

## 7. 金属塑性变形的物理本质

1. 塑性变形包括晶内变形和晶间变形。通过各种位错运动而实现的晶内一部分相对于另一部分的剪切运动就是晶内变形，常温下有滑移和孪生，当  $T > 0.5T_R$  时，可能出现晶间变形，高温时扩散机理起重要作用。
2. 派-纳模型。假设：经典的弹性介质假设和滑移面上原子的相互作用为原子相对位移的正弦函数假设。意义：
  - i 位错运动所需派-纳力比晶体产生整体、刚性滑移所需要的理论切屈服应力  $T_0 = G/2\pi$  小许多倍。
  - ii  $b$  越小， $a$  越大，则临界切应力越小
  - iii 其他条件相同时，刃位错的活动性比螺位错的活动性大。

公式：

3. 滑移系统。
4. 孪生。孪生后结构没有变化，取向发生了变化，滑移取向不变，一般孪生比滑移困难，所以形变时首先发生滑移，当切变应力升高到一定数值时才发生孪生，密排六方金属由于滑移系统少，可能开始就形成孪晶。
5. 扩散对变形的作用：一方面它对剪切塑性变形机理可以有很大影响，另一方面扩散可以独立产生塑性流动。
6. 扩散变形机理包括：扩散-位错机理；溶质原子定向溶解机理；定向空位流机理。
7. 扩散-位错机理：扩散对刃位错的攀移和螺位错的割阶运动产生影响；扩散对溶质气团对位错运动的限制作用随温度的变化而不同。
8. 溶质原子定向溶解机理：晶体没有受力作用时，溶质原子在晶体中的分布是随机的，无序的，如碳原子在  $\alpha\text{-Fe}$ ，加上弹性应力  $\sigma$ （低于屈服应力的载荷）时，碳原子通过扩散优先聚集在受拉棱边，在晶体点阵的不同方向上产生了溶解碳原子能力的差别，称之为定向溶解，是可逆过程。定向空位机理则是由扩散引起的不可逆的塑性流动机理。

9. 金属的屈服强度是指金属抵抗塑性变形的抗力，定量来说是指金属发生塑性变形时的临界应力。

10. 理论屈服强度的估计。

11. 金属的实际屈服强度由开动位错源所需的应力和位错在运动过程中遇到的各种阻力。实际晶体的屈服强度=开动位错源所必须克服的阻力+点阵阻力+位错应力场对运动位错的阻力+位错切割穿过其滑移面的位错林所引起的阻力+割阶运动所引起的阻力。

### 8. 金属的塑性变形和加工硬化

1. 加工硬化：金属在冷塑性变形过程中，随着变形程度增加，其强度和硬度提高而塑性（延伸率、面缩率）则降低，这种现象称为加工硬化。

2. 面心立方金属单晶体的应力-应变曲线。i 硬化系数  $\theta$  较小，一般认为在此阶段只有一个滑移系统起作用，强化作用不大，称位易滑移阶段。ii 硬化系数  $\theta$  最大且大体上是常数，对于各种面心立方金属具有相同的数量级，故称为线性硬化阶段。iii 硬化系数  $\theta$  随变形量的增加而逐渐减小，故称为抛物线强化阶段。

3. 对应力-应变曲线影响的主要因素。

4. 面心立方金属形变单晶体的表面现象。i 除了照明特别好（暗场），用光学显微镜一般看不到滑移线。ii 光学显微镜在暗场下可以看到滑移线，线长随应变的增加而递减，电镜观察到的单个滑移线比第一阶段粗而短。iii 出现滑移带，带中包括许多靠的很近的滑移线，应变增加，带间不在增加新的线，形变集中在原来的带中，滑移带端出现了碎化现象。

5. 面心立方金属单晶体的加工硬化理论。

6. 多晶体是通过晶界把取向不同，形状大小不同，成分结构不同的晶粒结合在一起的集合体。晶界对塑性变形过程的影响，主要是在温度较低时晶界阻

碍滑移进行引起的障碍强化作用和变形连续性要求晶界附近多系滑移引起的强化作用。

i 障碍强化作用

ii 多系滑强化作用

iii 多晶体变形的不均匀性

## 7. 金属多晶体应力-应变曲线

i 点阵类型和金属种类的影响

ii 变形温度于应变速率的影响

a. 随温度升高可能开动新的滑移系统。

b. 随温度升高可在变形过程中出现回复和再结晶现象，引起金属软化，减弱加工硬化。

c. 随温度升高可能出现新的塑性变形机理，使加工硬化减弱。

## 8. 细化晶粒对金属材料的力学性能有何影响？有哪些途径可以细化晶粒？

细化晶粒可以提高韧性，有助于防止脆性断裂发生，可以降低脆性转化温度，提高材料使用范围，在低强度钢中，利用细化晶粒来提高屈服强度有明显效果。

细化途径：（1）改变结晶过程中的凝固条件，尽量增加冷却速度，另一方面调节合金成分以提高液体金属过冷能力，使形核率增加，进而获得细化的初生晶粒。（2）进行塑性变形时严格控制随后的回复和再结晶过程以获得细小的晶粒组织。（3）利用固溶体的过饱和分解或粉末烧结等方法，在合金中产生弥散分布的第二相以控制基体组织的晶粒长大。（4）通过同素异形转变的多次反复快速加热冷却的热循环处理来细化晶粒。

## 9. 固溶强化机理：固溶强化机理即溶质原子与位错的相互作用，有四种主要

类型。（1）溶质原子与位错的弹性相互作用：溶质原子对位错的钉扎形成气团；由于溶质原子的溶入而导致合金弹性模量的变化；因为溶质原子与溶

剂原子尺寸差异而引起的弹性应力场阻碍了位错运动。（2）溶质原子与位错的化学相互作用：铃木钉扎。（3）溶质原子与位错的电学相互作用（4）几何相互作用。

10. 由于溶质原子对位错的钉扎，对于处在低温变形或较高温度变形后的体心立方金属的应力—应变曲线，变形材料的外观、性能将产生什么样的影响？为什么？

应力—应变曲线上出现上、下屈服点和屈服延伸区，出现屈服效应现象，当温度从室温上升时，出现动态应变时效，上下屈服点反复出现，变形材料的外观出现吕德斯带缺陷，变形材料引起金属软化，使加工硬化减弱

11. 解释什么是屈服效应现象？这种效应在变形金属表层上会产生什么缺陷？原因是什么？如何消除？

在拉伸曲线上出现上屈服点、下屈服点和屈服延伸区的现象称为屈服效应。这种效应在变形金属表面上会产生吕德斯带缺陷，因为在外应力作用下，某些地方位错钉扎不牢，它们首先摆脱溶质原子的气团开始运动位错源开动。位错向前运动时，在晶界前受阻堆积，产生很大的应力集中，再迭加上外应力就会使相邻的晶粒内的位错源开动，位错得以继续传播下去，这一过程进行的很快，所以就形成了不均匀的变形区，在金属外观上反映是一种带状的表面粗糙的缺陷。在钢中加入少量的 Al, Ti 等强氮、碳化物形成元素，它们同 C、N 结合称化合物把 C、N 固定住了，使之不能有效的钉扎住位错，因而消除屈服效应现象；或在钢板冲压前进行小量的预变形，使被溶质原子钉扎的位错大部分基本摆脱气团包围，然后加工则不会出现吕德斯带了。

12. 形变时效：把屈服效应显著金属材料拉伸到超过屈服延伸区变形程度后，去掉载荷，又立即重新加载时，刚开始塑性变形的应力仍等于卸载前的应力，若卸载后经过长时间的停留再重新加载时，则开始塑

性变形时的应力要高于卸载时的应力，并且重新出现了屈服效应现象。这即是形变时效现象。

13. 形变时效现象的原因：预先加载时产生塑性变形使位错摆脱溶质原子气团的钉扎，如果卸载时间过长，溶质原子有时间通过扩散重新包围位错形成新的气团，钉扎住位错，所以再重新加载时又会出现屈服效应。温度足够高时，在变形过程中就可能产生时效称动态形变时效。

14. 聚合型两相合金中有一相为硬脆相时，请分析硬脆相的存在及其形状对合金的力学性能有哪些影响？

(1) 渗碳体以片层状分布于塑性较好的铁素体中，铁素体变形受阻，位错运动被限制在碳化物片层之间的很短距离内，使连续变形甚为困难，碳钢的强度随渗碳体片层距离的减小而增高，片层间距越小，其强度越高，塑性不降低 (2) 球状珠光体中，渗碳体呈球状，对铁素体变形的阻碍作用降低，故强度降低，塑性显著提高，片状渗碳体比球状渗碳体强度高，塑性低。(3) 如硬而脆的第二次渗碳体呈网状碳化物分布在晶界上，影响晶粒间的结合，并使晶粒内部的变形受阻导致应力集中，造成过早的断裂，反而强度下降，塑性也会明显下降 (4) 渗碳体成细小弥散微粒分布在铁素体中，流变应力大大增加。

15. 过饱和固溶体的沉淀过程。

16. 弥散分布型两相合金中对于沉淀强化合金系其实现沉淀强化所具备的基本条件是什么？沉淀强化的机理是什么？

沉淀强化合金系的基本要求使固溶度随温度的降低而减少。

沉淀强化机理：(1) 切过第二相的强化机理：当第二相质点细小的情况下，位错直接切与基体仍然存在着共格关系的第二相质点 (2) 绕过第二相的强化机理：当第二相质点长大到位错难以借助切过的方式通过的时候，位错只能用绕过的方式前进，位错借助于绕过的方式通过第二相。

16. 为什么在沉淀强化合金中，强化相质点存在着对应于最佳强化效果的最佳第二相粒子尺寸间距？

下图表示了沉淀强化合金的强化效果与质点尺寸关系，如果位错以切过的方式通过第二相质点时，位错运动的阻力将随质点尺寸加大而增加，如曲线 B 所示，如果位错以绕过的方式通过第二相的质点时位错阻力将随质点尺寸减小而增加，如曲线 A 所示，因为在体积分数一定时，粒子越小，数量必然就越多，间距就越小，但位错总是选择需要克服阻力最小的方式、最容易通过的方式来通过第二相质点。质点较小时，容易切过，按曲线 B 决定强度，质点较大时，容易绕过，按曲线 A 决定强度，当质点相当于两曲线交点 P 所对应的尺寸大小时，位错运动遇到了最大的阻力，得到最佳强化效果，对应的尺寸就是最佳的尺寸。

17. 弥散强化机理

用粉末冶金方法，将细小高熔点的金属氧化物、氮化物、碳化物等强化相质点加入合金中来进行强化的方法称为弥散强化。弥散强化合金的特点是：（1）强化相质点和基体金属都被研制成微细的粉末，然后通过机械混合，压制烧结而成，没有沉淀析出过程，因此也没有各阶段的区别；（2）第二相在基体中一般溶解度很低，热稳定性好。（3）第二相与基体无共格关系。（4）没有向沉淀强化合金那样要求随温度降低固溶体溶解度要降低的限制，理论上可以设计大量的弥散合金系列。

18. 金属塑性变形时常用塑性指标有哪些？改善金属材料的工艺塑性有哪些可用的措施？

塑性指标有：延伸率、断面收缩率，相对压缩率，扭转数，冲击韧性

金属自然性质（组织结构及化学成分），变形温度，应变速率，应力状态，不均匀变形其它因素（变形状态、尺寸、周围介质等）等都对塑性有影响。

19. 钢在塑性变形时变形温度的变化对其塑性和力学性能有什么影响？

如图所示，碳钢的塑性随温度的变化可能有四个脆性区，三个塑性较好的区域。在区域Ⅰ中，一般塑性极低，到-200度时几乎完全丧失掉塑性。区域Ⅱ位于200~400动态形变时效产生的蓝脆区。区域Ⅲ位于800~950范围内，这是红脆区（热脆区），区域Ⅳ，在这个温度区加热，金属可能过热或过烧，削弱了晶界的强度。

20. 超塑性简介。

### 9. 金属在塑性变形中的组织结构与性能变化

1. 冷变形使金属材料的组织结构和力学性能发生什么变化？在实际生产中采用冷变形有何意义？物理化学性能有何变化

金属材料冷变形后，组织结构上的变化：晶粒被拉长，形成了纤维组织，夹杂和第二相质点成带状或点链状分布，也可能产生形变织构，产生各种裂纹，位错密度增加，产生胞状结构，点缺陷层错等晶体缺陷增多，自由能增大。力学性能的变化体现在：冷加工后，金属材料的强度指标（比例极限，弹性极限，屈服极限，强度极限，硬度）增加，塑性指标（断面收缩率，延伸率等）降低，韧性也降低了，还可能随着变形程度的增加而产生力学性能的方向性。生产上经常利用冷加工能提高材料的强度，通过加工硬化来强化金属材料。物理、化学性能也发生明显变化：密度降低，导热、导电导磁性能降低，化学稳定性、耐腐蚀性降低，溶解性增加。

2. 回复处理使冷变形后金属材料的组织结构和力学性能发生哪些变化？这种变化有何实际意义？

回复过程中，金属会释放出冷塑性变形过程中所贮能量的一部分，残余内应力会降低或消除，电阻率、硬度、强度会降低，密度、塑性、韧性等会提高，能够保持良好的形变强化的效果。回复温度较低时，由于塑性变形所产生的过量空位会消失，机械性能变化不大，电阻率有较大程度降低。回复温度稍高一些时同一个滑移面上的异号位错汇聚而合并消失，降低位错密度，回复温度较高时，不但同一个滑移面上的异号位错可以汇聚抵消，而且不

同滑移面上的位错也易于攀移和交滑移从而互相抵消或重新排列成一种能量较低的结构，随着温度越高，形成多边形化组织或亚晶。回复退火在生产中的实际意义主要是用于去内应力退火，使冷加工的金属件在基本保持加工硬化的条件下降低其内应力，避免变形和开裂，改善耐蚀性。

### 3. 结晶和晶粒长大的组织性能变化和意义。

再结晶从形成无畸变的晶核开始，逐渐长大成位错密度很低的等轴晶粒，当变形基体全部消耗完即进入晶粒长大阶段。再结晶是消除加工硬化的重要软化手段，再结晶还是控制晶粒大小、形态、均匀程度获得或避免晶粒择优取向的重要手段。

4. 影响再结晶的主要因素：温度、变形程度、微量溶质原子、弥散相颗粒

5. 影响再结晶后晶粒大小的主要因素：变形量、退火温度。

6. 热变形的优缺点。

优点：（1）变形抗力低，能耗少；（2）热加工时在加工硬化的同时也存在回复和再结晶的软化过程，使塑性变形容易进行；（3）不易产生织构；（4）不需要中间退火，简化生产工序，降低成本；（5）通过控制热加工过程，改变金属材料的组织结构以满足性能需要。

不足：（1）对过薄或过细的工件由于散热快，保持热加工温度困难；（2）热加工后工件表面不如冷加工生产的光洁，尺寸也不如冷加工的精确；（3）热加工后产品组织、性能不如冷加工的均匀；（4）热加工金属材料的强度比冷加工低；（5）某些金属材料不适合热加工。

7. 请分析高碳钢在热变形时，网状碳化物形成的原因，网状组织对材料性能有什么影响？如何控制其形成？

高碳钢轧前加热温度一般都高于 ACM 线，加热时碳化物几乎全部溶解到奥氏体区内，在轧后奥氏体状态下的冷却过程中，二次渗碳体析出并在奥氏体晶界形成网状碳化物，对材料的使用寿命影响很大，严重的降低其强度很韧性，



在轧制生产中，采用降低终轧温度，在 850 度左右终轧，通过形变破碎碳化物，随后快速冷却到 700 度以下，就可以消除或减少网状碳化物。

#### 8. 加工变形后的组织结构特点。

(1) 改造铸态组织 (2) 细化晶粒和破碎夹杂物 (3) 热变形中形成纤维组织 (4) 形成带状组织 (5) 形成网状组织

#### 9. 金属在热变形过程中的特点。

热变形最大的特点是加工硬化与软化同时进行，热加工过程中的回复和再结晶一般可分五种形态：动态回复、动态再结晶、静态回复、静态再结晶及亚动态再结晶。

- (1) 奥氏体热加工过程中的组织结构变化
- (2) 奥氏体在热加工间隔时间内及热加工后发生的变化
- (3) 回复与再结晶的速率及再结晶后的晶粒大小

#### 10. 请分析静态再结晶、亚动态再结晶和动态再结晶所发生的条件，形成的晶粒结构及对消除变形金属的加工硬化各有什么特点。

静态再结晶：只有当变形量 大于静态再结晶临界变形量，小于动态再结晶的临界变形量 时，在热加工后的间隙时间内才可能发生静态再结晶，形成新的低位错密度的再结晶晶粒，热加工产生的加工硬化可全部消除。

亚动态再结晶：发生在热加工后的间隙时间内， 大于 ，利用奥氏体已经形成的动态再结晶核心，但还没有进行动态再结晶的核心作为自己的核心，可以全部消除加工硬化。

动态再结晶：当变形量大于 时才能发生，富集了新的位错，仍有较高的位错密度或亚晶，

仍然存在着一一定的加工硬化，不能消除全部的加工硬化。

#### 10. 材料的各向异性

1. 织构：塑性变形后晶面及晶向优先平行于某个方向或某个平面的现象称为择优取向，具有择优取向的金属多晶体组织就叫织构。
2. 织构度：某种织构组分的晶粒数与总晶粒数的百分比，或某种织构组分的晶体体积与总晶体体积的百分比，大者为强织构或主织构，小者为次织构或弱织构。
3. 形变织构。拉拔织构、压缩织构、轧制织构、形变织构的形成。
4. 再结晶织构。
5. 织构的应用。

### 11. 固态塑性成形时的应力分析与应变分析

1. 研究金属塑性成形力学的假设和近似：材料是各向同性的均匀连续体；体积力位零；变形体在外力作用下处于平衡状态；初始应力为零；体积不变假设。
2. 应力是指由外力引起的物体内部单位截面面积上的内力；点的应力状态是指受力物体内部某一点各个截面上所作用应力的变化情况。一般说过一点任意截面上都作用由正应力和切应力，如果在某一截面上，切应力为零，则该截面称为主平面，主平面上的正应力称为主应力，主平面的法线方向称为主方向。
3. 应力状态的特征方程。
4. 应力简图是采用主坐标系定性描述一点应力状态的一种简化几何图形。按主应力的存在情况和方向，可能的应力简图共有 9 种，其中单向应力状态两种，两向应力状态三种三向应力状态四种。
5. 主应力简图有几种形式？如何应用？

主应力简图有九种形式，其中单向应力状态两种，两向应力状态三种，三向应力状态四种。根据主应力简图，可以定性的比较某一种材料在采用不同的塑性成形方法进行加工时该种材料塑性和变形抗力的差异。

6. 应力偏张量和应力球张量。

7. 为什么说应力张量与坐标的选择无关？应力张量不变量在应用上有何意义？

虽然在不同的坐标系下，表示该点应力状态的九个应力分量也是不同的，即各个应力分量是随坐标的变化而改变，但过一点相互垂直的三个坐标面上的九个应力分量作为一个整体用来表示一点的应力状态的这个物理量与坐标选择无关，这个物理量通常称为应力张量。对于一个确定的应力状态，只能有一组主应力的数值，当坐标的方向改变时，应力张量的分量将发生改变，但主应力的数值并未发生变化，因此，特征方程式

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2\sigma - I_3 = 0$$

的系数

应该是单值的，是不随坐标而变化的。

8. 等效应力：在塑性理论中，为了使不同应力状态的强度效应能进行对比，引入了等效应力的概念，也称应力强度或广义应力，用  $\sigma_e$  表示，

9. 等效应力有什么特点？如何应用？

等效应力具有如下特点，（1）等效应力是一个不变量（2）等效应力在数值上等于单向均匀拉伸（或压缩）时的拉伸（或压缩）方向上的应力，即

（3）等效应力不是作用在某一个特定平面上的应力，因此，不能在某一个平面上表示出来（4）等效应力可以理解为一点应力状态中应力偏张量的综合作用。

为了使不同应力状态的强度效应能进行对比引入了等效应力的概念。

10. 应力莫尔圆。应力莫尔圆使一点应力状态的几何表示方法，由应力莫尔圆可以确定点在各个不同平面上的应力值，并且能直观有效的说明某些事实和方程式。

11. 工程应变和对数应变。

12. 试论述真应变与工程应变的特点。

(1)工程应变不能反映变形的实际情况 (2)真应变具有可加性，而工程应变不具有可加性 (3)真应变为可比应变，工程应变为不可比应变 (4)工程应变计算简单。

13. 变增量与应变速率

14. 应变的连续方程与体积不变条件。

## 12. 固态塑性成形时的屈服准则与应力应变关系

1. 屈服准则：描述不同应力状态下变形体内某点由弹性状态进入并使塑性变形状态继续进行所必须遵守的条件，又称塑性条件或屈服条件。

2. 简单拉伸实验

3.  $\pi$  平面

4. 屈雷斯加屈服准则。

5. 米塞斯屈服准则。

6. 两个屈服准则的比较。

7. 塑性应力应变关系。

8. 增量理论

9. 全量理论

10. 等效应力-等效应变曲线

11. 塑性变形时的应力-应变关系有何特点？

在塑性变形范围内，应力与应变的关系是非线性的，应变不能由应力唯一确定，而是与变形历史有关，这使由于随着变形的发生与发展，材料原有的组织和性能也随之发生变化，而且塑性变形是永久变形，每一微小阶段的塑性变形所导致的组织和性能变化都要保留下来，并影响下一阶段的变形过程，因此，各个微小变形阶段的应力应变关系都是不同的。

12. 常用的两个屈服准则有何区别？

(1) 在两个屈服准则中，拉伸屈服应力与剪切屈服应力具有固定的关系，即屈雷斯加屈服准则和米塞斯屈服准则 (2) 屈雷斯加屈服准则中的最大切应力是用最大和最小主应力来表示的，而主应力是与坐标的选择无关的，米塞斯屈服准则则是用应力偏张量的第二不变量来表示的，因此，两种屈服准则均与坐标的选择无关 (3) 在屈雷斯加屈服准则中，只考虑了最大和最小主应力对屈服有影响，没有考虑中间主应力对屈服的影响，而米塞斯屈服准则由于考虑了中间主应力对屈服的影响，因此与实验结果的吻合程度比屈雷斯加屈服准则的好；(4) 在主应力空间中，屈雷斯加屈服准则为一与三个坐标轴等倾斜的六棱柱面，在  $\pi$  平面上为一正六边形，称为屈雷斯加六边形，米塞斯屈服准则在主应力空间为一与三个坐标轴等倾斜的圆柱面，在  $\pi$  平面上为一个圆，称为米塞斯圆 (5) 在主应力顺序已知时，屈雷斯加屈服准则为主应力分量的线性函数，使用起来非常方便，在工程设计中常被采用，而米塞斯屈服准则显得复杂，但是，当不知道主应力顺序时，屈雷斯加屈服准则为六次方程，显然比米塞斯屈服准则复杂的多。

13. 常用的屈服准则有哪两种？在什么状态下两个屈服准则相同？在什么状态下差别较大？

常用的屈服准则有屈雷斯加和米塞斯屈服准则，两个准则在单向应力状态下相同，在纯剪切应力状态下差别最大

14. 比较增量理论与全量理论的特点。

增量理论中应用最广泛的有列维—米塞斯理论和普朗特—劳斯理论。

(1) 列维—米塞斯理论建立在以下四个假设条件基础之上的

i 假设材料为刚塑性材料，即弹性应变增量为零，塑性应变增量就是总的应变增量

ii 材料符合米塞斯屈服准则，即

iii 在每一加载瞬时，应力主轴与应变增量主轴重合。

iv 材料在塑性变形过程中满足体积不变条件，即应变增量张量就是应变增量偏张量。

全量理论，在塑性变形时，只有满足简单加载条件时，才可以建立全量应变与应力之间的关系。所谓简单加载，是指加载过程中，所有的外力从一开始就按同一比例增加，为了建立全量理论，需提出以下几点假设，即 i 应力主方向与应变主方向是重合的，应力莫尔圆与应变莫尔圆相似；ii 塑性变形时体积保持不变 iii 应力偏量分量与应变偏量分量成比例 iv 等效应力是等效应变的函数，而这个函数对于每个具体材料都应通过实验来确定，即

15. 等效应力—等效应变单一曲线假设在应用上有什么意义？举例说明。

等效应力—等效应变单一曲线假设可以采用最简单的实验方法来确定材料的等效应力与等效应变曲线，利用单向拉伸或压缩实验所得到的应力应变曲线就是等效应力—等效应变曲线。

### 13. 固态塑性成形解析方法

1. 何谓平面应变问题？写出其应力平衡微分方程式及屈服准则。

当变形体内各点的位移分量与某一坐标轴无关，并且沿该坐标轴方向上的位移分量为零时，则将这一变形过程称为平面应变问题。

平面应变状态下的应力平衡微分方程为：

附：其它的一些考题

2. 何谓凝固时间？简述一种计算凝固时间的方法？

铸件的凝固时间是指从液态金属充满铸型后至凝固完毕所需要的时间。平方根定律算法：铸型单位面积在  $t$  时间内铸件凝固厚度 为：

3. 何谓铸造合金的收缩？它主要经历几个阶段？

铸件在液态、凝固态和固态的冷却过程中所发生的体积减小现象称为收缩，它要经历液态收缩阶段、凝固收缩阶段、固态收缩阶段。

4. 减小铸造应力的措施有哪些？

(1) 选择弹性模量和收缩系数小的合金材料 (2) 减小砂型的紧实度或在型砂中加入适量的木屑、焦炭, 在铸件厚实部分放置冷铁或和蓄热系数大的型砂, 或进行强制冷却, 将型壳在浇注前预热到  $600\sim 900$  度 (3) 内浇口和冒口的位置应有利铸件各部分温度的均匀分布及阻力最小的要求。(4) 铸件壁厚差要尽可能的小, 厚薄壁连接处要合理的过度, 热节要小而分散。

5. 影响形核的因素有哪些?

形核温度, 形核时间, 形核基底的数量, 接触角  $\theta$ 。

6. 何谓液态金属的充型能力? 为什么要提高液态金属的充型能力?

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, 称为液态金属充型能力。为了防止浇不足和冷隔缺陷, 提高铸件的质量

7. (2005 新增) 主应力, 简单加载条件, 应变几何方程, 应力状态, 描述点的应变状态, 为什么? 何谓  $\pi$  平面?  $\pi$  平面? 有什么特点? 塑性加工提出什么假设和忽略, 塑性变形与弹性变形各有什么特点? 怎样从相变理论理解液态金属结晶过程中的生核生长机理。

8. 介绍一下压力加工的各种方法。

在轧机上旋转的轧辊之间改变金属的断面形状和尺寸, 同时控制其组织状态和性能的固态成形加工方法称为轧制。

用锤击或压制的方法对坯料施加压力, 使之产生塑性变形的固态成形加工方法称之为锻造。

在压力机上用凹槽和凸模将金属薄板成形为具有立体造型和符合质量要求制件的固态成形加工方法称为板料成形。

用挤压杆将放在挤压筒中的坯料压出挤压模孔而成形的材料固态成形加工方法称为挤压。

坯料靠拉力通过锥形模孔使断面缩小以获得尺寸精确, 表面光洁制品的固态成形加工方法称为拉拔。