次应使操作尽量简化，再考虑具体生产条件。

3、什么要规定最小的铸件壁厚？普通灰口铁壁厚过大或壁厚不均匀各会出现什么？

壁厚过薄可能引起浇不到或冷隔缺陷，所以要规定最小的铸件壁厚，以免产生铸造缺陷、白口组织等。

普通灰口铁壁厚过大时，会出现铸件晶粒粗大，内部缺陷多，力学性能下降。

普通灰口铁壁厚不均匀时，会出现壁厚处合金聚集，易产生缩孔、缩松等缺陷，

而且易在交接处引起热应力。

4、铸件的凝固方式有哪些？哪些合金倾向于逐层凝固？

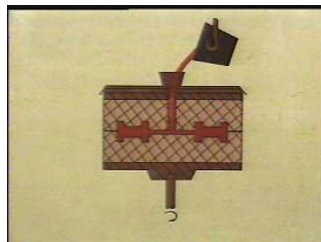
铸件的凝固方式有逐层凝固、糊状凝固和中间凝固。结晶温度范围越小，凝固区域越窄，越倾向于逐层凝固。低碳钢、近共晶成分铸铁倾向于逐层凝固。

5、浇注温度可以提高合金的充型能力，但为什么又要防止浇注温度过高？

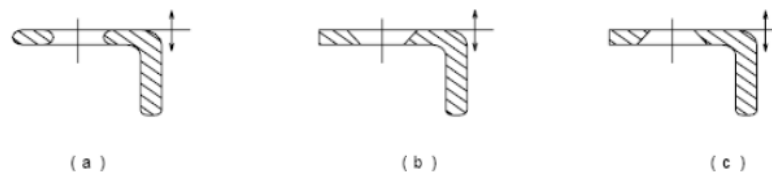
浇注温度越高，合金粘度越低，保持液态的时间越长，流动性越好，充型能力越强。但温度高将产生大的吸气量和大收缩率，易产生铸造缺陷。所以浇注温度在保证充型能力的前提下温度应尽量低。生产中薄壁件常采用较高温度，厚壁件采用较低浇注温度。

6、离心铸造能不能铸造实体铸件，请说明理由或画出草图说明。

离心铸造是将液态合金浇入高速旋转的铸型中，金属液在离心力作用下充填铸型并结晶。可以铸造实体铸件，如下图所示。

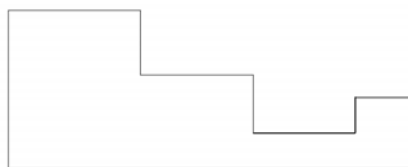


7、铸件如图所示三种结构，你认为哪种较为合理？为什么？



均不合理，分模面上的圆角或起模斜度妨碍起模。

8、何为顺序凝固原则和同时凝固原则？试对下图的阶梯式铸件设计冒口系统和冷铁系统，实现顺序凝固？

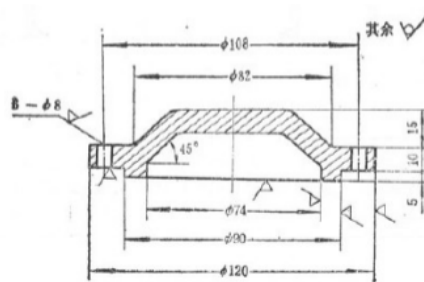


顺序凝固原则：为了防止缩孔和缩松，采用合理的工艺条件，使缩松转化为缩孔，并使缩孔移至冒口中。

同时凝固原则：为了防止热应力，尽量减少铸件各部件间的温度差，使其均匀冷却。

在左上方设置冒口，在右下方放置冷铁。

9、单件生产下图所示轴承盖铸件，要求铸后 $\Phi 120$ 、 $\Phi 90$ 及 $\Phi 74$ 柱面同心，试选择分型面和造型方法。



$\Phi 120$ 、 $\Phi 90$ 及 $\Phi 74$ 柱面要求同心，需在同一箱体，所以分型面选择在最大截面上方。单件：刮沙造型；其余：两箱造型和假箱造型；

10、如何区分裂纹性质，如果是热裂，该从哪些方面采取措施？

热裂：在凝固末期高温下形成的裂纹，其特点为表面被氧化而呈氧化色，裂纹沿晶粒边界产生和发展；外形曲折而不规则，裂纹短，缝隙宽。

冷裂：在低温下形成的裂纹，特点为裂纹细小，呈连续直线状；有时缝内呈轻微氧化色；多发生在形状复杂大工件的受拉伸部位，特别是应力集中处或热节处。

热裂的防止措施：1)应尽量选用凝固温度范围小、热裂倾向小的合金；2)提高铸型、型芯的退让性，减小机械应力；3)合理设计浇道、冒口；4)对于铸钢、铸铁件，严格控制硫含量，防止热脆性。

11、直浇道长 20cm，顶部直径 10cm，直浇道底部期望的浇注速率为 $600\text{cm}^3/\text{s}$ ，金属液应该从什么位置倾倒？直浇道底部的直径应该是多少？（忽略液体流动过程中的摩擦损失，气压保持不变）这样设计的直浇道会不会发生吸气，为什么？

答：金属液流量为 $Q=600 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。

1) 根据流量相同原则，直浇道顶部的液体流速为 $V_1=Q/A=7.64\text{cm/s}$;

设液体倾倒起点的速度为 0，高度为 0，则由能量守恒定理可得：

$$h_2 = V_1^2/2g=0.03 \text{ cm}$$

2) 设直浇道底部液体速度 V_2 ，由能量守恒定理可得：

$$2gh_1=V_2^2- V_1^2$$

$$V_2=198.14\text{cm/s}$$

根据流量相等设计原则，可得：

$$\pi(d/2)^2V_1=\pi(d_2/2)^2V_2, \text{ 求解得 } d_2=0.96 \text{ cm}$$

3) 这样设计的直浇道不会吸气，因为液体体积流量相等。

二、金属的塑性加工

1. 为什么板料弯曲时的弯曲半径不能太小？板料弯曲半径如何选择？什么是弯曲回弹？一个弯曲件的弯曲角度设计值是 60 度，请问在设计弯曲模具时弯曲模具的角度应小于、等于或大于 60 度，为什么？

板料弯曲时，内层受切向压力作用，发生压缩变形，外层受切向拉力作用，发生伸长变形，为最危险部位。弯曲半径太小将导致外层受切向拉力超过材料的极限强度而发生裂纹或断裂，因此弯曲半径不能太小。根据真实抗拉强度计算允许的最大抗拉应变，再计算允许的最大标称应变，最后计算最小弯曲半径。

因为 $\varepsilon_{y_{\max}} = \frac{1}{\frac{2r}{t} + 1}$

所以，最小弯曲半径

$$\frac{r_{\min}}{t} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{y_{\max}}} - 1 \right)$$

回弹：材料弯曲时，板料产生的变形由塑性变形和弹性变形两部分组成。外载荷去除后，塑性变形保留下来，弹性变形消失，使板料形状和尺寸发生与加载时变形方向相反的变化，从而消去一部分弯曲变形效果的现象。回弹使被弯曲的角度增大，一般回弹角为 $0^\circ \sim 10^\circ$ 。

因此，在设计弯曲模时，必须使模具的角度比成品件角度 60 度小一个回弹角，以保证成品件的弯曲角度准确。

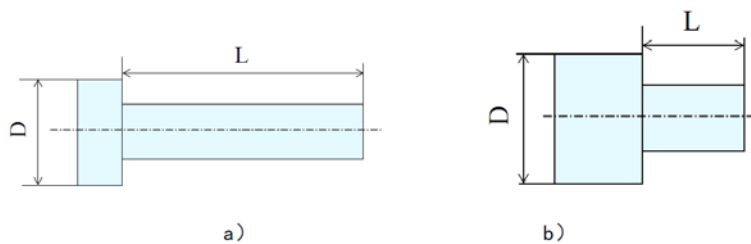
2. 何谓塑性变形？塑性变形的实质是什么？

塑性变形是当外力增大到使金属的内应力超过该金属的屈服点，即使外力取消，金属的变形也不完全恢复，而产生的永久变形。

塑性变形的实质：晶体内部存在大量缺陷，其中以位错对金属塑性变形的影响最为明显；在外力作用下，滑移运动的结果导致了整个晶体的塑性变形。

3. 如图所示轴类零件，小批量生产，试确定锻造工艺。

a) 法兰头直径 D 较小，轴杆 L 较长； b) 法兰头直径 D 较大，轴杆 L 较短。



小批量：采用自由锻。

(a) 法兰头直径 D 较小，轴杆 L 较长：

(1) 属于长轴类工件锻造，也可采用下料-锻粗-压肩-拔长-圆整轴杆。

(2) 模锻件结构应力求简单，可采用组合模锻工艺分别锻造法兰头和轴杆，然后采用螺纹连接或焊接成一个整体零件。

(b) 法兰头直径 D 较大，轴杆 L 较短，下料-墩粗-垫环局部锻粗或者下料-锻粗-拔长-修整。

4. 如何提高金属的塑性？最常采用的措施是什么？

提高金属的塑性的方法包括：1) 提高金属的温度，在适当的温度范围内进行塑性加工，如锻造温度；2) **合适的应变速率**，在临界点以左尽量采用低速，在临界点以右，尽量采用高速；3) 应力状态尽可能使压应力数目增多，拉应力数目减少。

提高金属的温度是提高金属的塑性最常采用的措施。

5. 比较落料和拉深所用凸凹模结构及间隙有什么不同？为什么？

落料是利用冲裁取得一定外形的制件或坯料的冲压方法。落料所用凹凸模设计成刃口形式，以利于冲裁。其凸凹模间隙严重影响冲裁件的断面质量、模具寿命、卸料力、推件力、冲裁力和冲裁件的尺寸精度：间隙过大，冲裁件被撕开，边缘粗糙，卸料力和推件力越小；间隙过小，上下裂纹也不能很好重合；摩擦严重，模具的寿命将降低。单边间隙可按下述经验公式 $c = m \delta$ 计算，系数 m 与材料种类、厚度及落料件的精度相关，较拉深小。设计落料模时,应先按落料件确定凹模刃口尺寸，其值应靠近落料件公差范围内的最小尺寸。凸模尺寸=凹模刃口尺寸—间隙。

拉深所用凹凸模工作部位应设计成圆角，圆角半径过小，容易将板料拉穿。一般取 $r_{凹} = 10 \delta$ ， $r_{凸} = (0.6 \sim 1.0) r_{凹}$ 。拉深凹凸模间隙过小，模具与拉深件的摩

擦力增大，易拉穿工件和擦伤工件表面，降低模具寿命；间隙过大，又容易使拉深件起皱，影响拉深件的尺寸精度。拉深模的凸凹模间隙比冲裁模的大，一般取单边间隙： $c = (1.1 \sim 1.2) \delta$ 。

6. 何为冷态成形、温态成形、热态成形？论述合金的塑性在高温和低温状态时的变动情况。

冷态成形的加工温度低于再结晶温度，加工过程中只有加工硬化。

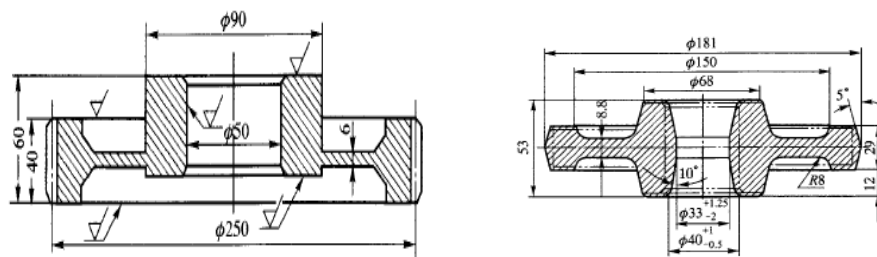
温态成形的加工温度在再结晶温度左右，加工过程中既产生加工硬化，也发生回复。

热态成形的加工温度高于再结晶温度，而且再结晶的速度大于加工硬化速度，一般需要再 0.5 熔化温度以上的温度进行加工。

提高金属的温度是提高金属的塑性常采用的方法，温度升高，原子的活动能力增强，塑性提高；温度下降，塑性变差，将导致加工硬化、锻坯破裂报废。锻造温度过高，将产生过热、过烧、脱碳和严重氧化等缺陷，甚至使锻件报废。

思考题

1. 下图所示零件采用模锻制坯，修改不合理结构，并说明理由。



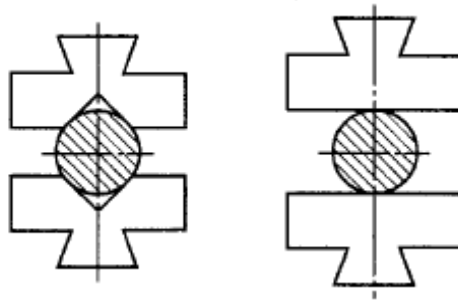
与分模面垂直的非加工表面，应设计出模锻斜度。两个非加工表面形成的角都应按模锻圆角设计；（参阅右上图）

轮辐薄，金属冷却快，变形抗力剧增，易损坏锻模，应增加轮辐厚度；

模锻件的外形应力求简单、平直和对称（参阅右上图）。

加工表面（中间孔、齿部）应设计出模锻斜度（参阅右上图）。

2. 在图示的两种抵铁上进行拔长时，效果有何不同？



左图锻件受 4 个压应力，塑性变形越好，效率高，同时 4 个压应力对称，易保障工件的断面形状，加工精度较高。适合轴类零件锻造加工。

右图锻件受上下 2 个压应力，可锻的零件的种类较多，但水平方向没有压束，定位精度较差，同时难保障工件的断面形状，易变形，加工精度较低。

3. 纤维组织的存在对金属力学性能有何影响？在零件设计中应注意哪些问题？

纤维组织在性能上具有方向性，在纵向(平行纤维方向)上塑性和韧性越高；在横向(垂直纤维方向)上塑性和韧性越低。纤维组织的稳定性很高，不能用热处理方法加以消除，只有经过塑性加工才能改变其方向和形状。因此，在设计和制造零件时，尽量满足最大正应力方向与纤维方向重合，最大切应力方向与纤维方向垂直及纤维分布与零件的轮廓相符合，尽量使纤维组织不被切断。

4. 锻描述冲裁时板料的变形和分离过程。

(1) 弹性变形阶段：冲头(凸模)接触板料后继续向下运动初始阶段，使板料产生弹性压缩、拉伸与弯曲等变形。板料中的应力值迅速增大。此时，凸模下的板料略有弯曲，凸模周围的板料则向上翘，间隙 c 的数值越大，弯曲和上翘越明显。

(2) 塑性变形阶段：冲头继续向下运动，板料中的应力值达到屈服点，板料金属发生塑性变形。变形达到一定程度时，位于凸、凹模刃口处的金属冷变形强化加剧，出现微裂纹。

(3) 断裂分离阶段：冲头继续向下运动，已形成的上下裂纹逐渐扩展。上下裂纹相遇重合后，板料被剪断分离。

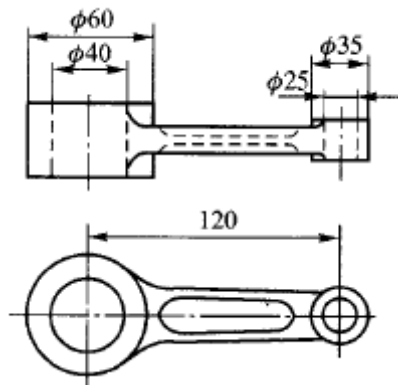
5. 自由锻和模锻的工艺规程分别包括哪些主要内容？

自由锻工艺规程包括绘制锻件图（考虑了机械加工余量、锻造公差、余块）、确定坯料重量和尺寸、确定锻造工序、选用相应的设备（如加热设备、锻造设备等）、

确定锻后所必需的辅助工序（如校正、切飞边、冲连皮、清理、热处理等）。

模锻工艺规程包括绘制锻件图（考虑了机械加工余量、锻造公差、余块、分模面、模锻斜度、圆角半径、连皮厚度）、确定坯料重量和尺寸、确定锻造工序、选用相应的设备（如加热设备、锻造设备等）、确定锻后所必需的辅助工序（如校正、切飞边、冲连皮、清理、热处理等）。

6. 图示零件采用锤上模锻制造，请选择最合适的分模面位置，并说明理由。



7. 锻造工艺为什么需要进行加热？如何确定温度范围？何谓过热？过烧？对锻件有什么影响？

锻造工艺利用金属的塑性，使其改变形状、尺寸和改善性能，获得锻压件的加工方法，提高金属的温度是提高金属的塑性常采用的方法。锻造温度过低，金属可锻性急剧变差，使加工难于进行，将导致加工硬化、锻坯破裂报废。锻造温度过高，将产生过热、过烧、脱碳和严重氧化等缺陷，甚至使锻件报废。

锻造温度范围的确定以合金状态图为依据。如碳钢的始锻温度比 AE 线低 200℃左右，终锻温度为 800 ℃左右，

过热：是锻件坯料的加热温度过高或在高温下停留时间过长，引起晶粒粗化的现象。过热的坯料在锻造时，塑性有所下降，力学性能变坏，易产生裂纹。过热的钢可以通过重新加热后反复锻造或锻后热处理的方法使晶粒细化。

过烧：加热温度接近熔点温度，晶界处会因炉气中的氧气或其他氧化性气体的渗入而被氧化，晶粒与晶粒之间结合力降低，一经锻打便会碎裂。

8. 试述模锻件结构工艺性的设计原则。

1、模锻件上必须具有一个合理的分模面，以保证容易从锻模中取出锻件，并且应使余块最少，锻模容易制造。

2、模锻件上与分模面垂直的非加工表面，应设计出模锻斜度。两个非加工表面形成的角都应按模锻圆角设计。

3、模锻件的外形应力求简单、平直和对称。尽量避免模锻件截面间差别过大，或具有薄壁、高筋、高台等结构。

4、模锻件应避免深孔或多孔结构。

5、模锻件的整体结构应力求简单，复杂零件可采用组合工艺制作。

三、电弧焊

1. 试述电弧焊、氧-乙炔气焊、电阻焊、钎焊的工艺原理和特点，包括热量来源、主要工艺过程、属于何种类型的焊接方法（液相焊接、固相焊接、液-固相焊接）和主要应用。电弧焊中，熔池保护的目的是什么？

电弧焊是利用电弧产生的热量熔化被焊金属的一种焊接方法，引弧-电弧热形成熔池—药皮的物理化学反应（与液态金属）—药皮产生保护气体、熔渣上浮。属于液相焊接，是应用最为广泛的一种焊接方式。

氧-乙炔气焊利用可燃气体（乙炔+高纯度氧气）的燃烧热进行焊接一种方法。工艺过程如下：点燃乙炔—氧混合气体-火焰熔化焊缝金属和焊丝，形成熔池-凝固形成焊接接头，属于液相焊接。

电阻焊利用电阻热，将焊件局部加热到塑性或熔化状态，然后在压力下形成焊接接头的焊接方式。电阻焊的特点：局部加热、加压，焊接电流很大 5000A~20000A，可分为点焊、缝焊、对焊，属于固相焊接。

钎焊是利用熔点比焊件低的钎料作填充金属，加热时钎料熔化而将工件连接起来的焊接方法。钎焊主要用于制造精密仪表、电气部件、异种金属构件及复杂薄板结构(如夹层结构、蜂窝结构等)，还用于各类导线与硬质合金刀具等。属于液-固相焊接。

电弧保护是指隔离电弧、电极尖端、焊接熔池与周围空气，1) 使电弧稳定；2) 保护熔池金属不被氧化。

2. 氧气气割的本质是什么？对气割金属有哪些要求？试比较气割和等离子弧切割的特点。为什么等离子弧可以切割不锈钢以及铜、铝合金，而氧-乙炔气割则难以切割这些金属或合金？

氧气气割的本质是金属燃烧而非熔化，气割过程如下：用氧—乙炔焰预热金属至燃点以上-金属与纯氧反应燃烧生成氧化物，并放热，氧化物被熔化成熔渣，并被氧气流吹走。

对气割金属的要求：1) 金属燃点低于熔点（反例：铸铁）；2) 金属氧化物熔点低于金属熔点（反例：不锈钢时的 Cr_2O_3 ，铸铁时的 SiO_2 ）；3) 金属燃烧放热多（反例：铜）；4) 金属导热性不强（反例：Al、Cu 及其合金）。气割不锈钢时产

生的 Cr_2O_3 熔点高于本体熔点，不宜气割。铜的燃烧热少，并具有良好的导热性，所以不宜气割。铝合金的导热性好，不宜气割。

等离子弧焊接的实质为具有压缩效应的钨极气体保护焊，具有以下特点：1) 能量密度大，弧柱温度高，穿透力强；2) 电流小到 0.1A 时，电弧仍然能稳定燃烧，并保持良好的挺直度和方向性。因此等离子弧可以切割不锈钢以及铜、铝合金。

3. 焊接应力和变形产生的原因是什么，采用哪些方法可以改善焊接应力分布和焊接变形？比较铸造应力和变形有何异同点？

应力与形变原因：焊接过程中受到局部加热和冷却。焊接时膨胀，但由于受到阻碍，故高温处产生压应力，低温处产生拉应力，两者平衡。冷却后，高温处冷却慢，收缩大，最后在高温处产生拉应力，低温处产生压应力。

预防和减少焊接应力有：

- (1) 选用塑性好的材料，避免焊缝密集交叉，避免焊缝截面过大和焊缝过长；
- (2) 采用正确的焊接次序。
- (3) 焊前对焊件进行适当预热，以减小焊件各部位之间的温差；
- (4) 采用小能量焊接或锤击焊缝，多层焊，减少焊接应力；
- (5) 焊后进行去应力退火，消除焊接残余应力。将焊件加热至 $500\sim 650^\circ\text{C}$ 左右，保温后缓慢冷却至室温。

焊接应力的存在，会引起焊件的变形，其基本类型有横向和纵向收缩变形、弯曲变形、扭曲变形，角变形及波浪变形。

焊前为预防和减小焊接变形有：

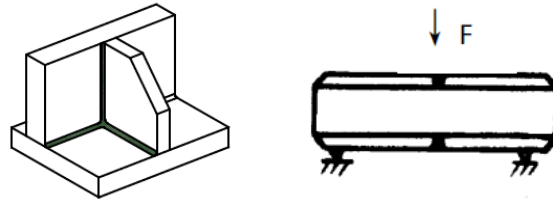
- (1) 预防和减小焊接应力的相关措施；
- (2) 在结构设计中，采用对称结构、大刚度结构或焊缝对称分布结构；
- (3) 施焊中，采用反变形措施或刚性夹持法。

比较铸造应力和变形有何异同点：

铸造热应力和焊接应力产生的原因都是由于加热及冷却过程中受到阻碍造成

的，与应力分布、结构形式、压束条件、加热及冷却的温度梯度等有关。铸造应力是铸件整体由液态转为固态过程中，各部分温度和收缩不同并受到铸型和型芯压束造成的，焊接应力则是焊缝及热影响区的热胀冷缩受到压束引起的。

4. 图示两焊件焊缝设计是否合理？说明原因并提出改进意见。（略）



5. 何为钢材的焊接性，采用什么方法来评价钢材的焊接性？如何提高材料的可焊性？
09Mn₂Cu 与 12CrMoV 哪个可焊性好？

焊接性指在一定焊接工艺条件下，表现出来的焊接难易程度。焊接性包括两个方面：1) 工艺焊接性：形成焊接缺陷的敏感性；2) 使用焊接性：焊接接头对使用要求的适应性，包括力学及其他特殊性能（如耐热、耐腐蚀性等）。

提高材料的可焊性：1) 低氢焊条；2) 焊前预热；3) 控制冷却速度；4) 低温回火消除残余应力。

碳当量法用于估计碳钢和低合金结构钢的焊接性能，其计算公式如下：

$$C_{\text{当量}} = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$$

$$09\text{Mn}_2\text{Cu}: C_{\text{当量}} = 0.09 + 2/6 + 1/15 = 0.49\%$$

$$12\text{CrMoV}: C_{\text{当量}} = 0.12 + 3/5 = 0.72\%$$

故 09Mn₂Cu 的焊接性较好。

6. 低碳钢焊接时热影响区分为哪些区段？各区段对焊接接头性能有何影响？

焊接热影响区指焊缝附近因焊接热作用而发生组织和性能变化的区域，可分为熔合区、过热区、正火区和部分相变区。

熔合区（半溶化区）：指焊缝和基体金属的交接过渡区，熔化的金属凝固成铸态组织，未熔化的金属成为过热粗晶。虽然该区很窄，但因其强度、塑性和韧性都下降，并且是应力集中处，所以是焊接接头性能最薄弱的区域。

过热区：奥氏体晶粒粗大，形成过热组织，故塑性及韧性降低。

正火区：加热时金属发生再结晶，转变为细小的奥氏体晶粒。冷却后得到均匀而细小的铁素体和珠光体组织，力学性能优于母材。

部分相变区：珠光体和部分铁素体发生重结晶，变成细小的奥氏体晶粒。部分铁素体不发生相变，但其晶粒有长大趋势。力学性能比正火区稍差。

思考题

1. 高频焊和普通的电阻焊有什么不同？其应用范围主要有哪些？

高频焊利用高频电流(10~500kHz)的集肤效应和邻近效应在焊件表面所产生电阻热，使工件实现连接的一种焊接方法。高频焊是电阻焊的一种，但**焊接电流仅在工件上平行于接头连接面流动**。高频焊在管材制造方面获得了广泛应用，如各种材料的有缝管、异型管、散热片管等，以及各种断面的型材或双金属板和一些机械产品，如汽车轮圈、汽车车厢板、工具钢与碳钢组成的锯条等。

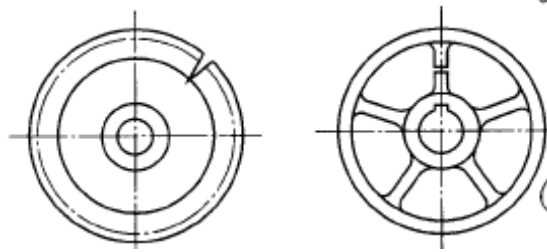
2. 等离子弧与一般电弧有何异同？

等离子弧：在机械压缩效应、电磁压缩效应及热压缩效应的作用下，电弧被压缩得很细，能量高度集中，弧柱内的气体完全电离为电子和离子。等离子弧温度可达 16000K 以上。一般电弧的电弧区内的气体尚未完全电离，能量未高度集中。

等离子弧焊接的实质为具有压缩效应的钨极气体保护焊，具有以下特点：

- (1) 能量密度大，弧柱温度高，穿透力强；
- (2) 电流小到 0.1A 时，电弧仍然能稳定燃烧，并保持良好的挺直度和方向性；
- (3) 需专用的设备和焊丝。

3. 有现直径 $\phi 500\text{mm}$ 铸铁齿轮和带轮各 1 件，铸造后出现图示断裂现象。曾先后用 E4303(J422)焊条和钢芯铸铁焊条进行电弧焊冷焊补，但焊后再次断裂，试分析其原因。请问采用什么方法能保证焊后不裂，并可进行机械加工？



一、直径 $\Phi 500\text{mm}$ 铸的**铁齿轮**：

焊后再次断裂的原因：1) E4303(J422)焊条为结构钢焊条，钢芯铸铁焊条适用于**非加工面**的焊接，焊条选择不正确。2) 采用冷焊法，溶合区易产生白口组织、裂纹气孔，一般只用于补焊要求不高的铸件。

其断裂部位为齿部，焊后需机械加工，且承受力矩和冲击、振动等，因此应选用**热焊法**：1) 选用气焊，气焊火焰还可以用于预热工件和焊后缓冷。填充金属应使用专制的铸铁棒，并配以 CJ201 气焊焊剂，以保证焊接质量。2) 也可用铸铁焊条进行焊条电弧焊焊补。

二、直径 $\Phi 500\text{mm}$ 铸的**带轮**：

焊后再次断裂的原因：1) E4303(J422)焊条为结构钢焊条，钢芯铸铁焊条适用于**非加工面**的焊接，焊条选择不正确。2) 采用冷焊法，溶合区易产生白口组织、裂纹气孔，一般只用于补焊要求不高的铸件。

其断裂部位为轮辐，焊后可以不进行机械加工，但焊后不能自由收缩，易产生裂纹，且承受张紧力和冲击、振动等，因此应选用**热焊法**：1) 选用气焊，气焊火焰还可以用于预热工件和焊后缓冷。填充金属应使用专制的铸铁棒，并配以 CJ201 气焊焊剂，以保证焊接质量。2) 也可用铸铁焊条进行焊条电弧焊焊补。如非要选用**冷焊法**：至少选用**镍基铸铁焊条**，并采用**小电流、短弧、窄焊缝、短焊道**（不大于 50mm ），焊后及时锤击。

4. 对铜或铜合金板材能否进行点焊？为什么？（没布置）

一般情况下**不能**对铜或铜合金板材进行点焊。

点焊是电阻焊的一种形式，其利用电流所产生的电阻热，将焊件局部加热到塑性或熔化状态，然后在压力下形成焊接接头。但铜或铜合金的**导电性很好**，电阻很

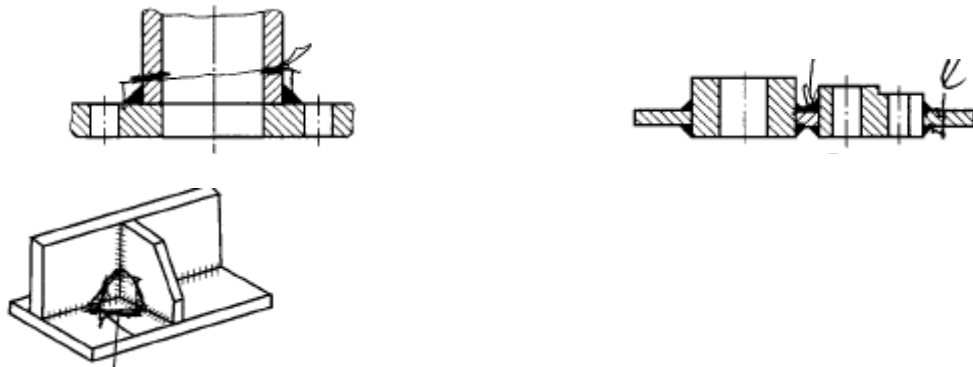
小，且热热量大，易产生焊不透现象；同时，铜或铜合金的熔点高，导热性也很好，点焊很难将其局部加热到塑性或熔化状态。

5. P191 习题 1：如图所示三种工件，其焊缝布置是否合理？若不合理，请加以改正。（没布置）

图 a：不合理，焊缝布置应尽量避免最大应力位置或应力集中位置。

图 b：不合理，焊缝布置应避开机械加工表面。

图 c：不合理，焊缝尽量分散，焊缝密集或交叉，会造成金属过热，加大热影响区，使组织恶化。焊缝间距 $\geq 3\delta$ 或 $\geq 100\text{mm}$ 。



第四次作业：

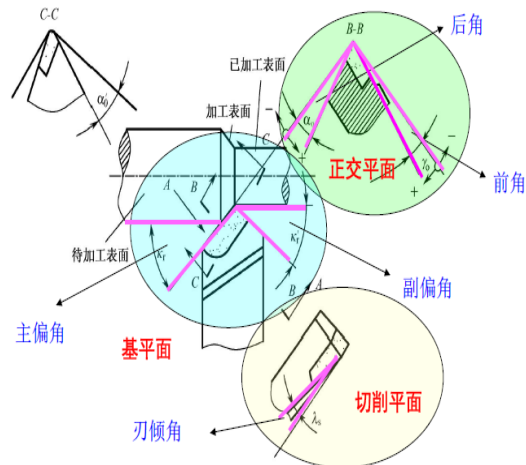
1. 用车刀加工外圆柱面，加工前工件直径为 $\phi 62\text{ mm}$ ，加工后直径为 $\phi 54\text{ mm}$ ，主轴转速 $n = 240\text{ r/min}$ ，刀具进给速度 $v_f = 96\text{ mm/min}$ ，试计算切削速度 v_c 、进给量 f 、切深 a_p 和单位时间的金属切削量 Q 。

$$v_c = \pi * d * n / 1000 = 46.7\text{ m/min} = 778\text{ mm/s}; f = 96 / 240 = 0.4\text{ mm/r}; a_p = (62 - 54) / 2 = 4\text{ mm};$$

$$\text{单位时间的金属切削量 } Q = v_c \cdot f \cdot a_p = 1245\text{ mm}^3/\text{s} = 74.7\text{ cm}^3/\text{min}$$

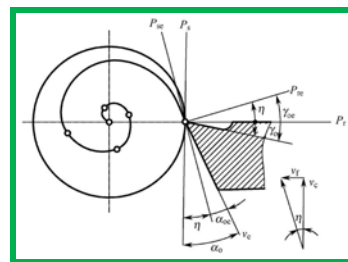
2. 刀具的主偏角、副偏角、刃倾角、前角、后角分别在哪个参考平面内度量的？画出下列标注角度的用于车削外圆柱面的车刀图： $\gamma_0 = 15^\circ$ ， $\alpha_0 = 6^\circ$ ， $\kappa_r = 60^\circ$ ， $\kappa_r' = 15^\circ$ ， $\lambda_s = \pm 15^\circ$ 。

答：刀具的主偏角、副偏角基面中度量，刃倾角在主切削平面内度量，前角、后角在正交平面内度量。



3. 刀具标注角度和实际工作角度有何不同？为什么在切断加工时，进给量不能过大？为什么说切断车削时，工件最后不是车断而是挤断的？（请用图示说明）

刀具标注角度在假定进给速度很小，用主运动速度向量近似代替合成速度假设下定义的刀具静态角度。但在切削过程中，切削平面、基面和正交平面发生变化，此时的角度称为实际角度。故刀具标注角度和实际工作角度一般不同。



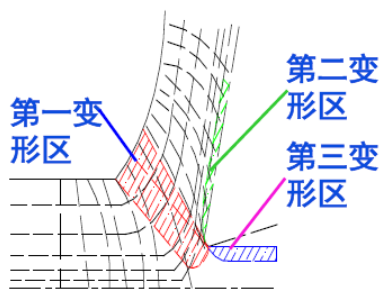
如图所示，在切断加工时，存在横向进给，刀具的实际工作前角增大，后角减小，此时若进给量太大，切削刃和刀头的强度、散热条件和受力状况变差，使刀具磨损加快，耐用度降低，甚至崩刃损坏。

如图所示，当切断车削至轴心附近时，直径很小，切削速度趋近于 0，在切削力的作用下被挤断而不是切断。

4. 试画图表示金属切削的三个变形区，并说明各个变形区的特征。

第 I 变形区：基本变形区，切削层内产生的塑性变形区，包括弹性变形、塑性变形、滑移、切离，金属的剪切滑移变形，变形最大；**第 II 变形区：**摩擦变形区，前刀面与切屑层内的塑性变形区-金属的挤压摩擦变形；**第 III 变形区：**加工表面变形区，后刀面与已加工表面的接触变形区：金属的挤压摩擦变形。

材料在刀具及切削力作用下，经过弹性变形→塑性变形→被挤裂(切断)。



思考题：

1. 何谓积屑瘤？它是如何形成的？对切削加工有哪些影响？

在中等或较低的切削速度下切削塑性金属时，在刀具前刀面靠近切削刃的部位粘附着一小块很硬的金属，即为积屑瘤。

积屑瘤的形成过程：由于刀—屑间的摩擦，在一定温度和压力下，切屑底层金属与前面接触处发生粘结，形成了积屑瘤。

积屑瘤对切削加工的影响：

- (1) 硬度高于工件材料，可代替切削刃起切削作用，有保护刀刃作用；
- (2) 积屑瘤可增大前角，使刀具更锋利；
- (3) 改变了实际切削深度和切削厚度，影响尺寸精度；
- (4) 导致切削力变化、引起振动；
- (5) 影响工件表面粗糙度。

因此，粗加工时，希望有积屑瘤存在（第 1，2 两点）；

精加工时，不希望生成积屑瘤。

2. 说明车削的切削用量(包括名称、定义、代号和单位)

切削速度 V_c ：切削刃上的选定点相对于工件主运动的瞬时速度，单位为 m/s 或 m/min。

进给量 f ：刀具在进给运动方向上相对于工件的位移，即刀具或工件每转或每行程，刀具在进给运动方向上相对工件的位移量，单位为 mm/r 或 mm/st。

背吃刀量 a_p (切削深度)：切削加工时，待加表面与已加工表面间的垂直距离

(mm)，也就是垂直于进给运动方向上主切削刃切入工件的深度，单位为 mm。

3. 简述车刀前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角的作用。

前角 γ ：在正交平面中，前面与基面间的夹角，主要影响刀具锋利强度、刀具强度、散热条件、磨损及耐用度。

后角 α ：在正交平面中，后面与切削平面间的夹角，后角的作用是减少后面的摩擦，并配合前角改变切削刃的锋利与强度。

主偏角 κ_r ：在基面中，主切削平面与假定工作平面间的夹角。主要影响切屑层的形状、表面粗糙度和切削分力的大小。

副偏角 κ_r' ：在基面中，副切削平面与假定工作平面间的夹角。主要影响副切刃，副后刀面与已加工表面之间的摩擦，以及加工面的表面粗糙度。

刃倾角 λ_s (-5° ~ 5°)：在主切削平面中，主切削刃与基面间的夹角。主要影响刀头的强度、切削分力和排屑。

4. 简述切削用量选择的原则。

切削用量的合理选择从对**加工质量、生产率及刀具耐用度**等三方面考虑：

切削用量对加工质量的影响： 1) a_p 增大、 f 增大，则切削力增大，工件变形大，冲击振动大，精度和 R_a 下降。 2) V_c 则对切削力影响不大，并可防止积屑瘤，但切削热增加，刀具磨损加快，加工硬化和表面残余应力增大。因此，采用低 a_p ，低 f ，高 V_c ，有利于表面质量的提高（精加工）。

对生产率的影响：切削加工时基本工艺时间方面，切削用量对切削时间的影响是相同的。

切削用量对刀具耐用度的影响： V_c 对刀具耐用度影响最大，其次是进给量 f ， a_p 最小。

因此，切削用量的选择顺序为

(1) 尽可能大的 a_p ，其次选尽可能大的 f ，最后选尽可能大的 V_c ；

(2) 粗加工：取较大的 a_p 和 f , V_c 不太高；

(3) 精加工时：取较小的 a_p 和 f , 较高的 V_c 。

第五次复习题：

1. 什么是 EDM 和 ECM 加工？试分析 EDM、ECM 的加工原理及工艺特点？

答：1) EDM——电火花加工；ECM——电化学或电解加工

2) **EDM 加工原理**：利用工具电极与工件电极之间脉冲放电产生的高温去除工件上多余材料。

工艺特点：1) 主要用于加工硬、脆、韧、软、高熔点的导电材料；2) 加工时无切削力，适合于精密微细加工；3) 无毛刺，加工效率低；4) 当脉冲宽度不大时，适于加工热敏感性强的材料；5) 能在同一台机床上连续进行粗、半精、精加工，尺寸精度：

3) **ECM 加工原理**：利用金属在电解液中产生阳极溶解的电化学原理对工件进行成形加工的一种方法。

工艺特点：1) 一次进给运动能加工出形状复杂的型面或型腔；2) 加工各种高强度、高硬度、高韧性的金属材料；3) 加工易变形或薄壁的零件；4) 零件表面无残余应力；5) 工具不损耗，可长期使用；6) 电解加工影响因素多，精度不容易稳定；7) 电解液对机床有腐蚀作用，处理和回收困难。

2. 什么是激光加工、电子束加工和离子束加工？阐述激光加工、电子束加工和离子束加工特点。

激光加工 (LBM)：是利用激光的高能量密度，依靠光热效应实现各种材料的加工方法。按工作模式可分为脉冲和连续波两种形式，连续波 (LW) 模式主要用于焊接和表面硬化等需要不间断能量加工，脉冲 (P) 模式一般应用于切割，钻孔，打标等，需要受控的脉冲能量供应的加工。

加工特点有：

- 激光功率高，可以加工金属和非金属固体材料；
- 激光加工属非接触加工，加工变形小，无接触变形；
- 激光束能聚焦成 $1\mu\text{m}$ 以下的光斑，加工孔径和窄缝可以小至几微米，适用于微细加工。激光切割的切缝窄，切割边缘质量好；
- 加工速度快，生产效率高，热影响区小，热变形小；
- 激光束传递方便、易于控制，便于与机器人、自动检测、计算机数字控制等先进技术结合，实现自动化加工；
- 采用多轴联动可加工异形曲面、曲线及雕刻等。
- 加工设备的成本高；
- 加工的能源利用效率低 (1%)，不太适于大面积材料的去除加工；

电子束加工：利用高密度能量的电子束对材料进行处理的各种方法统称。利用高能电子束轰击材料，使其产生热效应或辐照化学和物理效应进行加工。因为在真空环境下加工，特别适合纯度要求极高的半导体材料加工。

加工特点有：

- **束斑小：**直径可达几十分之一微米，适用于精密微加工集成电路和微机电系统中的光刻技术，用电子束曝光达到亚微米级线宽。
- **能量密度高：**功率密度能达到 $105\sim109\text{ W/cm}^2$ ，易于对钨、钼或其他难熔金属及合金加工，以及对石英、陶瓷等熔点高、导热性差的材料进行加工。
- **工件变形小：**电子束瞬时作用面积小，热影响区很小，同时无机械力作用，工件几乎不产生应力和变形，因此加工精度高、表面质量好。
- **生产率高：**能量利用率可达 90% 以上，例如，每秒钟在 2.5 mm 厚的钢板上可加工 50 个 $\phi 0.4\text{ mm}$ 的孔，以 4mm/s 的速度一次焊接厚度达 200 mm 的钢板。
- **可控性能好：**位置精度达到 0.1 mm 左右，强度和束斑的大小也容易达到小于 1% 的控制精度。
- **无污染：**电子束加工在真空室内进行，不会对工件及环境产生污染，适用于加工易氧化材料或合金材料，特别是纯度要求极高的半导体材料。
- **成本高：**电子束加工需要专用设备，成本较高。

离子束加工：是指利用离子束高能量实现材料成形或改性的加工方法。

离子束加工技术在微电子工业和微机械领域有着广泛应用，加工特点有：

- **容易精确控制：**通过光学系统对离子束的聚焦扫描，离子束加工尺寸范围可以精确控制。
- **污染少：**离子的质量远比电子的大，传递给材料的能量多，穿透深度和反向散射能量较电子束小。通过机械撞击传递能量。
- **加工应力小，变形小，对材料的适应性强。**
- **离子束加工设备费用高，成本高，加工效率低，因此应用范围受到一定限制。**

关于考试的相关说明

1. 闭卷，题型：选择题 15 题（15 分）、填空题（每空格 1 分，20 分）、问答题（4-6 题，35 分）、综合题（4-6 题，30 分）；
2. 考试时间：2022 年 01 月 11 日(10:30-12:30)；地点：紫金港东 1-315 多)；
3. 考试人数：74 人；
4. 平时成绩：50%（平时作业 30%，大作业 20%），考试成绩：50%；有个别同学作业没交齐；
5. 以传统制造技术为主，特种加工的英文缩写、原理、特点等；
6. 复习作业、课件和教材。