



华中科技大学

材料成形原理

复习要点精编

第 1 章 液态金属的结构和性质

第 1 节 材料的固液转变 (★)

- 名词解释

1、空穴

2、熔化潜热

第 2 节 液态金属的结构与分析 (★★)

- 名词解释

1、液态金属中的三起伏

2、近程有序和远程有序

- 简答题

1、纯金属和实际合金的液态结构有何不同？（习题 2.1）

第 3 节 液态金属的性质 (★★★)

- 名词解释

1、粘度

2、表面张力

- 简答题

1、影响液态金属粘度的主要因素？

答：（1）化学成分：难熔化合物的液态粘度较高，而熔点低的共晶成分合金的粘度低。

（2）温度：液体金属的粘度随温度升高而降低。

（3）非金属夹杂物：液态金属中呈固态的非金属夹杂物使液态金属的粘度增加，夹杂物的数量和形态均影响液态金属粘度。

2、粘度在材料成形过程中的意义？

答：（1）对液态金属净化的影响：液态金属中存在各种夹杂物及气泡，必须尽量除去，否则会影响材料成形件的性能，甚至发生灾难性后果。

（2）对液态金属合金流动阻力的影响：粘度越大，流动阻力越大。

（3）对凝固过程中液态合金对流的影响：粘度越大对流强度越小，而对流强度影响金属凝固质量。

（注意：简答题以上述两个题目为例，这类题的标准答案是相似，作答的关键是每一个要素不能漏，同时用一两句话去简要解释每点要素就行。同样，在记忆时也是一样，先记大的主干，然后对每个主干进行说明一下就可以了。考试的时候运用这样的方式分条理、分主干的去答题，一般都是满分。后面这类较简单的题目我就不一一写答案了，自己对着教材总结一下，这样有助于理解和记忆。）

3、影响表面张力的因素？

4、表面张力在材料成形过程中的意义？

答：（1）表面张力引起的毛细管现象，其产生的附加压力对液态成形（铸造）过程中液态合金的充型性能和铸件表面质量产生很大的影响。

（2）金属凝固后期，枝晶之间存在的液膜小到微米时，表面张力对铸件的凝固过程的补缩状况，对是否出现热裂缺陷有重大影响。

（3）在熔焊过程中，熔渣与合金液这两相间的作用会对焊接质量产生重要的影响，熔渣与合金液如果是润湿的，就不易将其从合金液中去除，导致焊缝处可能产生夹渣缺陷。

（4）界面现象影响到液态成形加工的整个过程，晶体成核及生长、缩松、热裂、夹杂、气泡等缺陷都与界面张力关系密切。

第4节 半固态金属的流变性及表观粘度（★★）

● 名词解释

流变铸造（私人总结的，仅供参考）：

通过机械搅拌或电磁搅拌等方法制作半固态浆料，使其固相分数达到 50%~70%，合金浆料仍具有很好的液态流动性，施加压力就可以很好的填充压铸机等成型设备的型腔，然

后进行压铸和挤压至金属模具中成形为零件。

● 简答题

1、流变铸造的优点是什么？（教材 P21 最后一段）

第 2 章 液态金属的流动和传热

第 1 节 液态金属的流动性和充型能力 (★★★)

- 名词解释

- 1、流动性
- 2、充型能力

- 简答题

- 1、液态金属的流动性和充型能力有何异同？如何提高液态金属的充型能力？（习题 2.3，06 年真题 A-2）

- 2、两种成分液态金属的停止流动机理？（理解记忆）

（1）纯金属或节共晶成分合金和结晶温度范围很窄的合金——层状凝固，由外到内逐层凝固。

（2）结晶温度很宽的合金——体积凝固。

注意：“液态金属充型能力的计算及相关复杂数学模型”不用看，目前考试未出现过这方面的计算题。

第 2 节 凝固过程中的液体流动 (★★)

- 名词解释

- 1、自然对流
- 2、强迫对流
- 3、双扩散对流

- 简答题

- 1、液体在枝晶流动的驱动力？

注意：本节的数学模型也不用看了。

第3节 凝固过程中的热量传递 (★★)

- 理解温度场和凝固动态曲线（也可以结果实验教材看）

- 简答题

1、传热的三种方式？

2、铸件的凝固方式及影响因素？ (★★★★)

第4节 铸件凝固时间 (★)

- 名词解释

1、铸件的凝固速率：

2、凝固速度：

- 知道凝固时间的3种计算方法（理论计算法、经验计算法、数值模拟法）就可以了，记一下平方根定律的定义及其公式，其余的数学模型不用看。

第3章 液态金属的凝固形核方式及生长方式

第1节 凝固的热力学条件 (★★★★)

- 理解形核→凝固这一过程:

(教材 P40: 在相变驱动力 ΔG_v 或 ΔT 的作用下 直至凝固结束)

- 简答题

1、为什么过冷度是液态合金结晶的驱动力? (06 年真题 A-1)

2、何谓热力学能障和动力学能障? 凝固过程中是如何克服这两个能障? (05 年 D-三)

第2节 均质形核与异质形核 (★★★★★)

- 名词解释

1、均质形核

2、异质形核

3、形核速率

- 简答题

1、理解润湿角和界面基底的形状与异质形核能力的关系。

2、影响异质形核速率的因素?

3、什么样的界面才能成为异质形核的衬底? (06 年真题 A-3)

- 计算题

1、(07 年 B-1) 假设液态金属在凝固时形成的临界核心是边长为 a^* 的立方体:

(1) 求均质形核时的 a^* 和 ΔG^* 的关系式。

(2) 证明在相同过冷度下均质形核时，球形晶核较立方晶核更易形成。

2、(08 年、四-1)

第 3 节 纯金属的长大方式 (★★★★★)

● 名词解释

- 1、正温度梯度 2、负温度梯度 3、粗糙界面 4、平整界面 5、二维晶核
6、螺旋位错生长、旋转孪晶生长、反射孪晶生长（这 3 个名词理解记忆就可，不是很重要）

（注意：粗糙界面与平整界面， α 和 x 值的范围；分清楚非小平面界面、粗糙界面、非小平面生长、平整界面、小平面界面、小平面生长这 6 个概念之间的相互关系）

● 简答题

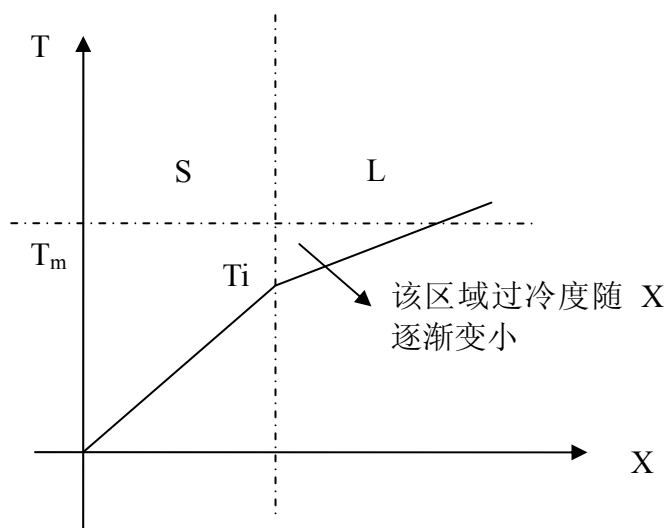
- 1、阐述影响晶体生长的因素？（习题 3.4，下面的答案与习题上的答案有所不同，自己综合下）

答：（1）晶体宏观长大方式取决于界面前方液体中的温度分布，即温度梯度 G_L ，当 $G_L > 0$ 时，晶体生长以平面方式生长；如果 $G_L < 0$ ，晶体以树枝方式生长。

（2）晶体微观长大方式取决于固-液界面结构：粗糙界面的生长方式叫非小平面生长；平整界面的生长方式叫小平面生长。

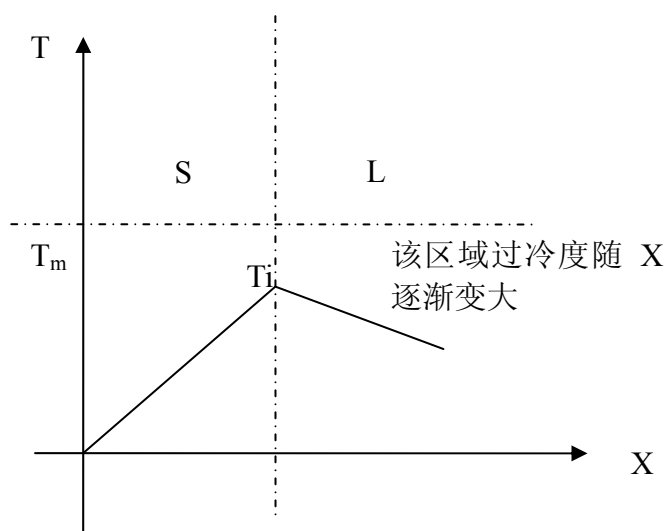
- 2、晶体平面方式长大与树枝晶方式生长的机理？

答：（1）平面方式长大机理



理解该图,并以教材中相对应的一段话作答(固-液界面前方液体中的温度梯度 $G_L > 0$, 液相温度高于界面温度 T_i ……………导致晶体以平面方式生长)

(2) 树枝晶方式生长机理



理解该图,并以教材中相应的一段话来作答(固-液界面前方液体中的温度 $G_L < 0$ ……………成为树枝晶生长方式)

3、阐述晶体的生长机理和及生长速率？

- (1) 连续生长机理：当液固界面在原子尺寸内呈粗糙结构时……………并随机地受到固相中较多近邻原子的键合。
- (2) 晶体的二维生长：当液固界面在原子尺寸内为平整界面时，界面上会形成一个二维晶核。由于二维晶核的形成，产生了台阶……如此继续下去，完成凝固过程。
- (3) 晶体从缺陷处生长
 - ①螺旋位错生长
 - ②旋转孪晶生长
 - ③反射孪晶生长

第4章 单相合金与多相合金的凝固

(注：本章是作为液态成形部分的重点，也是考试的重点，需要花时间研究的)
理解教材 P52 第 1 段、第 2 段

了解两个扩散定律（没有教过，但也需要知道一下，最好能大概记下定义。）

第1节 单相合金的凝固 (★★★★★)

● 名词解释

- 1、溶质再分配 2、界面平衡 3、正常凝固过程 4、溶质平衡分配系数
5、成分过冷 6、枝晶间距

● 简答题

- 1、液态金属凝固时的热过冷和成分过程有何区别？成分过冷对单相合金晶体生长方式有何影响？（06 年 D-1，牢记“成分过冷”判别式及本题答案，11 年和 12 年都考过）

- 2、影响枝晶间距的主要因素是什么？枝晶间距与材质质量有何关系？（习题 5.4）

● 计算题（相当重要）

- 1、05 年 D-2
2、06 年 D-2
3、11 年、第三大题 1

（其它几年也有，这里就不一一全部列出来，留着做真题时自我评估。）

● 本章需要牢记的公式：

(1) 平衡凝固： $C_s = \frac{C_0 k}{1 - f_s(1 - k)}$ $C_L = \frac{C_0}{k + f_L(1 - k)}$ （最好能理解推导方式）

(2) 近平衡凝固： $C_s^* = k C_0 (1 - f_s)^{k-1}$ $C_L^* = C_0 f_L^{k-1}$

(3) 成分过冷判据： $\frac{G_L}{R} \leq \frac{m_L C_0 (1 - k)}{D_L k}$ （注意应用的时候用大于等于号，什么时候用小于号）

第2节 共晶合金的凝固 (★★★)

● 名词解释

- 1、规则共晶合金 2、非规则共晶合金 3、伪共晶组织 4、离异生长和离异共晶
- 5、规则共晶凝固 6、层片状共晶组织 7、棒状共晶

● 简答题

- 1、Mg、S、O 等元素如何影响铸铁中石墨的生长？（习题 6.3）
- 2、共晶合金的共生生长、共晶共生区、离异共晶、离异生长、规则共晶凝固相关的概念和知识点。
- 3、层片状共晶和棒状共晶结构的判断。
- 4、了解非规则共晶的特点，了解 Al-Si 合金的共晶凝固，了解加入 Na、Sr 等变质元素的影响（没考过，但也不能忽略，容易考）

本章概念较多，容易混淆、忘记。可以换照共晶、非共晶、离异共晶三大类来分类进行梳理，共晶中又分为层片状共晶和棒状共晶。

● 补充两个名词解释：变质处理、孕育处理（第 5 章的名词解释）。

● 本章的第 3、4、5 节内容略微记忆一下相关概念即可，了解下其中内容就行了。

第 5 章 铸件凝固组织的形成与控制

本章很重要（近几年都有考到，题目也是大同小异）

- 理解教材 P87 第一段话

第 1 节 铸件宏观凝固组织的特征及形成机理（★★★★★）

- 名词解释

晶粒增殖过程

- 简答题

- 1、铸件典型宏观组织是由哪几部分构成的，它们的特征和形成机理如何？（06 年 D-3）
- 2、试论述铸件宏观凝固组织的内部等轴晶的形成机理。（07 年 B-4）

第 2 节 铸件宏观凝固组织的控制（★★★★★）

- 名词解释

- 1、孕育处理
- 2、孕育衰退

- 简答题

- 1、细化凝固组织的生核剂主要有哪几类，其生核机理分别是什么？（05 年 D-1）
- 2、简述促进生成等轴晶的方式。

第3节 气孔与夹杂的形成机理及控制 (★★★★★)

- 三种气孔的定义、特征、形成机理、防止措施 (常考内容)

- 名词解释

气孔、一次夹杂、二次夹杂、内在夹杂、外在夹杂、偏析夹杂

- 简答题

- 1、简述一次夹杂物的形成，分布和排除途径？
- 2、简述二次氧化夹杂物的开成，分布和排除途径？
- 3、影响偏析夹杂物大小和数量的因素？ (★★)

第4节 缩孔与缩松的形成机理 (★★★★★)

- 名词解释

- 1、液态收缩
- 2、凝固收缩
- 3、固态收缩
- 4、缩孔
- 5、缩松

- 简答题

- 1、试分析缩孔、缩松形成条件及形成原因的异同。(06年 D-4)

- 2、阐述灰铸铁和球墨铸铁的缩孔和缩松的形成倾向 (07年 B-3)

- 3、影响缩孔与缩松大小的因素？（P111）
- 4、影响灰铸铁和球墨铸铁缩孔和缩松的因素（P111）
- 5、防止铸件产生缩孔的途径（05 年 A-二-3，P111）

第 5 节 化学成分的偏析（★★★★）

● 名词解释

- 1、偏析 2、微观偏析 3、晶内偏析 4、晶界偏析 5、宏观偏析 6、正常偏析
- 7、逆偏析 8、“锡汗” 9、V 形偏析和逆 V 形偏析 10、带状偏析 11、重力偏析

● 简答题

防止或减轻重力偏析（也称密度偏析）的方法？

- 本章很重要，几乎每年都有一两个大题考到过。液态成形和焊接都有气孔、裂纹的内容，但气孔的内容在本章考，裂纹和变形都在焊接中考，都是必考内容。
- 本章的第 6 节“裂纹和变形”的内容就不用花太多时间，了解一下就可，如果后期实在没时间就不用看了。

第 6 章 特殊条件下的凝固 (★★)

● 名词解释 (★★★★)

- 1、快速凝固
- 2、定向凝固
- 3、微重力凝固
- 4、超重力凝固

● 简答题 (★★★)

- 1、快速凝固的基本原理？快速凝固晶态合金的组织与性能有何特点？
- 2、定向凝固有哪些方法？有哪些应用？

这一章考试内容比较少，时间紧张的同学就把上述几个题目背一下就好，重视一下名词解释就可以了。

第 7 章 焊缝及其热影响区的组织和性能

第 1 节 焊接及其冶金特点 (★★★★)

● 名词解释

- 1、焊接及其物理本质
- 2、焊接方法（熔焊、压焊、钎焊定义）
- 3、焊接温度场及温度梯度

● 简答题

- 1、简述熔焊焊接接头的形成过程？（细看 P137 第 7 段，记住各个符号代表的含义。理解记忆焊接接头形成的 3 个过程：焊接热过程、焊接化学冶金过程、焊接物理冶金过程）
- 2、影响焊接温度场的因素。（注意 05 年 A-7 是焊接参数的影响）
答案要点：包括焊接参数和金属物理性质两个方面的内容。
- 3、焊接接头的组成部分：焊缝、热影响区和母材；如何保证焊接接头的性能？

第 2 节 焊缝金属的组织和性能 (★★★★)

● 名词解释

- 1、联生结晶（也称外延结晶或交互结晶）
- 2、定向晶
- 3、偏向晶
- 4、WM-CCT 图

● 简答题

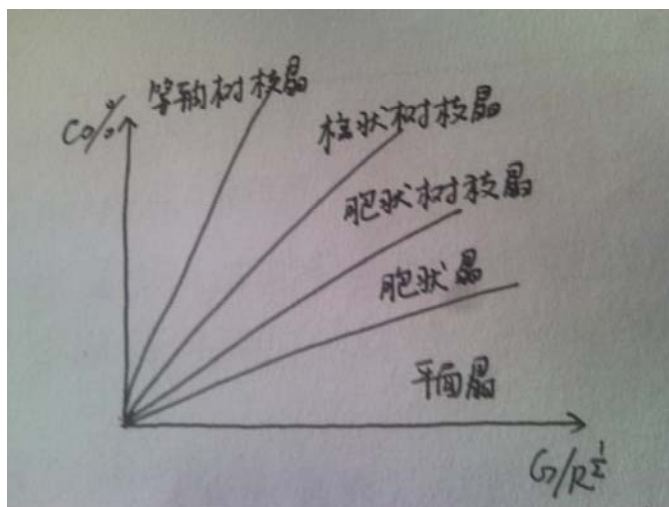
- 1、焊接熔池的特征？
- 2、熔池凝固的特点？
答案要点：（1）联生结晶：（接下来可写定义）

(2) 择优生长:

(3) 凝固线速度 (理解公式 7-3)

记得丰富下每个要点。

3、下图是几种因素对结晶形态的影响, 其中纵、横坐标各代表什么? 并结合该图讨论焊接熔池凝固组织的特点。(07 年 C-5) (★★★★★)



4、简述焊接熔池的凝固组织形态, 并分析结晶速度、温度梯度和溶质浓度对组织形态的影响? (习题第二部分第 2 题)

5、低碳钢焊缝的室温组织。

P149 页最下角, 低碳钢焊缝含碳量较低……… (一直到 P150 页) 在初晶奥氏体中更容易形成。(自己总结一下)

6、低合金钢焊缝的室温组织? (考试的时候不会直接问你低碳钢的室温组织, 而是给你一个钢号, 如 Q235, 你得知道它是低碳钢。平常看一下钢种的命名, 注意细节, 教材 P154 也有几个, 这几个常考。)

7、低合金钢焊缝的室温组织 (出题可能性不大, 看两遍即可)

8、如何控制焊缝金属的组织 and 性能?

第3节 焊接热影响区的组织与性能 (★★★★★)

● 名词解释

1、热影响区 2、焊接热循环 3、 $t_{8/5}$, t_{100} 4、SH-CCT 图 5、回火软化

● 简答题

1、焊接热循环的主要参数及其影响。

答：(1) 加热速度 V_H ：加热速度越快相变温度越高，奥氏体的均匀化及碳化物的溶解越不充分。

(2) 最高温度 θ_m ： θ_m 越大，奥氏体过过热严重，冷却后组织粗大，韧性下降。

(3) 相变温度以上的停留时间 t_H ： t_H 越长，HAZ 区奥氏体均质化越充分，但奥氏体晶粒长大也比较严重。

(4) 冷却速度是决定 HAZ 组织与性能的主要参数。

2、焊接热循环的特点？

3、焊接加热过程中奥氏体化的特点？（两个方面）

4、低碳钢及不易淬火的低合金钢 HAZ 组织分布？（05 年 B 三）

注意：这类题目，若不知道题目所给的钢号是什么类型的钢，背得再熟也是枉然。

5、易淬火钢 HAZ 组织分布？

注意：Q235、20、Q345（16Mn）、Q420（15MnVN）为低碳钢及不易淬火钢
18MnMoNb、30CrMnSi、45 为低中碳调质钢、中碳钢及易淬火钢

6、简述 HAZ 脆化的类型及产生条件？（07 年 A-7）

7、提高 HAZ 韧性的措施是什么？

第 8 章 成形过程的冶金反应原理

第 1 节 成形工艺中的冶金反应特点 (★★★)

- 理解液态成形的冶金反应特点
- 理解连接成形的冶金反应特点

以电弧焊为例，可分为三个冶金反应区。

- 简答题

简述各反应区的特点？

第 2 节 液态金属与气体界面的反应 (★★★)

- 名词解释

- 1、氢的浓度扩散、相变诱导扩散、应力扩散
- 2、氢脆、白点

- 简答题

- 1、简述焊接气体的来源？ (★★)

答案有 3 个要点，自己总结一下，了解即可

- 2、液态金属中其它元素的影响。(12 年考到了 N 元素)

元素	与金属的作用	影响	控制途径
N	理解溶解的 4 个阶段	P163 四点，注意总结	3 点
H	理解溶解过程和 H 的 3 种扩散方式	四点（重点内容）	4 点
O	理解 O 在金属中的溶解	P168 最后一段	3 点
S		S 的危害 P176	2 点 自己总结一下
P		P 的危害 P177	2 点

例如可以像下面这样总结：

N_2 , H_2 , O_2 与液态金属的反应

1. N_2 与金属的作用: 四个阶段

- ① 气体分子向金属与气体的界面上运动; ② 气体被金属表面吸附
- ③ 气体分子在金属表面上分解为原子; ④ 原子穿过金属表面层向金属深处扩散

2. N 的影响

- ① 使材料变脆, 严重降低金属的塑性和韧性, 尤其是低温韧性;
- ② 促使时效脆化。焊接冷却速度大, 温度下降, N 来不及析出, 随着时间的延长, 钢中过饱和的 N 将逐渐析出, 并形成稳定的 Fe_4N , 从而导致钢的时效脆化。
- ③ 焊缝中过多的 N 生成 AlN , 使材料脆化。
- ④ 促使焊缝产生 N_2 孔, 原因是析出性气孔 (高温时溶解大量的 N_2 , 快速冷却导致)

3. N 的控制:

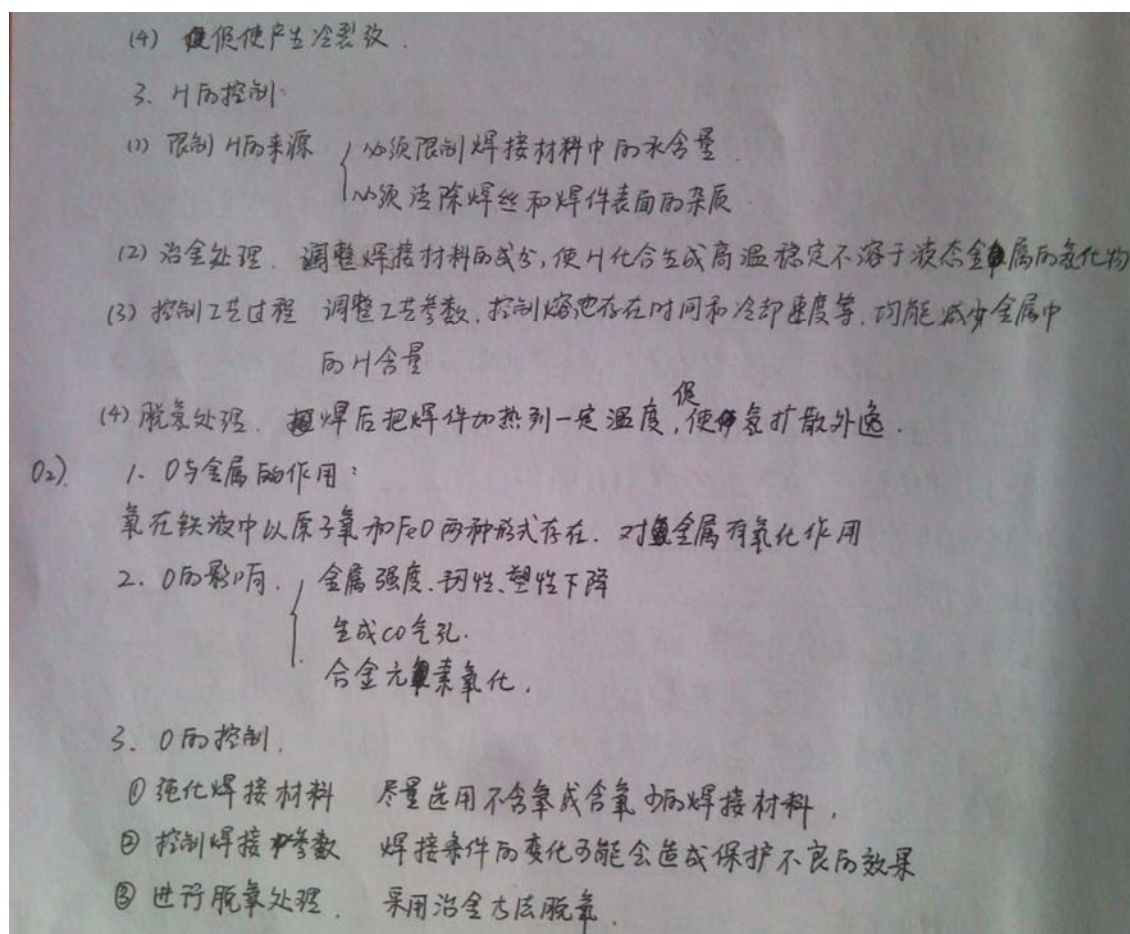
- ① 加强保护, 加强对金属的保护, 防止空气的侵入。
- ② 正确选择焊接参数, 焊接参数对焊缝的含 N 量有明显的影。
- ③ 控制合金元素的含量, 向液态金属中加入能固定 N 的元素, 形成稳定的氮化物, 而显著降低气孔形成倾向和时效脆化的倾向。

H_2 1. H 的扩散

浓度扩散、相变诱导扩散、应力诱导扩散。

2. H 的影响

- (1) 氢脆: 氢在室温附近使钢的塑性严重下降。
- (2) 白点: 大多数情况下, 白点中心有小夹杂物或气孔, 使钢的塑性降低
- (3) 形成气孔: 析出性气孔



第3节 液态金属与熔渣的反应 (★★★★)

● 名词解释

- 1、酸性渣 2、碱性渣 3、长渣 4、短渣 5、熔渣: 焊条或焊剂加热融化后形成熔渣
6、熔渣的熔点 7、造渣温度 (药皮熔点)

- 理解记忆 P171 最后一段所有内容。(熔渣的物理性能: 粘度、熔点、表面张力)。
- 理解记忆 P172 第一段 (熔渣的表面张力) 所有内容。

● 简答题

- 1、熔渣在焊接过程中的作用是什么?
- 2、熔渣的成分和分类?

答案要点: 熔渣分为酸性和碱性两大类。酸、碱性渣的定义。

3、药皮熔点与熔渣熔点的关系？（11 年真题）

4、试述焊接时活性熔渣对金属的氧化方式，并以 CO_2 气体保护焊为例，说明选择焊丝的原则及脱氧措施。（07 年 C-4）（★★★★★）

答案要点：方式有两种：扩散氧化和置换氧化（注意化学方程）；作答时简要论述丰富下这两点。

第 4、5 节 合金化、工艺条件对冶金反应的影响（★★★）

● 名词解释

1、合金化

2、熔合比

● 简答题

合金化的目的和方式？

● 计算题

教材 P181 8.14

07 年真题 C-3

● 需要掌握的公式（★★★★★）

公式 8-51、8-53、8-54

$C_w = \theta^n C_b + (1 - \theta^n) C_d$ （多层焊时焊缝中合金元素浓度，来源于课件，其中 n 表示层数）

第9章 成形缺陷的产生机理及防止措施

第1节 内应力 (★★★)

- 名词解释

1、内应力 2、热应力 3、相变应力 4、机械阻碍应力 5、焊接残余应力

- 简答题

1、内应力如何产生的，对构件的质量有何影响？

答案要点：定义在 P182 的第 1-2 句话，影响在第 2、3 自然段。

2、分析焊接时热裂纹产生的原因，并以奥氏体钢焊接为例说明防止热裂纹的措施。(07 年 C-1) (★★★★)

3、消除或减小焊接残余应力的途径。

第2节 焊接变形 (★★★★)

- 焊接变形的 5 种方式及其定义。

类似于 11 年考察本节的真题简要分析：一般情况下，收缩变形和角变形都是存在的，焊缝结构不对称时会有弯曲变形，薄板结构就有波浪变形，扭曲变形一般发生在工字钢结构中。

万一不会分析，就几种变形都写上吧。多写比小写扣分少。

- 简答题

影响变形的因素和防止减少焊接变形的的方法？（注意与上 1 节第 3 个问答题的区别）

第3节 裂 纹 (★★★★★)

这一节的内容都很重要，每年必考内容。教材中表格 9-4 比较详尽，但内容比较多。前三种的裂纹类型、形成时间、基本特征比较重要。表格中其余的理解就行，不用背。这一章也是需要反反复复研究，做到烂熟于心。多花点时间背！

● 名词解释

- 1、热裂纹 2、凝固裂纹 3、液化裂纹 4、高温失延裂纹 5、多边化裂纹
6、弧坑裂纹 7、成形系数 8、冷裂纹 9、淬火裂纹 10、氢致裂纹
11、低塑性脆化裂纹 12、拘束度

● 简答题

- 1、热裂纹的形成条件？

答案要点：P194，热裂纹具有高温沿晶断裂的性质，发生高温沿晶断裂的条件是……它具有最低的延性，易于促使产生热裂纹。

- 2、热裂纹的分类及特征。

答案要点：3 种热裂纹（凝固裂纹、液化裂纹、高温失延裂纹）

特征：1) 裂纹所在断面有可见的氧化色彩，即可判断裂纹是热裂纹。

2) 液化裂纹和凝固裂纹都具有相同的断口特征，分辨它们在于分布的位置——凝固裂纹易发生在焊缝中心处，液化裂纹易发生在 HAZ 区。

- 3、热裂纹的形成机理？（07 年 C-2）

- 4、凝固裂纹、液化裂纹、高温失延裂纹机理？

注意：这个题目与第 3 题的区别，若题目只能判断到热裂纹，那么就按照标准答案上面的回答，或可以判断到是热裂纹的哪一种裂纹，就得综合起来回答了。

答：凝固裂纹的形成机理：金属凝固末期，长大后的晶体交织长合形成枝晶骨架，这时晶体本身能时行剧烈的变化，但晶体间残存的液相不易流动，在拉应力作用下所产生的微小裂纹无法填充，金属的延性降低，为产生裂纹的内因。能否产生裂纹，

还需要看在脆性温度区的应变发展情况。

液化裂纹的形成机理：液化裂纹的形成与偏析所造成的共晶反应有关。金属材料中存在的偏析元素使近缝区粗晶粒的边界处出现共晶反应，在焊接热循环的作用下会发生熔化而形成液态薄膜（共晶薄膜），在一定的诱导条件下，形成裂纹。

高温失延裂纹的形成机理：晶粒周边与内部塑性变形不均匀→晶界滑移→空穴开裂。（一般不会考，自己看看就行）

5、影响热裂纹的因素和防止热裂纹的措施？

答案要点：记书上的小标题，一级一级往下记标题，小标题后面用一两句话总结一下即可，不要漏。

6、冷裂纹的分布形态？（★★★★）

7、冷裂纹的特征？（★★★★★）

8、冷裂纹的形成条件。

答：1) 氢的作用：高温熔池中熔入了大量的氢，温度一下降后，H 来不及溢出，这些过饱和的 H 在金属中极不稳定，即使在室温下也能在金属的晶格中自由扩散，甚至可以扩散到金属的表面，逸出金属。只有当温度在 $-100\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时，H 能自由扩散，称为扩散 H，对氢致裂纹起决定性的作用。在“相变诱导扩散”、“应力诱导扩散”、“浓度扩散”等驱动的作用下，将导致工件中出现氢致裂纹。焊接过程中，焊缝中的 H 扩散到 HAZ 及母材。焊缝奥氏体先于母材相变，H 在 F、P 中溶解度很小，促使氢向熔合区聚集，熔合区形成富氢区。熔合区内的奥氏体转变时，氢以过饱和状态留在马氏体内。若该区域存在缺陷，导致氢扩散到应力集中区，H 的浓度足够大时，就有可能产生裂纹。

2) 钢材的淬硬性倾向：焊接时，钢种的淬硬性倾向越大，越容易产生裂纹。C 含量越高，或合金含量越多，则钢材淬硬性倾向越大。钢材的淬硬性倾向越大……………（书上 P205 最后一句——P206 开头一段）也可能产生裂纹。

3) 拘束应力：在弹性条件下，若用应力集中，则拘束应力将剧增，冷裂纹倾向增加。

4) 产生冷裂纹的临界条件： $\delta_{\min} \geq \varepsilon$ ，局部区域的延性 δ_{\min} 不足以承受当时应力所产生应变 ε 。

9、氢致裂纹为什么具有延迟开裂和裂纹的扩展呈断续状的特征呢？

答案要点：P208 倒数第 2 段“氢的诱导扩散理论认为……”一整段。

10、09 年，二、7

本题通过题目中的延迟、CE 大、拘束度大等可能推断出是冷裂纹。其产生机理可参考上面第 8 题。

11、冷裂纹的控制方法？

答案要点：1) 控制组织脆化：小热输入，预热工件，C 含量较高时选用低 H 焊条。

2) 限制氢的含量：(1、2、3 点书上都有)

3) 控制拘束应力：力求减小刚度或拘束度，避免形成各种缺口，调整施焊顺序，使焊缝有收缩余地，以焊接接头的拘束。

第 4 节 焊缝中的气孔与夹杂物

- 不用复习，前面说过了，气孔和夹杂物在铸造里面考。

第 5 节 焊缝中的化学成分不均匀性

- 名词解释 (★★★★★)

1、显微偏析 2、层状偏析 3、区域偏析

第 10 章 特种连接成形原理与方法 (★★)

- 名词解释

1、超塑性 2、摩擦焊

其余了解一下，有个印象就行。

金属塑性加工力学基础 (★★★★★)

这一章记忆和理解的内容都有，考试会出论述和计算题，公式比较多（记忆可能比较困难，但也有规律可行），记忆的内容比较简单，理解内容较困难。学习这一章的时候结合PPT来复习，多翻教材。能理解多少就理解多少，理解不了了的记住解题套路，把真题和我提到的题目搞会了，基本塑性部分分数就可以拿到手了。

第1章 应力与应变理论

第1节 应力空间

- 塑性加工的定义和 5 个假设
- 理解记忆 面力、体积力、应力等相关概念
- 理解记忆下列公式及相关内容

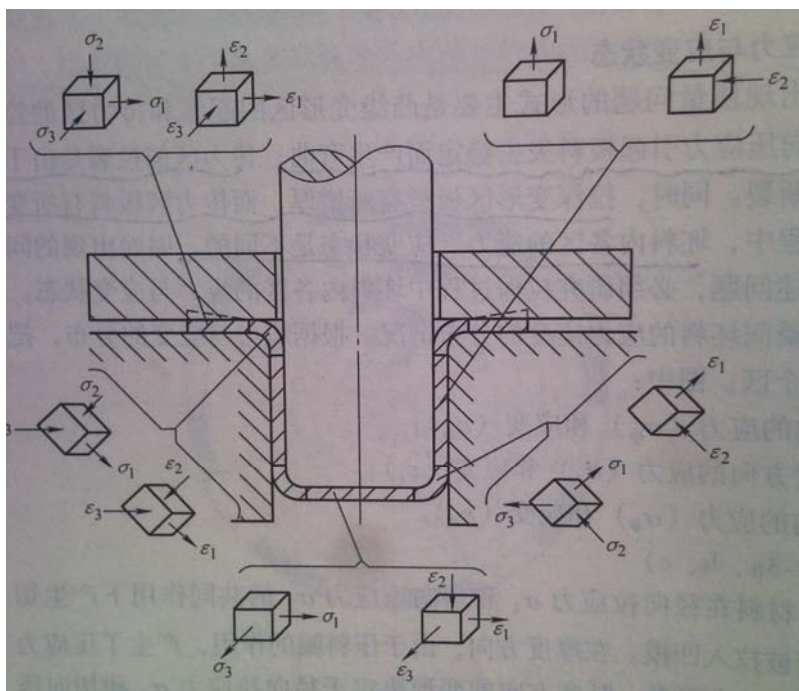
公式 11-4、11-5、11-8、11-10、11-18、11-19、11-20、11-21、11-22、11-24、11-25、11-28、11-29、11-30、11-31

- 研究教材例 3、例 4、例 5、例 6
- 下面的要重视

1、主应力和应力张量不变量 I_1 、 I_2 、 I_3 （很重要！★★★★★）

2、应力椭球面（理解一下就可以了★★★）

3、主应力图（很重要！11 年考过★★★★★）——11 年的主应力图真题答案：



4、主切应力和最大切应力 (★★★较重要, 理解、记概念和公式 11-37、11-39、11-36)

5、应力张量偏张量和应力球张量 (两个矩阵, 很重要! ★★★★★)

6、八面体应力和等效应力 (★★)

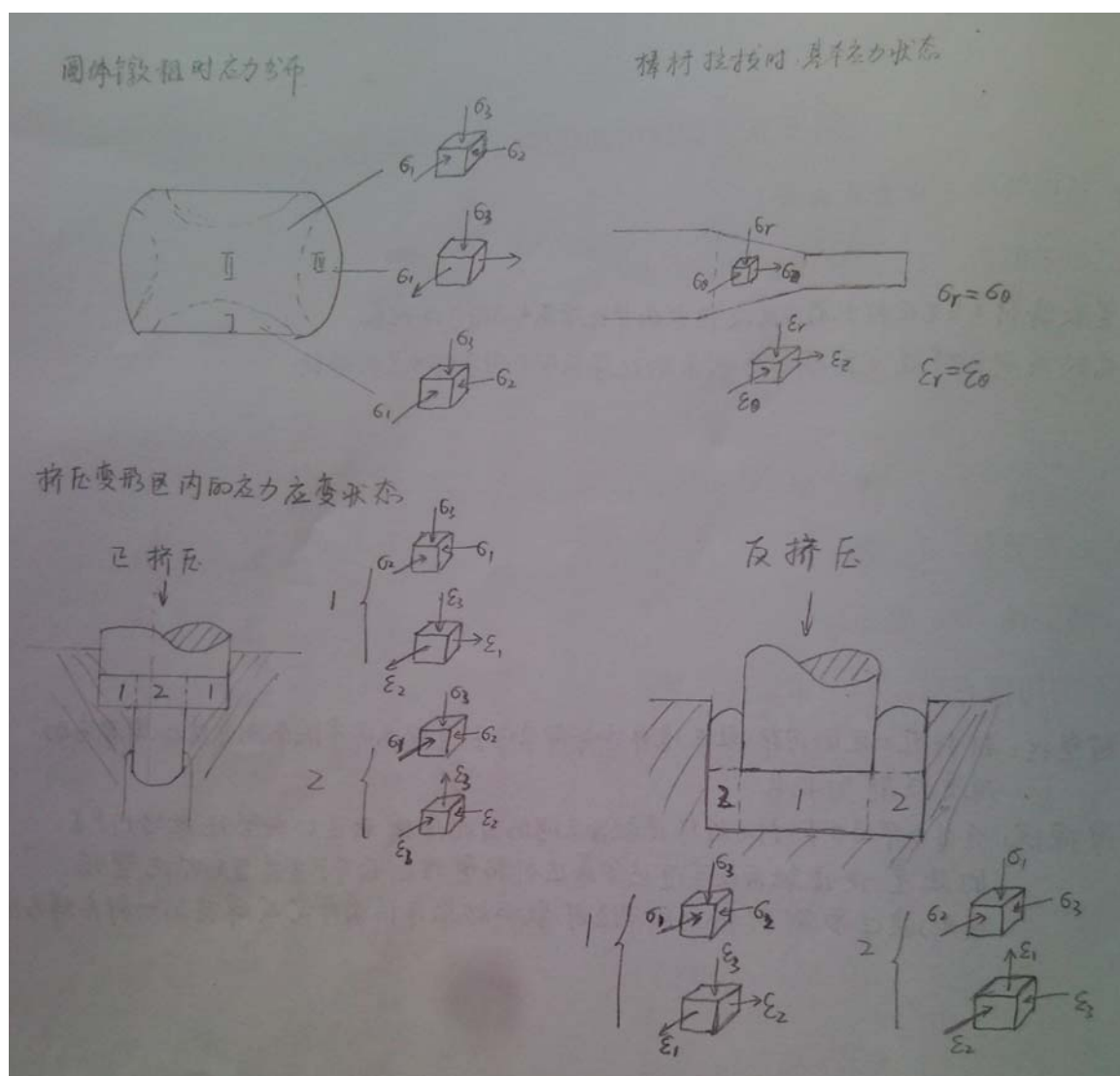
等效应力的定义和表达式要记清楚

7、应力莫尔圆

真题没考过, 但是对快速解题有帮助, 教材上讲解的并不详细, 有想多了解的同学可以看下《材料力学》。没时间可以跳过。

8、应力平衡微分方程 (公式 11-57, 重要! ★★★★★)

● 补充几个主应力图例题:



第 2 节 应变空间

- 理解应变等概念
- 工程应变与对数应变（表达式、优缺点、适用范围）
- 小变形几何方程（柯西方程 11-59）
- 应变协调方程（6 个方程，公式 11-71 和 11-72，注意课件上所说的该方程的应用）
- 应变张量分析
- 应变增量张量和应变速率张量（没考过，注意下就行★）
- 等效应变（记下公式，没考过）
- 塑性应变体积不变条件：

这一章偏重理解，所涉及的历年真题也比较简单，复习时以真题上的题目为主。

- 本章有两个结论：
 - 1、应力场必须满足应力平衡微分方程
 - 2、应变场必须满足应变协调方程
- 教材 P261 课后习题 11.10、11.14、11.15

第 12 章 塑性与屈服准则

第 1 节 塑性 (★★★★)

- 名词解释

1、塑性及其影响因素

2、塑性指标

3、最小阻力定律：当变形体质点有可能沿不同方向移动时，则物体各质点将沿着阻力最小的方向移动。

4、包辛格效应：在反向加载后使屈服应力降低的现象称为包辛格效应

5、加工硬化：在金属压力加工过程中，变形抗力随着变形增加而增大的现象，即材料的屈服应力与后续屈服应力随着等效应变增大而单调递增的这一物理现象。

6、残余应力：在金属的塑性变形过程中，由于变形不均匀，材料内部的各个微块之间相互作用的一种内应力，当外载卸去后，这种应力能保存下来，称为残余应力。

- 了解拉伸、压缩和扭转三个实验

- 简答题

已知材料的真实应力-应变曲线方程为 $Y = BE^{0.4}$ ，若试样已有伸长率 $\delta = 0.25$ ，试问试验还要增加多少 δ 才会发生颈缩？

解：根据 $n = \varepsilon_b$ $\therefore \varepsilon_b = 0.4$ 因为已有伸长率 $\delta = 0.25$ ，

则 $0.4 - 0.25 = 0.15$ \therefore 还要增加 0.15 才发生颈缩。

第 2 节 屈服准则 (★★★★)

- 理解和记忆屈服准则、塑性方程、屈服表面等相关概念

- 理解两种屈服准则在屈服表面的几何形状

- 熟悉 Resca 屈服准则和 Miesis 屈服准则的表达式、物理意义和适用范围，和它们之间的联系和异同。

- 重点题目

1、P274 例 2

2、P275 题 12.2

解：（1）当两端自由

由于 σ_r 可以忽略为 0 两端自由 $\sigma_z = 0$

$$\sigma_\theta = \frac{p2r}{2t} = \frac{pr}{t} > 0$$

显然 $\sigma_1 = \sigma_s = \frac{pr}{t}$, $\sigma_2 = \sigma_z = 0$, $\sigma_3 = \sigma_r = 0$

Mises 准则: $\Rightarrow \sigma_1 = \sigma_s$ 即 $\frac{pr}{t} = \sigma_s = 200 \text{ MPa}$ 代入可得

$P = 20 \text{ MPa}$

Tresca 准则 $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s$ $p = 20 \text{ MPa}$

（2）当管子两端封闭时：

$$\sigma_z = \frac{pr}{2t}, \quad \sigma_\theta = \frac{pr}{t}$$

$$\sigma_1 = \sigma_\theta = \frac{pr}{t}, \quad \sigma_2 = \sigma_z = \frac{pr}{2t}, \quad \sigma_3 = \sigma_r = 0$$

Mises 准则: $\sqrt{3} \frac{pr}{2t} = \sigma_s \Rightarrow P = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{\sigma_s}{r}$ 代入可得

$P = 23.09 \text{ MPa}$

Tresca 准则: $\frac{pr}{t} - 0 = \sigma_s \Rightarrow p = \frac{\sigma_s}{r}$ 代入数据可得 $p = 20.0 \text{ MPa}$

（3）当管子两端加 100KN 的压力时：

$$\sigma_z = \frac{p\pi r^2 - 1 \times 10^5}{2\pi r t} < 0$$

$$\sigma_\theta = \frac{pr}{t} > 0 \quad \therefore \sigma_1 = \sigma_\theta = \frac{pr}{t} > 0$$

$$\sigma_2 = \sigma_r = 0; \quad \sigma_3 = \sigma_z = \frac{p\pi r^2 - 1 \times 10^5}{2\pi r t}$$

由密塞斯屈服准则：

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{pr}{t} - 0\right)^2 + \left(\frac{p\pi r^2 - 1 \times 10^5}{2\pi r t}\right)^2 + \left(\frac{p\pi r^2 - 1 \times 10^5}{2\pi r t} - \frac{pr}{t}\right)^2 = 2\sigma_s^2$$

代入数据得： $p \approx 13 \text{ MPa}$

$$\text{由屈雷斯加屈服准则： } \sigma_\theta - \sigma_z = \sigma_s \quad \Rightarrow \frac{pr}{t} - \frac{p\pi r^2 - 1 \times 10^5}{2\pi r t} = \sigma_s$$

$$\Rightarrow \frac{pr}{2t} = 200 - 100 = 100 \text{ MPa} \quad \Rightarrow p = 10 \text{ MPa}$$

故 $p = 10 \text{ MPa}$

3、P275 题 12.3

解：沿径向取微元体，静力平衡方程为：

$$P(R \cdot d_\theta)^2 - 4\sigma_\theta(R \cdot d_\theta)t \cdot \sin(\theta/2) = 0$$

化简计算：

$$\sigma_\theta = PR/2t$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_\theta \quad \sigma_3 = 0$$

根据 Mises 屈服准则

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_s^2$$

$$(PR/2t)^2 + (PR/2t)^2 = 2\sigma_s^2$$

$$P = 2t\sigma_s / R$$

4、做一下 P275 第 1 题

5

图 16-12 所示的是一薄壁管承受拉扭的复合载荷作用而屈服，管壁受均匀的拉应力 σ 和切应力 τ ，试写出下列情况的屈雷斯加和密塞斯屈服准则表达式。

（提示：利用应力莫尔圆求出主应力，再代入两准则）

解：由图知： $\sigma_x = \sigma$ $\sigma_y = 0$ $\tau_{xy} = \tau$

由应力莫尔圆知：

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\therefore \sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad \sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2}$$

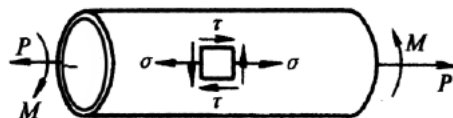


图 16-12 受拉扭复

Tresca 准则 $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s$

$$\therefore \sigma_s = 2\sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\sigma}{\sigma_s}\right)^2 + 4\left(\frac{\tau}{\sigma_s}\right)^2 = 1$$

密塞斯准则 $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$

$$\Rightarrow 2\sigma^2 + 6\tau^2 = 2\sigma_s^2$$

$$\therefore \left(\frac{\sigma}{\sigma_s}\right)^2 + 3\left(\frac{\tau}{\sigma_s}\right)^2 = 1$$

第 13 章 本构方程 (★★★★★)

第 1 节 塑性变形时应力应变关系的特点

- 简答题

1、简述应力应变关系的特点？

2、为什么说塑性变形时应力和应变之间的关系与加载历史有关？ (★★)

答：正因为塑性变形是不可逆的，应力与应变关系不是单值对应的，与应变历史有关，而且全量应变主轴与应力主轴不一定重合，因此说应力与应变之间的关系与加载历史有关，离开加载路线来建立应力与全量应变之间的关系是不可能的。

- 三种实验方法确定材料的等效应力与等效应变曲线

要求：三种实验状态下的各主应力、主应变的表达式或值要记清楚。尤其是压缩实验。

- 牢记 6 种简化模型的表达式，图形，适用范围。(课件上有，真题也考过)

- 广义胡克定律 公式 13-6

第 2 节 塑性变形增量理论

第 3 节 塑性变形全量理论

- 名词解释

1、简单加载：在加载过程中各应力分量按同一比例增加，应力主轴方向固定不变的加载方式。

2、增量理论：又称流动理论，是描述材料处于塑性状态时，应力与应变增量或应变速率之间关系的理论，它是针对加载过程的每一瞬间的应力状态所确定的该瞬间的应变增量，这样就撇开加载历史的影响。

3、全量理论：在小变形的简单加载过程中，应力主轴保持不变，由于各瞬间应变增量主轴和应力主轴重合，所以应变主轴也将保持不变。在这种情况下，对应变增量积分便得到全量应变。在这种情况下建立塑性变形的全量应变与应力之间的关系称为全量理论，亦称为形变理论。

- 计算题

1、课后习题 13.2

解：由 $d\varepsilon_x = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_x - \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) \right]$ 得

$$0.1\delta = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[-50 - \frac{1}{2}(-150 - 350) \right], \text{ 由此可解得,}$$

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} = \frac{0.1}{200}\delta, \text{ 所以其余分量为}$$

$$d\gamma_{xy} = d\gamma_{yx} = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \tau_{xy} = 0$$

$$d\varepsilon_y = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_y - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) \right] = \frac{0.1}{200}\delta \left[-150 - \frac{1}{2}(-50 - 350) \right] = 0.025\delta$$

$$d\gamma_{yz} = d\gamma_{zy} = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \tau_{yz} = 0$$

$$d\varepsilon_z = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_z - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \right] = \frac{0.1}{200}\delta \left[-350 - \frac{1}{2}(-50 - 150) \right] = -0.075\delta$$

$$d\gamma_{zx} = d\gamma_{xz} = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \tau_{zx} = \frac{3}{2} \times \frac{0.1}{200}\delta \times 5 = \frac{3}{800}\delta$$

2、课后习题 13.3

3、课后习题 13.4

4、课后习题 13.8

5、习题集第三部分的全体题目，共 8 道

第 14 章 金属塑性成形解析方法 (★★)

这一章重点是应用主应力法（有的教材上也称工程法）解决问题，这上面指定的题目是要掌握的，10 年、12 年没有出过，11 年出过，13 可能会出一道。建议就把下面指定的几个题目掌握，因为这一块每年得满分（10-15）情况都不乐观，与其在主应力法上面花太多精力不如将时间投入到其它知识点重复记忆上，这样得分也好些。考试的时候这块不一定要得满分，要把套路写上去，过程尽量写详细些。当然，学有余力的同学也可以参考其它资料。

● 重点题目：

- 1、两种摩擦模型及应用。（05 年 A-五）
- 2、求长方形板镦粗时的变形力和单位流动压力？
- 3、求柱体镦粗时的压力和单位变形力？
- 4、课后习题 14.1（习题集第三部分第 7 题）
- 5、课后习题 14.2（习题集第三部分第 8 题）
- 6、课后习题 14.3

还有 05-12 每年真题上的主应力法，要注意每个题目所用到的思路，并加以归类，考试时照搬套路就可以了。12 年倒数第 3 题和 11 年的最后一题，想研究的同学就看复习资料里“材料成形原理_大纲及本校上课参考教材”文件夹里的“金属塑性成形原理.pdf”这本电子书上第 3 章第五节（即 PDF 电子档 P129）。

● 塑性这一部分的问答题一般有下面几个主要的：

- 1、第一、第二不变量及物理意义
- 2、两屈服准则的公式和比较
- 3、塑性指标
- 4、应力-应变曲线简化模型（6 种）