**作业一**

1. **何谓失效？零件的失效方式有哪些？**

失效：在使用过程中因零件的外部形状尺寸和内部结构发生变化而失去原有的设计功能，使其低效工作或无法工作或提前退役的现象称为失效。

失效方式：（1）过量变形失效：a、过量弹性变形 b、过量塑性变形

（2）断裂失效：a、韧性断裂 b、脆性断裂 c、低应力断裂

d、疲劳断裂 e、蠕变断裂 f、介质加速断裂

（3）表面损伤失效：a、磨损失效b、腐蚀失效c、表面接触疲劳

（4）物理性能降级：电磁、热等性能衰减

**2. 静载性能指标有哪些？它们分别与那种失效形式关联？**

1、刚度和强度指标

刚度：弹性模量

强度：比例极限，弹性极限，屈服强度，抗拉强度，断裂强度

2、弹性和塑形指标

弹性：弹性能

塑形：断后伸长率，断面收缩率

3、硬度指标

**失效形式** 强度 ：断裂、塑性变形

塑性：塑性变形

刚度：过量弹性变形

硬度：磨损

韧性和疲劳强度：断裂

**3. 过量弹性变形、过量塑性变形而失效的原因是什么？如何预防？**

失效的责任主要在于设计者的考虑不周、计算错误或选材不当，故防止措施主要应从设计方面考虑。

过量弹性变形产生变形的主要原因是材料刚度不够。预防途径：

1. 选择合适的材料或结构
2. 确定适当的匹配尺寸
3. 采用减少变形影响的转接件，比如在系统中采用软管等柔性构件，可显著减少弹 性变形的有害影响。

过量塑性变形产生变形的主要原因是材料的弹性极限，屈服强度不够。预防途径：

1. 降低实际应力：降低工作应力；减少残余应力；降低应力集中。
2. 提高材料的屈服强度：通过合金化、热处理等方法。

**4. 何谓冲击韧性？如何根据冲击韧性来判断材料的低温脆性倾向？**

冲击韧性是指材料在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力，即反映材料承受外来冲击负荷而不断裂的抵抗能力。冲击韧性指标的实际意义在于揭示材料的变脆倾向。

材料的冲击吸收功随温度降低而降低，当温度低于韧脆转变温度时，材料由韧性状态变为脆性状态的现象，称为低温脆性。从试样结果看（参见沈莲《机械工程材料》第三版P10图1-4）冲击韧性高的材料的低温脆性倾向小。但如果在低温条件下使用的零件，设计要考虑冲击韧性和韧脆转变温度。

**作业二**

1. **何谓断裂韧性？影响脆断的主要因素有哪些？**

材料抵抗裂纹扩展断裂的韧性性能称为断裂韧性。是材料抵抗脆性破坏的韧性参数。通常主要以断裂韧度来衡量。

影响脆断的主要因素有：

1、加载方式和材料本质：冶金缺陷会引起冷脆，比如过热引起晶粒异常长大，非金属夹杂物颗粒沿晶界析出；有害杂质元素沿晶界偏聚，减弱了晶界结合力等。

2、温度和加载速度：降低使用温度和增加加载速度都会引起材料脆断倾向增大。

3、应力集中

4、零件尺寸设计不合理

1. **压力容器钢的σS=1000MPa，KIC =170MPa•m1/2 ; 铝合金的σS=400MPa，KIC =25MPa•m1/2 。试问这两种材料制作压力容器时发生低应力脆断时裂纹的临界尺寸是多少设裂纹的几何形状因子Y=π1/2？哪一种材料更适合做压力容器？**

解：裂纹的临界尺寸ac=(KIC/Y\***σS**)2

压力容器钢: ac=(**170/(1.77\*1000**) 2**=0.0092m**

**铝合金:** ac=(**25/(1.77\*400**) 2**=0.0012m**

由于压力容器钢的零件允许存在的裂纹最大尺寸大于铝合金的，所以压力容器钢更适合做压力容器。

1. **查资料，到现场（汽车系、机械系、材料系实验室），从下列汽车零件中任选一种，分析它在使用中的主要失效形式**，**你选材时主要考虑哪些主要力学性能，为什么？**

**变速箱齿轮，驾驶室外壳（车身），发动机中的活塞，发动机缸体，发动机缸盖，曲轴，半轴，减振弹簧（钢板弹簧）**

常见汽车零件的工作条件及失效形式：

1、 齿轮工作条件、失效形式及性能要求

齿轮是汽车中应用最广的零件之一，主要用于传递扭矩和调节速度。

（1）工作条件

1）由于传递扭矩，齿根承受较大的交变弯曲应力；

2）齿面相互滑动和滚动，承受较大的交变接触力及强烈的摩擦；

3）由于换档、启动或啮合不良，齿部承受一定的冲击；

（2）主要失效形式

1）疲劳断裂 主要发生在齿根。它是齿轮最严重的失效形式；

2）齿面磨损；

3）齿面接触疲劳破坏；

4）过载断裂；

（3）性能要求

1）高的弯曲疲劳强度

2）高的接触疲劳强度和耐磨性

3）齿轮心部要有足够的强度和韧性

4) 较好的热处理性能，热处理变形小。

2. 汽车发动机曲轴的工作条件、失效形式及性能要求

（1）工作条件

1）承受弯曲、扭转、剪切、拉压、冲击等交变应力。

2）曲轴颈与轴承发生滑动摩擦

3）承受一定的冲击载荷

（2）主要失效形式

1）疲劳断裂 长期受扭转和弯曲交变载荷作用

2）磨损失效 轴颈严重磨损

（3）对曲轴用材料性能要求

1）高的强度；

2）一定的冲击韧度；

3）足够的弯曲、扭转疲劳强度；

4）足够的刚度；轴径表面有高的硬度和耐磨性。

3、汽车弹簧零件的工作条件、失效形式及性能要求

（1）工作条件

1）弹簧在外力作用下，压缩、拉伸、扭转时材料将承受很大的弯曲应力或扭转应力。

2）缓冲、减震或复原用的弹簧，承受很大的交变应力和冲击载荷的作用

（2）主要失效形式

1）刚度不足引起的过度变形

2）疲劳断裂

（3）对弹簧用材性能要求

1）高的弹性极限和屈强比（σs/σb）

2）高的疲劳强度

3）好的表面质量

4）良好的耐蚀性和耐热性

4、半轴零件的工作条件、失效形式及性能要求

（1）半轴的工作条件

1）工作时主要受交变弯曲和扭转应力的复合作用；

2）轴与轴上零件有相对运动, 相互间存在摩擦和磨损；

3）轴在高速运转过程中会产生振动, 使轴承受冲击载荷；

4）多数轴会承受一定的过载载荷。

（2） 半轴的失效方式

1）长期交变载荷下的疲劳断裂（包括扭转疲劳和弯曲疲劳断裂）；

2）大载荷或冲击载荷作用引起的过量变形、断裂；

3）与其它零件相对运动时产生的表面过度磨损。

（3）半轴的性能要求

1）综合机械性能： 足够强度、塑性和一定韧性，以防过载断裂、冲击断裂；

2）高疲劳强度， 对应力集中敏感性低，以防疲劳断裂；

3）表面要有高硬度、高耐磨性， 以防磨损失效；

4）足够淬透性，良好切削加工性能，价格便宜。

5、活塞零件的工作条件、失效形式及性能要求

（1）活塞的工作条件

活塞在高温、高压、高速、润滑不良的条件下工作。

1）活塞直接与高温气体接触，瞬时温度可达2500K以上，因此，受热严重，而散热条件又很差，所以活塞工作时温度很高，顶部高达600～700K，且温度分布很不均匀；

2）活塞顶部承受气体压力很大，特别是做功行程压力最大，汽油机高达3～5MPa，柴油机高达6～9MPa，这就使得活塞产生冲击，并承受侧压力的作用；

3）活塞在气缸内以很高的速度(8～12m/s)往复运动，且速度在不断地变化，这就产生了很大的惯性力，使活塞受到很大的附加载荷。活塞在这种恶劣的条件下工作，会产生变形并加速磨损，还会产生附加载荷和热应力，同时受到燃气的化学腐蚀作用。

（2）活塞失效形式

1）活塞顶面裂纹；

2）活塞环槽过度磨损；

3）活塞销座裂纹，销孔咬合；

4）环岸和裙部脆断。

（3）活塞的性能要求

1）要有足够的强度、刚度、质量小、重量轻，以保证最小惯性力。

2）导热性好、耐高温、高压、腐蚀，有充分 的散热能力,受热面积小。

3）活塞与活塞壁间应有较小的摩擦系数。

4）温度变化时，尺寸、形状变化要小，和汽缸壁间要保持最小的间隙。

5）热膨胀系数小，比重小，具有较好的减磨性和热强度。

6、发动机缸体零件的工作条件、失效形式及性能要求

（1）发动机缸体的工作条件

缸体通常在处于高温、高载荷、磨损剧烈的状态下工作，承受较大的热冲击作用和承受较大的压力，同时工作在液体油的沉浸下，工作环境潮湿。

（2）发动机缸体失效形式

1）过量变形；

2）缸体渗漏

（3）发动机缸体的性能要求

1）要有足够高的刚度、强度、硬度，高的耐磨性；

2）配气机构能够准时的进气排气，气缸内密封性好，无漏油；

3）缸体工作时内部高压高温，因此需要有良好的散热条件；

4）良好的减震性；

4）发动机缸体形状复杂，因此要便于成型。

7、发动机缸盖零件的工作条件、失效形式及性能要求

（1）发动机缸盖的工作条件

缸盖安装在缸体的上面，从上部密封气缸并构成燃烧室。它经常与高温高压燃气相接触，因此承受很大的热负荷和机械负荷。

（2）发动机缸盖失效形式

过量塑性变形，拆卸后重装密封性下降；

（3）发动机缸盖的性能要求

1）高的高温强度；

2）好的密封性；

3）良好的导热性；

4）发动机缸盖形状复杂，因此要便于成型。

8、汽车车身的工作条件、失效形式及性能要求

（1）汽车车身的工作条件

汽车车身既是外观装饰性的零件，又是封闭薄壳状的受力零件。它主要起的是支撑作用以及防止在行驶过程中损坏和驾驶人在冲击过程中受到伤害的作用。由于长期暴露在空气中，所以要求有一定的防腐蚀作用，当然其形状的设计也要符合一定的力学规律，即减少在行驶过程中的受力，用以降低损耗。

（2）汽车车身的失效形式

1）一般在长时间工作后由于受到内部震动影响容易出现部分部位脱焊的状况，直接导致失效；

2）部分区域应力集中发生非弹性变形、扭曲；

3）磨损、锈蚀也是其常见的一种失效形式。

（3）汽车车身的性能要求

由于汽车车身具有材料薄、形状复杂、结构尺寸大和表面质量要求高等特点，所以要求有以下性能：

1）足够的强度；

2）良好的塑性和韧性，良好的冲压性能；

3）一定的刚性和尺寸稳定性；

4）良好的焊接性能；

**作业3**

**1、有一根轴向尺寸很大的轴（圆形截面杆件各截面中心点的连线叫轴线，沿这个方向叫轴向；自截面中心点放射方向叫径向。自杆件端点到轴线上某点的距离长短叫轴向尺寸），在500℃温度下工作，承受交扭转载荷和交变弯曲载荷，轴颈处（轴和轴承配合的部分）承受摩擦力和接触压应力，试分析此轴的失效形式可能有几种？设计时需要考核哪几个力学性能指标？**

答：根据其工作条件，此轴失效方式主要是疲劳断裂和轴颈处磨损，也可能出现冲击过载断裂，塑性变形或高温蠕变。

从失效分析看，设计时需要考核力学性能指标：高的疲劳强度，防止疲劳断裂；优良的综合力学性能，即较高的屈服强度和抗拉强度、较高的韧性，防止塑性变形和冲击过载断裂；轴颈处具有高的硬度和耐磨性，防止磨损失效；高的蠕变抗力、耐蚀性等。

1. **实际晶体中的晶体缺陷有哪几种类型，它们分别对金属材料力学性能有何影响？试分别举一例在实际生产（生活）的应用。**

答：实际晶体中偏离理想完整点阵的部位或结构称为晶体缺陷。根据缺陷在晶体中分布的几何特点, 可将其分为3大类, 即点缺陷、线缺陷和面缺陷。

点缺陷会使周围的晶格发生畸变，进而使位错运动时阻力增大，从而引起材料强度、硬度上升，塑性、韧性下降。生产中固溶强化就是利用此原理，比如热处理（淬火）；加合金元素固溶于奥氏体、铁素体、马氏体中，产生固溶强化。

位错是一种及重要的晶体缺陷，它对金属的塑性变形，强度与断裂有很重要的作用，塑性变形就其原因就是位错的运动，而强化金属材料的基本途径之一就是阻碍位错的运动。深入了解位错的基本性质与行为，对建立金属强化机制将具有重要的理论和实际意义。金属材料的强度与位错在材料受到外力的情况下如何运动有很大的关系。如果位错运动受到的阻碍较大，则材料强度、硬度就会较高。实际材料在发生塑性变形时，位错的运动是比较复杂的，位错之间相互反应、位错受到阻碍不断塞积、材料中的溶质原子、第二相等都会阻碍位错运动，从而使材料出现加工硬化。比如生产中的表面喷丸强化技术。

面缺陷原子排列不规则，常温下晶界对位错运动起阻碍作用，塑性变形抗力提高，晶界有较高的强度和硬度。晶粒越细，材料的强度越高，这就是细晶强化。比如，生产中的孕育处理，加合金元素细化奥氏体和铁素体晶粒及马氏体针条等。

1. **何谓过冷度？为什么结晶需要过冷度？它对结晶后晶粒大小有何影响？为什么？**

答：过冷度是指金属其熔点（理论结晶温度）与实际结晶温度的差值，合金的过冷度等于其相图中液相线温度与实际结晶温度的差值。

过冷度是指平衡结晶温度与实际结晶温度之差称为过冷度。根据热力学第二定律，在等温等压条件下，一切自发过程都朝着使系统自由能降低的方向进行。从液、固金属自由能G与温度T的关系曲线可知，二曲线相交点对应的温度称为平衡结晶温度。在低于平衡结晶温度时，固体的自由能低于液体的自由能，液体结晶为固体为自发过程，所以要使液体结晶，就必须具有一定的过冷度，以提供结晶的驱动力，过冷度愈大，液体结晶的倾向愈大。

过冷度愈大，冷却速度越大，生核速率就越大，晶粒就越细小

**作业四**

1. **根据铁碳相图指出渗碳体的种类、形成过程及对铁碳合金力学性能的影响。**

答：根据铁碳相图渗碳体一般分为5种

一次渗碳体（从液体相中析出）其呈白色条带状分布在莱氏体之间。

二次渗碳体（从奥氏体中析出），沿奥氏体晶界网状分布。沿原始奥氏体晶界析出且呈网状分布，从而勾划出奥氏体晶界，故成网状的二次渗碳体。当奥氏体转变成珠光体后，二次渗碳体便呈连续网状分布在珠光体的边界上。

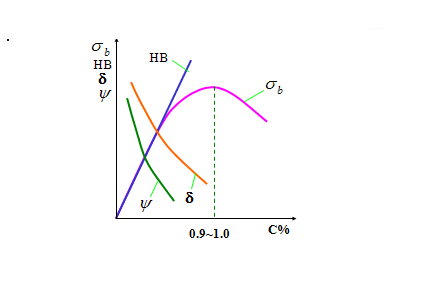
三次渗碳体（从铁素体中析出），其分布在铁素体晶界上，但因量少、极分散，一般看不到。

共晶渗碳体是由液态铁碳合金中直接结晶出来的；由于液体原子活动能力强，故共晶渗碳体常以树枝状形态生长，而且比较粗大；由于形成共晶渗碳体的液态合金碳含量较高（4.3%)，故合金中共晶渗碳体的量大。

共析渗碳体是由固态下（奥氏体中）形成的；以比较细小的片状形式存在；由于形成共析渗碳体的合金的碳含量较低（0.77%），故共析渗碳体的量少。

渗碳体是铁碳合金中的强化相。渗碳体对性能的影响，既取决于形貌，也取决于数量，随着碳的质量分数的增加，强度、硬度增加，塑性、韧性下降。二次渗碳体因呈连续网状分布在珠光体的边界上，所以会使材料脆性增加。一次渗碳体出现在过共晶铸铁，具有很高的硬度，脆性大，难以加工，强度也低于钢。

1. **并根据Fe-Fe3C相图分析下列各性能变化的原因：**



答：渗碳体是铁碳合金中的强化相，随着含碳量的增加，渗碳体的量增加，所以材料的强度、硬度增加，塑性、韧性降低，当含碳量大于1.0%,由于网状渗碳体的出现，导致材料强度下降。当含碳量大于2.11%,出项粗大的一次渗碳体，材料变得硬脆。

1. **画出Fe -C状态图，填出图中各区的相和组织。分析缓慢冷却条件下T10钢和含碳量为5.0%铁的结晶（凝固）过程，要求分别画出其冷却曲线并写出各温度区间组织（相）转变，以及其室温组织**。

答：作图略。

参见课件和《机械工程材料》过共析钢和过共晶铸铁的结晶过程。

T10室温组织 P+Fe3CⅡ

过共晶铸铁室温组织：Le+ Fe3CI

1. **应用杠杆定律分别计算45钢（含C=0.45%）,铁素体（F）和Fe3C两相各占多少（相对质量分数）？有一钢的金相观察发现其 F:95%; Fe3C：5%；求钢的含碳量？**

解：(1)45号钢的室温组织是为F（Wc=0.0218% C）+P（F+Fe3C）（Wc =0.77%C）所以**45钢的室温相是F和Fe3C** (Wc=6.69%)，根据杠杆定律：

相的相对量：WF=(6.69-0.45)/(6.69-0.0218)=0.9357=93.6%

W**Fe3C**=1-93.6%=6.4% 或W**Fe3C** =(0.45-0.0218)/(6.69-0.0218)=0.064=6.4%

(2) 根据WF=(6.69-X)/(6.69-0.0218)=0. 95

解得：X=6.69-0. 95\*(6.69-0.0218)=0.355

答（1）铁素体（F）和Fe3C两相各占93.6%和6.4%

（2）钢的含碳量约为**0.35**

1. **查资料，指出下列钢的类别、成分、室温显微组织及用途**

**Q215-A-F；Q255-B；10钢；40Cr；60Si2Mn；W18Cr4V**

答：Q215-A-F 普通碳素结构钢，显微组织F+P。 其余见金属工艺学P31

Q255-B 普通碳素结构钢，显微组织F+P。其余见金属工艺学P31

T10钢 碳素工具钢，显微组织Fe3C+P。 其余见金属工艺学P32

40Cr 合金结构钢，显微组织F+P。 其余见金属工艺学P34

60Si2Mn 合金结构钢，显微组织 P（较多）+F。其余见金属工艺学P35

W18Cr4V合金工具钢，显微组织 P（大量）+F。其余见金属工艺学P35

**作业五**

1. **在钢中加入合金元素的主要目的是什么？**

**答：**

1. 改善钢的热处理工艺性能
2. 细化奥氏体晶粒
3. 提高淬透性
4. 提高回火抗力

(2)、合金元素提高钢的使用性能

1）合金元素使钢强化（固溶强化、第二相强化、细晶强化）

2）合金元素使钢获得特殊性能

3）形成稳定的单相组织

4）形成致密氧化膜

5）形成金属间化合物

请分别说出它们的代表钢号及其使用零件。根据前面的作用，合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢中各选一种钢号和零件。

1. **共析钢奥氏体等温转变产物的形成条件、组织形态及性能各有何特点？**

**答：**

其等温转变在不同温度区间可能发生三种类型：珠光体型转变（高温转变）；贝氏体型转变（中温转变）；马氏体型转变（低温转变）。

1) 珠光体型转变 转变的产物为珠光体、索氏体和托氏体。其形成的条件为共析钢在727℃~550℃（实际温度要低于该值）之间等温转变就行。温度在727℃~650℃之间，形成珠光体（层片之间距离比较大，如果在727℃附近保温时间较长，会形成球状珠光体）；在650℃~600℃之间，形成索氏体（放大千倍可以分辨出片层状）；在600℃~550℃之间（用电子显微镜可以看出片层状）。其中片层间距离越小，P的强度、硬度、塑性和韧性都越高。

2) 贝氏体型转变 转变产物为贝氏体。其形成的条件为共析钢在230℃~550℃（实际温度要低于该值）之间等温转变。温度在350℃~550℃之间，形成上贝氏体。在光学显微镜下可以明显见到成束的、自晶界向晶粒内部生成的铁素体条，它的分布具有羽毛状特征，上贝氏体塑性和韧性较差，在生产中很少应用；在350℃~230℃之间形成下贝氏体，它容易被腐蚀，在显微镜下显黑色状。其具有较高的硬度和耐磨性，它的强度、韧度和塑性均高于上贝氏体。

3) 马氏体型转变 转变产物为马氏体和残余奥氏体。其形成条件为共析钢在230℃以下等温转变就行，当奥氏体中W(C)>1%时，得到的是片状马氏体（呈双凸透镜状），具有高强度高硬度，但韧性很差，其特点是硬而脆；W(C)<0.2%时，形成板状马氏体（椭圆形截面的细长条状），其不但具有很高的强度而且具有良好的塑性和韧性，同时还具有低的脆性转变温度，其缺口敏感性和过载敏感性都较低。介于两者之间产生的是两种马氏体的混合物，其性能介于二者之间。

1. **何谓过冷奥氏体？钢获得马氏体的条件是什么？**

通常将奥氏体化后冷却到临界温度以下（比如亚共析钢在A1以下）尚未发生转变的不稳定奥氏体称为过冷奥氏体。钢获得马氏体组织的条件是,钢从热处理奥氏体状态快速冷却,来不及发生扩散分解而发生无扩散型的相变。

1. **比较共析钢过冷奥氏体连续冷却转变图与等温转变图的异同点。**

参见《机械工程材料》第三章第二节图3-11共析钢奥氏体连续冷却转变图与等温转变图的比较的分析。

相同点：二者的相同点均是过冷奥氏体的转变图解，本质上是一致的，都有珠光体转变和马氏体转变

不同点：首先连续冷却转变曲线与等温转变曲线临界冷却速度不同。其次连续冷却转变曲线位于等温转变曲线的右下侧，且没有C曲线的下部分，即共析钢在连续冷却转变时，得不到贝氏体组织。这是因为共析钢贝氏体转变的孕育期很长，当过冷奥氏体连续冷却通过贝氏体转变区内尚未发生转变时就已过冷到Ms点而发生马氏体转变，所以不出现贝氏体转变。

**作业6**

1. **论述合金元素在钢中的主要作用（从力学性能改变，对热处理的影响等方面分析）**。

答：在钢中加入合金元素后，钢的基本组元铁和碳与加入的合金元素会发生交互作用。钢的合金化目的是希望利用合金元素与铁、碳的相互作用和对铁碳相图及对钢的热处理的影响来改善钢的组织和性能。

一 合金元素对钢的机械性能的影响

提高钢的强度是加入合金元素的主要目的之一。欲提高强度, 就要设法增大位错运动的阻力。金属中的强化机制主要有固溶强化、位错强化、细晶强化、第二相(沉淀和弥散)强化。合金元素的强化作用, 正是利用了这些强化机制。

1. 对退火状态下钢的机械性能的影响

结构钢在退火状态下的基本相是铁素体和碳化物。合金元素溶于铁素体中, 形成合金铁素体, 依靠固溶强化作用, 提高强度和硬度, 但同时降低塑性和韧性。

2.对退火状态下钢的机械性能的影响

由于合金元素的加入降低了共析点的碳含量、使C曲线右移, 从而使组织中的珠光体的比例增大, 使珠光体层片距离减小, 这也使钢的强度增加, 塑性下降。但是在退火状态下, 合金钢没有很大的优越性。

由于过冷奥氏体稳定性增大, 合金钢在正火状态下可得到层片距离更小的珠光体, 或贝氏体甚至马氏体组织, 从而强度大为增加。Mn、Cr、Cu的强化作用较大, 而Si、Al、V、Mo等在一般含量(例如一般结构钢的实际含量)下影响很小。

3. 对淬火、回火状态下钢的机械性能的影响

合金元素对淬火、回火状态下钢的强化作用最显著, 因为它充分利用了全部的四种强化机制。淬火时形成马氏体, 回火时析出碳化物, 造成强烈的第二相强化，同时使韧性大大改善, 故获得马氏体并对其回火是钢的最经济和最有效的综合强化方法。

合金元素加入钢中, 首要的目的是提高钢的淬透性, 保证在淬火时容易获得马氏体。其次是提高钢的回火稳定性, 使马氏体的保持到较高温度，使淬火钢在回火时析出的碳化物更细小、均匀和稳定。这样, 在同样条件下, 合金钢比碳钢具有更高的强度。

二、 合金元素对钢热处理的影响

合金元素的加入会影响钢在热处理过程中的组织转变。

1. 合金元素对加热时相转变的影响

合金元素影响加热时奥氏体形成的速度和奥氏体晶粒的大小。

(1)对奥氏体形成速度的影响： Cr、Mo、W、V等强碳化物形成元素与碳的亲合力大, 形成难溶于奥氏体的合金碳化物, 显著减慢奥氏体形成速度；Co、Ni等部分非碳化物形成元素, 因增大碳的扩散速度, 使奥氏体的形成速度加快；Al、Si、Mn等合金元素对奥氏体形成速度影响不大。

(2)对奥氏体晶粒大小的影响：大多数合金元素都有阻止奥氏体晶粒长大的作用, 但影响程度不同。强烈阻碍晶粒长大的元素有：V、Ti、Nb、Zr等；中等阻碍晶粒长大的元素有：W、Mn、Cr等；对晶粒长大影响不大的元素有：Si、Ni、Cu等；促进晶粒长大的元素：Mn、P等。

2. 合金元素对过冷奥氏体分解转变的影响

除Co外, 几乎所有合金元素都增大过冷奥氏体的稳定性, 推迟珠光体类型组织的转变, 使C曲线右移, 即提高钢的淬透性。常用提高淬透性的元素有：Mo、Mn、Cr、Ni、Si、B等。必须指出, 加入的合金元素, 只有完全溶于奥氏体时, 才能提高淬透性。如果未完全溶解, 则碳化物会成为珠光体的核心, 反而降低钢的淬透性。另外, 两种或多种合金元素的同时加入(如, 铬锰钢、铬镍钢等), 比单个元素对淬透性的影响要强得多。

除Co、Al外, 多数合金元素都使Ms和Mf点下降。其作用大小的次序是：Mn、Cr、Ni、Mo、W、Si。其中Mn的作用最强, Si实际上无影响。Ms和Mf点的下降, 使淬火后钢中残余奥氏体量增多。残余奥氏体量过多时,可进行冷处理(冷至Mf点以下), 以使其转变为马氏体; 或进行多次回火, 这时残余奥氏体因析出合金碳化物会使Ms、Mf点上升, 并在冷却过程中转变为马氏体或贝氏体(即发生所谓二次淬火)。

3. 合金元素对回火转变的影响

(1)提高回火稳定性 合金元素在回火过程中推迟马氏体的分解和残余奥氏体的转变(即在较高温度才开始分解和转变)， 提高铁素体的再结晶温度, 使碳化物难以聚集长大，因此提高了钢对回火软化的抗力, 即提高了钢的回火稳定性。提高回火稳定性作用较强的合金元素有：V、Si、Mo、W、Ni、Co等。

(2)产生二次硬化 一些Mo、W、V含量较高的高合金钢回火时, 硬度不是随回火温度升高而单调降低, 而是到某一温度(约400℃)后反而开始增大, 并在另一更高温度(一般为550℃左右)达到峰值。这是回火过程的二次硬化现象, 它与回火析出物的性质有关。当回火温度低于450℃时, 钢中析出渗碳体; 在450℃以上渗碳体溶解, 钢中开始沉淀出弥散稳定的难熔碳化物Mo2C、W2C、VC等, 使硬度重新升高, 称为沉淀硬化。回火时冷却过程中残余奥氏体转变为马氏体的二次淬火所也可导致二次硬化。

1. **论述合金元素在铝、镁合金中的主要作用（从力学性能改变，对热处理的影响等方面分析）。**

答：有色金属的强度一般较低。例如, 常用的有色金属铝、铜、钛在退火状态的强度极限分别只有80～100MPa 、220MPa 和450～600MPa 。因此, 设法提高有色金属的强度一直是有色冶金工作者的一个重要课题。目前, 工业上主要通过加合金元素采用以下几种方法并通过适当热处理来强化有色金属。

**1） 　固溶强化**

纯金属由于强度低, 很少用作结构材料, 在工业上合金的应用远比纯金属广泛。合金组元溶入基体金属的晶格形成的均匀相称为固溶体。形成固溶体后基体金属的晶格将发生程度不等的畸变, 但晶体结构的基本类型不变。固溶体按合金组元原子的位置可分为替代固溶体和间隙固溶体; 按溶解度可分为有限固溶体和无限固溶体; 按合金组元和基体金属的原子分布方式可分为有序固溶体和无序固溶体。绝大多数固溶体都属于替代固溶体、有限固溶体和无序固溶体。替代固溶体的溶解度取决于合金组元和基体金属的晶体结构差异、原子大小差异、电化学性差异和电子浓度因素。间隙固溶体的溶解度则取决于基体金属的晶体结构类型、晶体间隙的大小和形状以及合金组元的原子尺寸。纯金属一旦加入合金组元变为固溶体,其强度、硬度将升高而塑性将降低, 这个现象称为固溶强化。固溶强化的机制是: 金属材料的变形主要是依靠位错滑移完成的, 故凡是可以增大位错滑移阻力的因素都将使变形抗力增大, 从而使材料强化。合金组元溶入基体金属的晶格形成固溶体后, 不仅使晶格发生畸变, 同时使位错密度增加。畸变产生的应力场与位错周围的弹性应力场交互作用, 使合金组元的原子聚集在位错线周围形成“气团”。位错滑移时必须克服气团的钉扎作用, 带着气团一起滑移或从气团里挣脱出来, 使位错滑移所需的切应力增大。此外, 合金组元的溶入还将改变基体金属的弹性模量、扩散系数、内聚力和晶体缺陷, 使位错线弯曲, 从而使位错滑移的阻力增大。在合金组元的原子和位错之间还会产生电交互作用和化学交互作用, 也是固溶强化的原

因之一。在以固溶强化作为主要强化方法时, 应选择在基体金属中溶解度较大的组元作为合金元素, 例如在铝合金中加入铜、镁; 在镁合金中加入铝、锌; 在铜合金中加入锌、铝、锡、镍; 在钛合金中加入铝、钒等。第二, 合金组元与基体金属的原子尺寸差异对固溶强化效果起主要作用。原子尺寸差异越大, 则替代固溶体的强化效果越好。第三, 对同一种固溶体, 强度随浓度增加呈曲线关系升高,在浓度较低时, 强度升高较快, 以后渐趋平缓,大约在原子分数为50 %时达到极大值。以普通黄铜为例: H96 的含锌量为4 % , σb 为240MPa , 与纯铜相比其强度增加911 %;H90 的含锌量为10 % , σb 为260MPa , 与H96 相比强度仅提高813 %。第四, 对同一基体金属, 在浓度相同时, 形成间隙固溶体较形成替代固溶体的强化效果更好, 这是由于间隙固溶体的晶格畸变更为严重之故,但由于间隙固溶体的溶解度一般较小, 其总的强化效果不大。第五, 在固溶强化的同时, 合金的塑性将降低。也就是说,固溶强化是以牺牲部分塑性为代价的。一般来说, 固溶体的塑性降低不多,仍然可以承受塑性加工。例如, 在铜中加入适当镍形成固溶体, 使其硬度增加到HB60～80 , 延伸率降至50 %; 如果通过形变强化使硬度增加到同样水平, 延伸率将降至1～2 %。第六, 采用多元少量的复杂合金化原则, 其强化效果较少元多量好, 并且能将强化效果保持到较高温度。第七, 与其它强化方法相比, 固溶强化的强度增幅较小, 在固溶体浓度较高时更加明显。

固溶强化在有色金属生产实践中得到广泛应用。目前工业上使用的大多数有色金属合金, 其显微组织或全部是固溶体(如单相黄铜、α型和β型钛合金、普通白铜以及部分防锈铝合金) , 或是在固溶体基体上分布着第二相(如复相黄铜、α+β 型钛合金、大多数铝合金和镁合金以及各种轴承合金) 。这是因为这些合金不仅具有较高的强度, 而且可以承受轧制、挤压、拉拔和锻造等各种形式的塑性加工。

**2 ）细晶强化**

有色金属生产的第一道工序是熔炼和铸造。熔炼的目的是合金化和精炼, 铸造的目的是获得成分、组织、性能符合要求的具有一定形状和尺寸的铸锭(或铸件) 。铸造过程是一个结晶过程, 液态金属在冷凝过程中将通过形核和长大形成由许多晶粒组成的多晶组织。晶界上原子排列紊乱, 杂质富集,晶体缺陷的密度较大, 且晶界两侧晶粒的位向也不同, 所有这些因素都对位错滑移产生很大的阻碍作用, 从而使强度升高。有色合金常进行变质处理（细晶），来改善力学性能。晶粒越细小, 晶界总面积就越大, 强度越高, 这一现象称为细晶强化。细晶强化在提高强度的同时, 也提高材料的塑性和韧性, 是金属材料常用的强韧化方法之一。这是因为细晶材料在发生塑性变形时各个晶粒变形比较均匀, 可以承受较大变形量之故。细晶粒受到外力发生塑性变形可分散在更多的晶粒内进行，塑性变形较均匀，应力集中较小；此外，晶粒越细，晶界面积越大，晶界越曲折，越不利于裂纹的扩展。晶粒越细小，位错集群中位错个数越小，应力集中越小，所以材料的强度越高； 晶界越多，晶粒越细，晶粒的平均值(d)越小，材料的屈服强度就越高。第三, 细晶强化的效果不仅与晶粒大小有关, 还与晶粒的形状和第二相晶粒的数量和分布有关。欲取得较好的强韧化效果,应防止第二相晶粒不均匀分布以及形成网状、骨骼状、粗大块状、针状等不利形状。第四, 晶粒大小常会出现“组织遗传”现象, 即一旦在生产中的某个环节形成了粗大晶粒, 以后就难以细化。故晶粒度始终是有色金属各个生产工序中的一个重要质量指标。第五, 晶界在室温下阻碍位错滑移, 在高温下却成了材料的脆弱之处, 且材料在高温下的塑性变形机制与室温塑性变形机制也有所不同, 故细晶强化仅适用于提高室温强度, 对提高高温强度并不适用, 甚至适得其反。细晶强化在有色金属生产过程中得到广泛应用。在铸造时, 晶粒大小取决于形核率和长大速率, 任何使形核率提高和长大速度降低的因素均可使晶粒细化。对较小的铸锭, 常用的方法是增大冷却速度以提高结晶时的过冷度, 从而提高形核率。对较大的铸锭, 常采用机械振动、电磁振动、超声波处理等方法, 使正在生长的晶粒破碎并因此提供了更多的晶粒, 从而细化晶粒。更常用的方法是向熔体中加入适当的变质剂(孕育剂) , 它们均匀地分布在熔体中, 或作为非自发形核的固相基底使形核率大大提高(如在含115 %Mn 的铝液中加入0109 %Ti) ; 或被吸附在正在生长的晶粒表面, 阻碍晶粒长大(如在Al2Si 合金熔体中加入钠盐) ; 或与晶体发生化学作用, 使晶粒的形状发生改变，经变质处理的强化效果是十分明显的。在随后的生产过程中,还可以通过塑性加工、退火、热处理等工艺细化组织。对材料进行大变形量塑性变形然后进行低温、短时再结晶退火, 可以细化晶粒。在热处理过程中采用快速加热技术和适当的热处理工艺, 也可以细化组织。

**3形变强化**

形变强化亦称为冷变形强化、加工硬化和冷作硬化。生产金属材料的主要方法是塑性加工, 即在外力作用下使金属材料发生塑性变形, 使其具有预期的性能、形状和尺寸。在再结晶温度以下进行的塑性变形称为冷变形。金属材料在冷变形过程中强度将逐渐升高, 这一现象称为形变强化。形变强化现象在材料的应力2应变曲线上可以明显地显示出来, 见图3。图中的BC 段称为流变曲线, 它表示在塑性变形阶段, 随着应变增加, 强度将呈曲线关系提高。形变强化的机理是: 冷变形后金属内部的位错密度将大大增加, 且位错相互缠结并形成胞状结构(形变亚晶) , 它们不但阻碍位错滑移, 而且使不能滑移的位错数量剧增, 从而大大增加了位错滑移的难度并使强度提高。形变强化遵循以下规律: 第一, 随着变形量增加, 强度提高而塑性和韧性逐渐降低, 逐渐接近于零,第二, 随着塑性变形量增加, 强度呈曲线关系提高, 强度增值较大值后,渐趋平缓。第三, 形变强化受材料塑性限制, 当变形量达到一定程度后, 材料将发生断裂报废。第四, 形变强化的效果十分明显, 强度增值较大, 可达百分之几十甚至一倍以上。例如,纯铜经强烈冷变形, 强度极限σb 可从220MPa 提高至450MPa ; 工业纯钛通过形变强化, 使σb 可从750MPa 提高至1300MPa 。第五, 形变强化仅适用于冷变形。在温度高于再结晶的热加工过程中, 由于同时发生导致材料软化的回复和再结晶, 形变强化将不发生或不明显。第六, 形变强化可以通过再结晶退火消除, 使材料的组织和性能基本上恢复到冷变形之前的状态。形变强化在工业上具有广泛的实用价值, 几乎适用于所有的有色金属材料, 并且是纯金属、单相固溶体合金和热处理不能强化合金的主要强化方法。某些有色金属在冷变形后能形成较好的形变织构, 从而在一定方向得到强化, 这个现象称为织构强化, 在工业上也有一定实用价值(如钛合金板材的织构强化) 。

**4 　第二相强化**

第二相强化亦称过剩相强化。目前工业上使用的合金大都是复相或多相合金,其显微组织为在固溶体基体上分布着第二相(过剩相) 。第二相是通过加入合金元素然后经过塑性加工和热处理形成,也可通过粉末冶金等方法获得。第二相大都是硬脆、晶体结构复杂、熔点较高的金属化合物,有时是与基体相不同的另一种固溶体。第二相的存在一般都使合金的强度升高,其强化效果与第二相的特性、数量、大小、形状和分布均有关系,还与第二相与基体相的晶体学匹配情况、界面能、界面结合等状况有关,这些因素往往又互相联系,互相影响,情况十分复杂。即并非所有的第二相都能产生强化作用,只有当第二相强度较高时,合金才能强化。如果第二相是难以变形的硬脆相,合金的强度主要取决于硬脆相的存在情况。当第二相呈等轴状且细小均匀地弥散分布时,强化效果最好;当第二相粗大、沿晶界分布或呈粗大针状时,不但强化效果不好,而且合金明显变脆。

如果第二相十分细小, 并且弥散分布在基体相晶粒中, 称为弥散分布型多相合金。经过淬火+ 时效处理的铝合金、经过淬火+时效处理的钛合金、以及许多高温合金和粉末合金均属于这类合金。有时将过饱和固溶体进行时效处理沉淀出弥散第二相产生的强化作用称为沉淀强化, 而将通过粉末冶金方法加入弥散第二相产生的强化作用称为弥散强化。

**5 　热处理强化**

许多铝合金、镁合金和铜合金都可以通过淬火、时效提高强度, 许多钛合金(主要是β型钛合金和α + β型钛合金) 可以通过马氏体转变提高强度, 而且强度增幅很大, 有时可以通过热处理将强度提高百分之几十甚至几倍, 见表4。铝合金、镁合金和铍青铜的热处理强化机制是: 先通过固溶淬火获得过饱和固溶体, 在随后的时效(人工时效或自然时效) 过程中将在基体上沉淀出弥散分布的第二相(溶质原子富集区、过渡相或平衡相) , 通过沉淀强化使合金的强度升高。在热处理前后第二相的组织形态发生了很大变化, 而这些变化均有利于合金强化。表5 反映了Al - Cu 合金在热处理前后的组织变化情况。

　钛合金的热处理强化和铝合金有本质上的区别。钛合金淬火的目的是为了获得马氏体, 在随后的时效过程中通过马氏体分解析出弥散分布的第二相, 从而起到强化作用。马氏体强化实际上是一种综合性强化方法,它综合了细晶强化(马氏体晶粒远较母相晶粒细小) 、固溶强化(马氏体是过饱和固溶体) 、位错强化(马氏体中含有高密度位错)和第二相强化(主要是不可变形微粒的沉淀强化) 于一体, 操作亦比较简便, 是一种经济而有效的强化方法。下表显示了几种钛合金的热处理强化效果。应当强调的是, 热处理强化不仅可以提高有色金属的强度, 往往还可以同时提高合金的塑性、韧性、抗蚀性和塑性加工性能, 在工业上应用很广。

有色金属的形变热处理逐渐在工业上获得广泛应用。形变热处理将塑性变形与热处理结合, 强化效果很好, 往往不降低韧性甚至使韧性稍有改善。以钛合金为例, 经过形变热处理后强度极限可提高5～20 % , 屈服强度增加10～30 % , 此外塑性、疲劳强度、热强性、抗蚀性也可得到不同程度的提高。影响形变强化效果的主要因素是合金成分、变形温度、变形量、冷却速度和热处理工艺等

**作业7**

1. **何谓退火和正火？两者的特点和用途有什么不同？**

退火是将钢件加热到Ac1或Ac3以上（30~50℃），保温一段时间，然后再缓慢的冷却（一般用炉冷）。

正火是将钢件加热到Ac3或Acm以上（30~50℃），保温一段时间，然后在空气中冷却，冷却速度比退火稍快。

退火与正火的主要区别是：

正火是完全退火的一种特例，二者仅是冷却速度不同，通常退火是随炉冷而正火是在空气中冷却，正火既适用于亚共析钢也适用于过共板钢，对于共析钢，正火一般用于消除网状碳化物；对于亚共析钢，正火的目的与退火基本相同，主要是细化晶粒，消除组织中的缺陷，但正火组织中珠光体片较退火者细，且亚共析钢中珠光数量多铁素体数量少，因此，经正火后钢的硬度、强度均较退火的高，由此可知，在生产实践中，钢中有网状渗碳体的材料需先经正火消除后方可使用其他工艺，而对热处理后有性能要求的材料，则据要求的不同及钢种不同选择退火工艺，如：要求热处理后有一定的强度、硬度，可选择正火工艺；要求有一定的塑性，尽量降低强度、硬度的则应选择退火工艺。

生产上常用的退火操作种类

（1）完全退火（俗称退火）主要用于亚共桥钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材，有的也用做焊接结构件，其目的是细化晶粒，改善组织，消除残余应力，降低硬度、提高塑性，改善切削加工性能，完全退火是一种时间很长的退火工艺，为了缩短其退火时间，目前常采用等温火的工艺来取代完全退火工艺，同完全退火比较，等温火的目的与完全退火相同，但它大大缩短了退火时间。

（2）球化退火主要用于过共析钢及合金工具钢（如刀具、量具、模具以及轴承等所有钢种）。其目的主要是降低硬度，改善切削加工性，并为以后淬火作好准备。

（3）去应力退火（又称低温退火）主要用来消除铸件、锻件及焊接件、热轧件等内应力。

（4）再结晶退火用来消除冷加工（冷拉、冷冲、冷轧等）产生的加工硬化。目的是消除内应力，提高塑性，改善组织。

（5）扩散退火主要用于合金钢，特别是合金钢的铸件和钢锭。目的是利用高温下原子具有较大的扩散能力来减轻或消除钢中化学成分不均匀的现象。

1. **钢淬火后所获得的马氏体组织与铁素体有何相同和不同之处？钢中的马氏体组织表现出什么特性？**

在钢中马氏体和铁素体具有相同的结构，都是碳在a铁中的固溶体，但马氏体是碳在a铁中的过饱和固溶体，铁素体是碳在a铁中的间隙固溶体。

马氏体中过饱和溶解有碳元素，所以它可以很硬，实际上低碳马氏体的硬度并不高。马氏体中还有大量位错和其它亚结构，也是使它硬度增大的因素，马氏体的三维组织形态通常有片状或者板条状，但是在金相观察中（二维）通常表现为针状。高的强度和硬度是钢中马氏体的主要特征之一。

1. **钢在淬火后为什么要回火？三种类型回火的加热温度规范、目的和应用有什么不同？**

淬火后的马氏体加残余奥氏体组织，是一种不稳定的组织，会随时发生转变，引起零件形状和尺寸的变化，同时零件淬火后有较大的热应力和组织应力存在，如果不及时消除这些应力，就会进一步扩展；而这种应力又往往分布在尖角、缺口、孔眼等部位，形成应力集中。应力的集中和扩展，会使零件变形和开裂，所以应当及时消除应力。 有部分零件需要通过热处理来提高它的机械性能，如强度、韧性等，使它在运转过程中具有一定的抗力，以保证较长的使用寿命。这样的热处理往往安排在粗加工之后。 要满足零件机械性能的要求，使它有良好的切削加工性能，还必须把淬火后得到的含碳过饱和的马氏体作回火处理，使碳原子析出形成粒状的渗碳体，从而得到回火索氏体或回火屈氏体等组织。 综上所述，为了稳定组织，稳定尺寸，及时消除内应力，避免变形和裂纹的产生；为了调整组织，使零件具有良好的加工性能和使用性能，就必须将淬火后的零件及时地进行回火。

回火操作一般可分三类：

高温回火，指温度在A1线以下至500℃范围内的回火；高温回火的目的是为了获得回火索氏体或珠光体为主的组织，以得到良好的综合机械性能(既有较高的硬度、强度，又有较好的塑性、韧性)。所以高温回火常作为调质工序，(即淬火加高温回火)。此外高温回火也可用于不淬火状态下的零件，以消除应力，预防变形的处理，如焊接结构件消除焊接应力的处理。高温回火还作为表面淬火返工处理的中间工序，以消除应力，降低硬度，代替退火工序。高温回火用在正火后，则常常是为了降低硬度、改善切削加工性能。高温回火还可以用来制作复杂零件和高合金钢制造的零件在热处理前(包括渗碳等)的预处理工序。

调质即淬火和高温回火的综合热处理工艺。调质件大都在比较大的动载荷作用下工作，它们承受着拉伸、压缩、弯曲、扭转或剪切的作用，有的表面还具有摩擦，要求有一定的耐磨性等等。总之，零件处在各种复合应力下工作。这类零件主要为各种机器和机构的结构件，如轴类、连杆、螺栓、齿轮等，在机床、汽车和拖拉机等制造工业中用得很普遍。尤其是对于重型机器制造中的大型部件，调质处理用得更多．因此，调质处理在热处理中占有很重要的位置。

中温回火，指温度在250一500℃范围内的回火；中温回火能保证零件有较高的弹性极限和抗疲劳强度，这时零件的金相组织是回火屈氏体或回火索氏体。根据这种特性，中温回火常用于弹簧、高强度齿轮、锤扦、模具、高车(俗称天车、行车)车轮及其它车轮踏面的热处理。

低温回火，指温度在250℃以下的回火。低温回火所得到的组织是回火马氏体或回火马氏体加回火屈氏体。一般说来，这种回火不降低或少降低硬度，它的目的主要是为了消除应力，故对于要求高硬度、高耐磨性的零件如高速齿轮、铀承等零件都采用这种回火。

**4、说明锯条、汽车钢板弹簧、车床主轴、变速箱齿轮、发动机曲轴的最终热处理工艺。**

锯条：退火后加工成型，再淬火+低温回火>端部发蓝处理（防锈）

汽车钢板弹簧：油淬+中温回火

车床主轴、变速箱齿轮见教材P35表1-8

发动机曲轴：曲轴的热处理关键技术是表面强化处理。球墨铸铁曲轴一般均采用正火处理，为表面处理做好组织准备，表面强化处理一般采用感应淬火或氮化工艺+回火。锻钢曲轴则采用轴颈与圆角淬火工艺+回火。

**作业8**

1. **金属液态成形有何最突出的优点？通常有哪些液态成形方法？**

答：金属液态成形具有如下最突出的优点：

　　（1）可制造出内腔、外形很复杂的毛坯。如各种箱体、机床床身、汽缸体、缸盖等。

　　（2）工艺灵活性大，适应性广。液态成型件的大小几乎不限，其重量可由几克到几百吨，其壁厚可由0.5mm到1m左右。工业上凡能溶化成液态的金属材料均可用于液态成型。对于塑性很差的铸铁，液态成型是生产其毛坯或零件的唯一的方法。

（3）液态成型件成本较低。液态成型可直接利用废机件和切屑，设备费用较低。同时，液态成型件加工余量小，节约金属。

通常的液态成形方法：

通常分为两大类：砂型铸造成形工艺和特种铸造成形工艺（如：金属型铸造、熔模铸造、压力铸造、低压铸造、实型铸造、离心铸造等）

1. **金属铸造工艺性能主要以何种物理特性来表征？其影响因素如何？请分别予以分析？**

答：金属铸造工艺性能主要以液态金属的充型能力来表征。

影响液态金属充型能力的因素有：合金的流动性，铸型性质，浇注条件，铸件结构等。

合金的流动性是指金属液的流动能力。流动性越好的金属液，充型能力越强。

铸型性质的影响：

（1）铸型材料 铸型的蓄热系数大，充型能力越差。

（2）铸型温度 铸型温度越高，充型能力越强。

（3）铸型中的气体

浇注条件的影响

（1）浇注温度：一般T浇越高，液态金属的充型能力越强。

（2）充型压力：压力越大，充型能力越强。

（3）浇注系统结构 结构复杂，流动阻力大，充型能力差。

铸件结构的影响：

（1）铸件壁厚 厚度大，热量散失慢，充型能力就好。

（2）铸件复杂程度 结构复杂，流动阻力大，充型困难。

**3、铸造凝固方式，根据合金凝固特性分成哪几类？它们对铸件质量将分别产生什么影响？**

答： 铸造凝固方式，根据合金凝固特性分成逐层凝固、糊状凝固、中间凝固。

合金的结晶温度范围愈小，凝固区域愈窄，愈倾向于逐层凝固；凝固区域愈宽，愈倾向于糊状凝固；对于一定成分的合金，结晶温度范围已定，凝固方式取决于铸件截面的温度梯度，温度梯度越大，对应的凝固区域越窄，越趋向于逐层凝固。

对铸件质量影响较大的主要是液相和固相并存的凝固区域的宽窄，铸件的凝固与铸造缺陷的关系：一般说来，逐层凝固有利于合金的充型及补缩，便于防止缩孔和缩松；糊状凝固时，难以获得组织致密的铸件，如果凝固和收缩得不到合理的控制，铸件内部就会出现缩孔、缩松、铸造应力、变形、裂纹等缺陷。

**4、 金属液态成形中，其收缩过程分为哪几个相互联系的阶段，对铸件质量将产生什么影响？**

答：金属从液态冷却到室温，要经历三个相互联系的收缩阶段：

液态收缩——从浇注温度冷却至凝固开始温度之间的收缩。

凝固收缩——从凝固开始温度冷却到凝固结束温度之间的收缩。

固态收缩——从凝固完毕时的温度冷却到室温之间的收缩。

收缩导致的铸件缺陷：

(1)缩孔和缩松

(2)铸造应力、变形和裂纹

**5、如何防止缩孔和缩松的产生**？

答：（1）缩孔形成机理是：纯金属、共晶成分合金和结晶温度范围窄的合金，在一般铸造条件下按由表及里逐层凝固的方式凝固。由于金属或合金在冷却过程中发生的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩，从而在铸件最后凝固的部位形成尺寸较大的集中缩孔。

（2）缩松的形成机理是：铸件最后凝固的收缩未能得到补足，或者结晶温度范围宽的合金呈糊状凝固，凝固区域较宽，液、固两相共存，树枝晶发达，枝晶骨架将合金液分割开的小液体区难以得到补缩所致。

不同的铸造合金形成缩孔和缩松的倾向不同。逐层凝固合金(纯金属、共晶合金或窄结晶温度范围合金)的缩孔倾向大，缩松倾向小；糊状凝固的合金缩孔倾向虽小，但极易产生缩松。由于采用一些工艺措施可以控制铸件的凝固方式，因此，缩孔和缩松可在一定范围内互相转化。

缩孔和缩松的防止：

防止铸件产生缩孔的途径：采用顺序凝固。

措施：

加冒口：使铸件从远离冒口的部分到冒口之间建立一个递增的温度梯度，凝固从远离冒口的部分开始，逐渐向冒口方向顺序进行，最后是冒口本身凝固。这样就能实现良好的补缩，使缩孔移至冒口，从而获得致密的铸件。

防止铸件产生缩松途径：

（1）选用近共晶成分和结晶范围较窄的合金生产铸件；

（2）提高铸件温度梯度：铸件温度梯度大，则其对应的凝固区窄。

措施：

铸件缩松处设置冒口，安放冷铁或冷铁与冒口联用；

采取细化品粒的措施；

改进铸件在铸型中的位置降低浇注温度和浇注速度

**6、何谓铸件热应力和机械应力？它们对铸件质量将产生什么影响？如何防止铸件变形？**

铸件的固态收缩受到阻碍而引起的应力，称为铸造应力。

热应力：由于铸件各部分冷却速度不同，以致在同一时期内收缩不一致，而且各部分之间 存在约束作用，从而产生的内应力，称为热应力。铸件冷却至室温后，这种热应力依然存在 ，故又称为残余应力。

机械应力：是由于铸件的收缩受到机械阻碍而产生的，是暂时性的，只要机械阻碍一经消除，应力也随之消失。

铸造应力的存在会带来一系列不良影响，诸如使铸件产生变形、裂纹 ，降低承载能力，影响加工精度等。

防止铸件变形的途径

1. 使铸件各部分冷却速度尽量一致：
2. 减少铸件的收缩的机械阻碍；

措施：

（1）采用同时凝固的原则；

（2）工艺方面

提高铸型和型芯的退让性，及早落砂、打箱以消除机械阻碍，将铸件放入保温坑中缓冷，都可减小铸造应力。

（3）结构设计方面

应尽量做到结构简单，壁厚均匀，薄、厚壁之间逐渐过渡，以减小各部分的温差，并使各部分能比较自由地进行收缩。

（4）可用自然时效、人工时效等方法消除。

**作业9**

**1、铸铁石墨化的意义是什么？影响铸铁石墨化的因素有哪些？**

答：意义：石墨化可将高硬度、性脆的白口铸铁转化为具有较高强度及其他性能的灰铸铁、球铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁，拓展了铸铁的使用范围。

影响铸铁石墨化的因素：

（1）化学成分的影响:通常促进铸铁石墨化的元素有硅(Si)、钛(Ti)、镍(Ni)、铜 (Cu)、铝(AD和钴(Co)等。硅是强烈的石墨化元素， 既促进石墨结晶，又促进渗碳体分解。铬(Cr)、锑 (Te)、硫(S)、钒(V)、锰(Mn)、钼(Mo)、磷(P)、 钨(W)、镁(Mg)、硼(B)、氧(O)、氢(H)和氮(N)等 都是阻碍石墨化过程的元素，即促进碳以碳化物形式存 在的元素。

（2）冷却速度的影响: 石墨从固溶体中析出时，冷却速度对其有很大影响。冷却速度大可阻止石墨化的进展过程。

(3)高温下保温时间的影响:可锻铸铁在高温下保温时，石墨晶核在奥氏体/渗碳体界面处形核后依照双重的铁碳状态图，奥氏体中的含碳量在与渗碳体邻近的界面处高于其与石墨邻近的界面处，如此碳原子从浓度高处向浓度低处扩散， 从而破坏了各界面处的平衡，完成石墨化过程。

**2、孕育铸铁将如何生产？孕育铸铁有何组织和性能特点？**

答：孕育铸铁生产：在浇注前向铁液中加入少量孕育剂（如硅铁和硅钙合金），形成大量的、高度弥散的难熔质点，成为石墨的结晶核心，促进石墨的形核，得到细珠光体基体和细小均匀分布的片状石墨。这种方法称为孕育处理，孕育处理后得到的铸铁叫做孕育铸铁。

孕育铸铁组织和性能特点：组织是细珠光体基体和细小均匀分布的片状石墨；性能特点：强度和韧性都优于普通灰铸铁，而且孕育处理使得不同壁厚铸件的组织比较均匀，性能基本一致。故孕育铸铁常用来制造力学性能要求较高而截面尺寸变化较大的大型铸件。

**3、蠕墨铸铁是如何获得的？蠕墨铸铁有何组织和性能特点？说明蠕墨铸铁在汽车制造中的应用。**

答：（1）蠕墨铸铁生产：

目前，国内外都是通过一定形式向一定成分的铁水中加入适量的蠕化剂来获得蠕墨铸铁。蠕化处理方式和球墨铸铁的处理工艺相似，但远比球化处理难以控制。这主要是由于铁水中的蠕化元素残留量范围很窄造成的

（2）蠕墨铸铁组织和性能特点

蠕铁的组织特点：

基体组织：一般蠕墨铸铁基体组织具有强烈形成铁索体的倾向，铸态基体组织以铁素体为主，与珠光体组成的混合基体。

蠕墨铸铁的石墨形态是蠕虫状，它比片状石墨短、粗，对基体的割裂作用比片状小，而且蠕虫状石墨的端部呈圆形，应力集中小。

主要性能：

力学性能：由于蠕虫状石墨形态介于灰铸铁和球墨铸铁的石墨形态使其组织和性能处于球墨铸铁和灰铸铁之间，具有良好的综合性能，即具有较高的强度和塑性、韧性，力学性能明显优于灰铸铁。蠕墨铸铁的蠕化率越高，断面厚度对蠕化率的敏感性越小。蠕墨铸铁抗拉强度随壁厚的增加而呈下降趋势，但下降趋势比较缓慢，即蠕墨铸铁抗拉强度的断面敏感性小于灰铸铁。

铸造性能：流动性：蠕墨铸铁碳当量高，接近共晶成份，又经蠕化剂去硫去氧，因而具有良好的流动性。收缩性：蠕墨铸铁的线收缩率0．9％～1．1％，与灰铸铁的相当。蠕墨铸铁的体收缩率与蠕化率有关，蠕化率高，体收缩小，蠕化率低，体收缩大。蠕墨铸铁体收缩处于灰铸铁与球墨铸铁之间。白口倾向：蠕墨铸铁在薄壁及尖角处的白口倾向比灰铸铁大，比球墨铸铁小。

使用性能：耐磨性：蠕虫状石墨对机体的削弱不像片状石墨那样严重，而吸油、自润滑、储油性能又优于球墨铸铁。一般认为，蠕墨铸铁具有较好的“减磨”、“耐磨”综合性能。减震性：若以灰铸铁1．0，则蠕墨铸铁为0．6，球墨铸铁为O．35。切削性能：蠕墨铸铁的切削性能介于球墨铸铁和灰铁铁之间，耐热疲劳性能：热疲劳失效形式是开裂、龟裂和变形，决定材料耐疲劳性能的主要因素有材料的常温、高温强度与变形抗力以及导热性、组织定性与抗氧化、抗生长性能。蠕墨铸铁的耐变形能力优于铁素体球墨铸铁，耐开裂能力和耐龟裂能力比球墨铸铁差，但优于灰铸铁。综合考虑，在多种情况下，铁素体蠕墨铸铁比球墨铸铁和灰铸铁更适合于制造耐热疲劳的零件。具有综合的耐热疲劳性能是蠕墨铸铁的一大特色。

（3）蠕墨铸铁在汽车制造中的应用

近几年，蠕墨铸铁的应用，特别是在欧洲，得到了长足的进展。这是人们在发现蠕墨铸铁后，国外首次把它作为一种材料在发动机缸体等重要铸件上广泛使用。应用的同时又掀起了相应地进一步深入研究的高潮。美国Ashland公司的M．W．Swartzlander把球铁、等温淬火球铁(ADI)和最近应用的蠕墨铸铁称之为形成了“新的铁时代”。例如宝马汽车公司(BMW)的v8柴油发动机缸体，戴姆勒．克莱斯勒汽车公司的12升排量8缸发动机缸体，达夫公司的12．6升排量、功率为390kW的六缸发动机缸体都用蠕墨铸铁铸造。爱森·布吕公司在充分对比的基础上，已开始在轿车发动机缸体上使用蠕墨铸铁。德国阿乌哥斯特·坎泼公司年生产3万6千吨蠕墨铸铁件，主要供奥迪、奔驰、大众、宝马、司科达等汽车公司的排气管与增压器壳体。美国福特(Ford)公司与辛特(Sinter)合作，在巴西已生产出10万个蠕墨铸铁V6缸体。瑞典达劳斯(Daros)活塞环厂开发了蠕墨铸铁活塞环。福特汽车公司率先在其2．6升的V61ino柴油机上使用由蠕墨铸铁铸造的发动机气缸体，福特汽车公司采用蠕墨铸铁工艺后，在发动机性能、尺寸、重量和成本方面将占有优势。欧宝公司对2升直列4缸气缸体采用原灰铸铁工装生产，并在原灰铸铁生产线上加工，对两种材质的成品气缸体进行噪音和震动性评价，结果表明，采用蠕墨铸铁气缸体装的发动机较灰铸铁气缸体发动机相当大的降低了噪音，而减震性得到了提高。

东风汽车公司对蠕墨铸铁的研究和实践始于1979年。于1984年5月正式在流水线上生产，成为我国第一家大量流水生产蠕墨排气管铸铁件的工厂。据统计，近几年来国内蠕墨铸铁作为铸造合金增长幅度较大，其主要原因是蠕墨铸铁在轿车发动机上的大规模应用。我国山东汶上精良机械有限公司、戚墅堰机车工艺研究所等单位生产的火车用内燃机气缸盖，一汽无锡柴油机厂生产的汽车用内燃机气缸盖已广泛应用蠕墨铸铁。

**4、球墨铸铁是如何获得的？球墨铸铁有何组织和性能特点？说明球墨铸铁在汽车制造中的应用。**

答：（1）球墨铸铁生产：

通过在浇注之前，往铁液中加入少量球化剂（通常为镁、稀土镁合金或含铈的稀土合金）和孕育剂（通常为硅铁），使铁水凝固后形成球状石墨而获得的。

（2）球墨铸铁组织和性能特点

组织：珠光体+球状石墨 性能：强度较高，具有一定疲劳强度和耐磨性能

铁素体+球状石墨 性能：具有一定强度、良好的冲击韧性和塑性

奥氏体-贝氏体+球墨 性能：具有高强度、高韧性

（3）说明球墨铸铁在汽车制造中的应用

球铁应用于汽车中的三个主要地方：(1)动力源一发动机部件；(2)动力传递一一齿轮系、齿轮和轴套；(3)车物悬置、制动器和转向装置。动力源曲轴是承受连续变化的弯曲、扭转和剪切载荷的零件，福特汽车公司的几乎所有曲轴都用这种材料来制造。世界上大多数汽油机汽车都装上球铁曲轴来代替锻钢曲轴，这种应用被认为是价值工程的典型例子。东风汽车公司采用铸态珠光体球铁制造曲轴，东风汽车公司与南京汽车厂分别用铸态铁素体球铁大量制造汽车底盘零件。装有涡轮增压器的排气管的温度提高到500一700℃，在这种条件下，氧化和蠕变强度变得重要了。具有优良性能的球铁正在取代灰铸铁应用于排气管，随着温度的提高，将更进一步使用硅铝合金球铁。

汽车动力传递方面，有将球铁应用于圆片离合器、分速器箱、后轴和轮壳等的强烈的趋势。瑞士Sehaffhausen的G.Fiseher铸造厂在这方面有许多应用，他们把铸钢件、锻钢件以及可锻铸铁件转变为球墨铸铁件。球铁经常用作悬置部件如弹簧挂钩以及制动系统主要安全部件(制动卡钳)和转向关节。

**5、目前常用的液态成形工艺方法有哪些？各适用什么合金？并举出各自在汽车零件生产上的应用实例。**

答：（1）砂型铸造

钢、铁和大多数有色合金铸件都可用砂型铸造方法获得。在汽车零件方面主要用于生产汽缸壳体、汽缸盖、变速箱壳体、曲轴等毛坯生产。

（2）压力铸造

压铸合金主要适合有色金属的锌、铝、镁和铜。在汽车零件方面主要用于生产铝合金汽车发动机缸体、缸盖，变速箱壳体；镁合金汽车零件，如仪表盘,坐椅框架、变速箱壳、舵杆件、气缸盖、吸入分支管、门框、大的车体外部件、发动机箱体、支撑柱等。

（3）金属型铸造

金属型合金主要适合于铜、铝、镁等有色合金铸件。在汽车零件方面主要用于生产铝合金活塞、铝合金车轮、铝合金汽车缸盖等

（4）熔模铸造

可用熔模铸造法生产的合金种类有碳素钢、合金钢、耐热合金、不锈钢、精密合金、永磁合金、轴承合金、铜合金、铝合金、钛合金和球墨铸铁等。在汽车零件方面主要用于生产汽车保安件、汽车工字前轴等

（5）消失模铸造

消失模铸造法生产的合金种类有铸钢、铸铁、铝合金、铜合金等。意大利菲亚特公司在都灵建成欧洲最大规模的消失模生产车间，年产量1.5万吨。德国宝马公司建成年产20万只各种规格铝合金气缸盖的消失模生产线。美国通用的SMCO建成目前世界上最先进、规模最大的消失模铸造厂。国内生产有汽车球铁轮毂铸件、汽车发动机缸体、铝合金进气管等。

**作业10**

**1、何谓塑性变形？金属塑性变形的实质是什么**？

答：材料在外力作用下产生形变而在外力去除后不能恢复的那部分变形，称为塑性变形。

或当应力超过材料的弹性极限，则产生的变形在外力去除后不能全部恢复，而残留一部分变形，材料不能恢复到原来的形状，这种残留的变形是不可逆的塑性变形。

金属塑性变形的实质是是晶体内部产生了滑移。金属变形时，晶内各部分在切应力作用下，沿原子排列最密的晶面（滑移面）和原子排列最密的晶向（滑移方向）发生相对滑移，晶体中大量滑移线的滑移量就构成了宏观塑性变形。实际生产中是位错运动引起滑移。

**2、铅在20℃、钨在1000℃时变形属于何种变形？为什么？（铅的熔点是327℃，钨的熔点,3380℃** ）

答：金属变形温度在再结晶温度以上称为热变形，以下称为冷变形。

铅的熔点327°C,铅的再结晶温度=(327+273)×0.4=258K = -33°C。

钨的熔点3380°C,钨的再结晶温度=(3380+273)×0.4=1461K = 1188°C。

所以，铅在20℃时变形，因其变形温度在再结晶温度以上属于热变形；

钨在1000℃时变形，因其变形温度在再结晶温度以下属于冷变形。

**3、产生加工硬化的原因是什么？加工硬化在金属加工中有什么利弊？**

答：原因：随着变形的增加，晶粒逐渐被拉长，直至破碎，这样使各晶粒都破碎成细碎的亚晶粒，变形愈大，晶粒破碎的程度愈大，这样使位错密度显著增加；同时细碎的亚晶粒也随着晶粒的拉长而被拉长。因此，随着变形量的增加，由于晶粒破碎和位错密度的增加，金属的塑性变形抗力将迅速增大，即强度和硬度显著提高，而塑性和韧性下降产生所谓“加工硬化”现象。

利弊：金属的加工硬化现象会给金属的进一步加工带来困难，如钢板在冷轧过程中会越轧越硬，以致最后轧不动。另一方面人们可以利用加工硬化现象，来提高金属强度和硬度，如冷拔高强度钢丝就是利用冷加工变形产生的加工硬化来提高钢丝的强度的。加工硬化也是某些压力加工工艺能够实现的重要因素。如冷拉钢丝拉过模孔的部分，由于发生了加工硬化，不再继续变形而使变形转移到尚未拉过模孔的部分，这样钢丝才可以继续通过模孔而成形。

**4、同种金属材料分别经过冷、热变形，其组织和性能有何差异？何谓金属再结晶？**

答：（1）冷变形：

1）组织变化的特征：①晶粒沿变形最大方向伸长；②晶粒扭曲，产生内应力，变形织构；③晶粒间产生碎晶。

2）性能变化的特征：随着变形程度的增加，会其强度和硬度不断提高，塑性和韧性不断下降的现象（加工硬化）。

（2）热变形：

1）组织变化的特征：① 细化晶粒； ② 压合了铸造缺陷； ③ 组织致密。

2）性能变化的特征：无加工硬化现象；出现锻造流线，金属性能各向异性。

金属再结晶：当温度升高到该金属熔点温度的0.4倍时，金属原子获得更多的热能，则开始以某些碎晶或杂质为核心结晶成新的晶粒，从而消除了全部加工硬化现象。这个过程称为再结晶。

**5、纤维组织是怎么形成的？它有什么性能特点？在设计和制造零件时应如何分布锻造流线？**

答：通过热变形时材料内部的夹杂物及其他非基体物质，沿塑性变形方向形成纤维组织。它使材料顺纤维方向的强度、塑性和韧性增加，垂直纤维方向的同类性能下降，力学性能出现各向异性。设计零件时应使纤维组织沿拉最大正应力方向，而最大剪应力垂直于纤维方向，并尽可能使纤维方向沿零件的轮廓分布而不被切断。

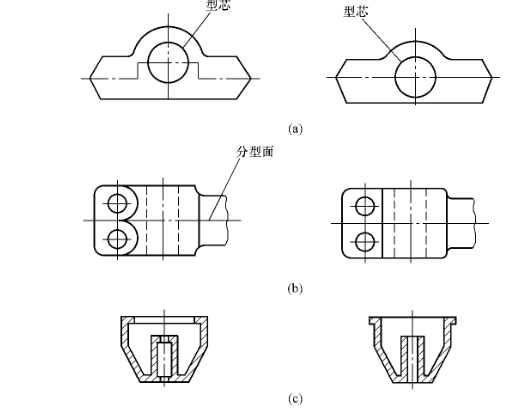
**6、用φ250×1.5板料能否一次拉深直径为φ50的拉深件（为什么）？应采取哪些措施才能保证正常生产？**

答：因为：m=d/D=50/250=0.2<0.5（m为拉深系数）

所以此件不能一次拉深成形。

应采取的措施是：①多次拉深（可安排4～5次）；②多次拉深后，对工件进行退火处理，保证足够的塑性；③加润滑剂，来减少摩擦阻力。

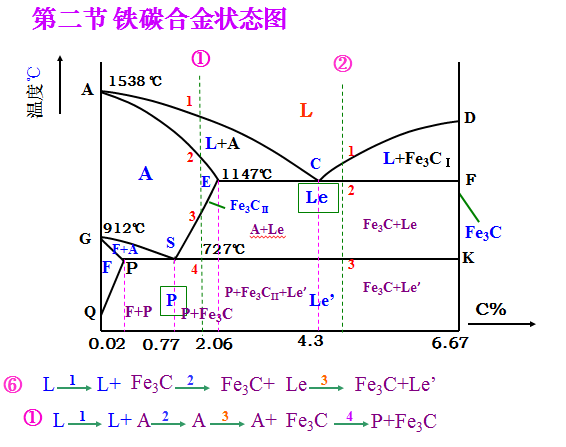
**7、下图所示铸件的结构应选哪—种? 为什么?**

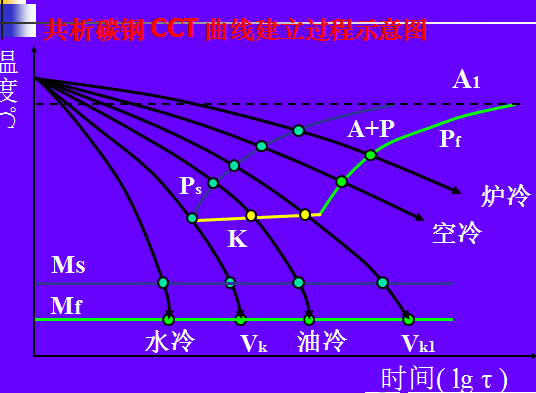


选右图，分型面应尽量为平直面

选右图，对凸台、设计时，应便于起模，避免不必要的型芯和尽量少用活块

选右图，尽量使铸件有最少的分型面，砂芯简单



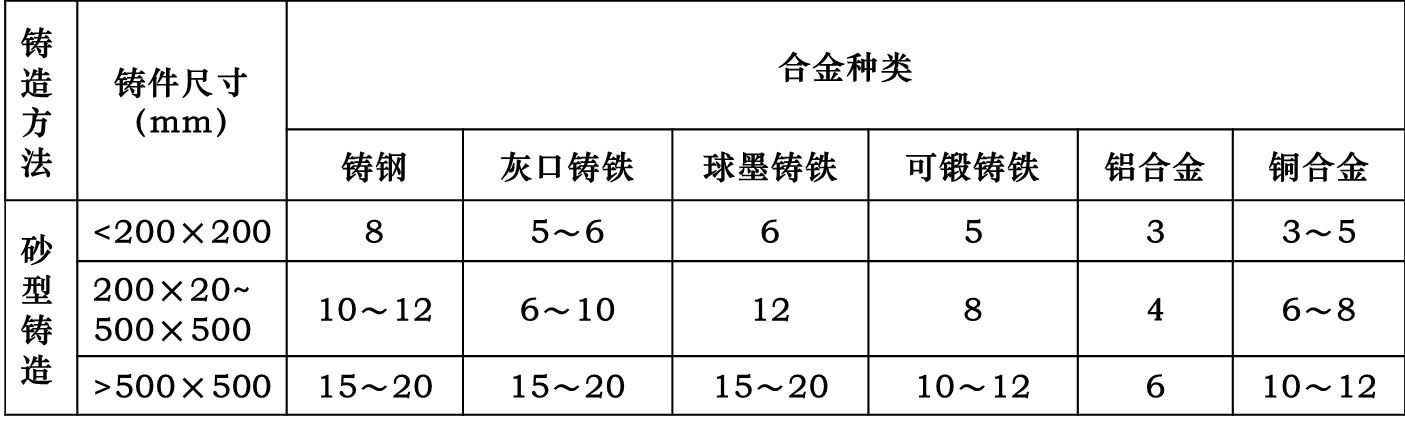




**铸件结构设计 满足铸造性能和铸造工艺对铸件结构的要求**

**1铸件结构设计** **合理设计铸件壁厚**

铸件的最小壁厚



铸件壁厚应均匀、避免厚大截面

**2*铸件壁的连接设***

铸件的结构圆角

避免锐角连接

厚壁与薄壁间的联接要逐步过渡

减缓筋、辐收缩的阻碍

***3铸件外形的设计***

避免外部侧凹、凸起

分型面应尽量为平直面

起凸台、筋条的设计应便于模。

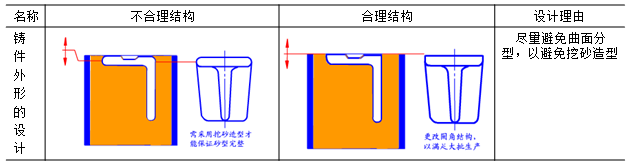
***4、铸件内腔的设计***

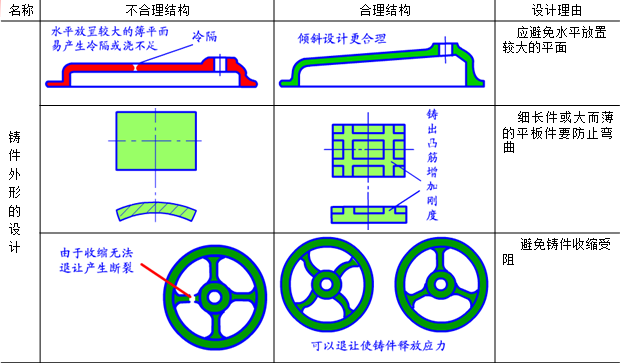
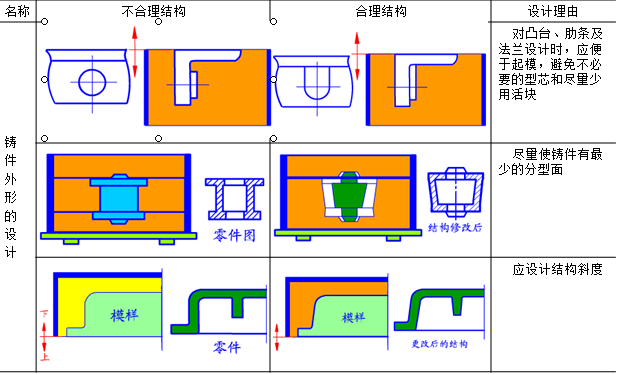
应尽量减少型芯的数量，避免不必要的型芯

便于型芯的固定、排气和清理。

**大铸件或形状复杂的铸件用连接方式将其组合成整体。**

**塑性变形的主要方式——滑移**

 **冷变形及影响**金属在冷变形后晶粒被拉长或压扁，晶粒破碎，晶格扭曲、晶体缺陷增多，内应力升高，因而其内部能量较冷变形前高，处于不稳定状态，有自发恢复到变形组织前的稳定组织状态的倾向。但在低温或室温时，由于原子活动能力弱，此过程不易进行。



**影响锻造性的因素**

**1/金属的本质**

* 1. 化学成分：碳含量越低，材料的锻造性越好**。**
  2. 组织状态：纯金属和固溶体具有良好的锻造性

**2变形条件 （1）** 变形温度的影响 **T温越高，材料的锻造性越好**

（2）变形速度的影响 一方面由于变形速度的增大，回复和再结晶不能及时克服加工硬化现象，金属则表现出塑性下降、变形抗力增大，可锻性变坏。另一方面，金属在变形过程中，消耗于塑性变形的能量有一部分转化为热能，使金属温度升高(称为热效应现象)。变形速度越大，热效应现象越明显，使金属的塑性提高、变形抗力下降(图中*a*点以后)，可锻性变好**。**

（3）应力状态的影响 挤压时为三向受压状态。拉拔时为两向受压一向受**拉**的状态。压应力的数量愈多，则其塑性愈好；拉应力的数量愈多，则其塑性愈差。

***自由锻件结构工艺性***

1. 避免斜面和锥度

2. 避免曲面相交

3. 避免加强筋和凸台

4. 采用组合工艺

**分模面的选择**

* 1. 分模面应选在锻件的最大截面处；
  2. 分模面的选择应使模膛浅而对称
  3. 分模面的选择应使锻件上所加敷料最少
  4. 分模面应最好是平直面

**模锻件结构工艺性**

易于从锻模中取出锻件；

零件的外形应力求简单、对称、平直；

避免薄壁、高筋、凸起等结构；

避免设计深孔、多孔结构；

采用锻焊组合工艺

**拉裂与起皱**

拉裂与起皱是指冲压时模具设计过深，拉深系数选得太小，拉深变形程度太大；应采用多次拉深的办法，并用热处理进行消除每级冲压造成的拉伸应力，方可避免拉裂与起皱，起皱也可选用压力圈。

