

华中科技大学

二〇〇三招收硕士研究生入学考试试题

考试科目：材料成形原理

适用专业：材料成形及计算机应用

(除画图题外，所有答案都必须写在答题纸上，写在试题上及草稿纸上无效，考完后试题随答题纸交回)

注意：本试卷分 A、B、C 三部分，应试者从 A 卷任选 5 题，计 $15 \times 5 = 75$ 分；从 B 卷中任选 2 题，计 $25 \times 2 = 50$ 分；从 C 卷任选 1 题，计 25 分。总计 150 分。

A 卷（任选 5 题， $5 \times 15 = 75$ ）

一、简答题（ $3 \times 5 = 15$ 分）

- 1、液态合金流动性和充型能力有何本质区别？
- 2、为什么金属凝固时晶体的微观生长方式一般为树枝晶？
- 3、凝固热力学能障的本质是什么？
- 4、铸件宏观典型组织由哪几部分组成？
- 5、冷却速度多大时液态金属凝固成非晶结构？

二、何谓过冷度？为什么它是液态金属凝固的驱动力？（15 分）

三、铸件的凝固方式有哪几种？影响凝固方式的因素有哪些？凝固方式与铸件的质量有何关系？（15 分）

四、理想液态金属的结构与实际工业生产中的液态金属的结构有何不同？液态金属的结构与液态金属的凝固有何联系？（15 分）

五、举出二个细化凝固组织的工艺措施，并说明理由。（15 分）

六、低碳钢焊接热影响区的组织区域有哪几个？简述各个区域形成的原因。（15 分）

七、手工电弧焊可分成哪三个冶金反应区？分别依据其主要冶金条件，分析各个区的冶金特点。（15 分）

八、碱性焊条比酸性焊条有何主要冶金特点？简单地加以分析说明。（15 分）

九、两块长方形薄钢板沿长轴方向板边对接（手工电弧焊）可能产生哪几种变形？为什么？（15 分）

十、冷裂纹形成的三大因素是什么？分别说明其作用。（15 分）

十一、回答下列问题（15 分）

- （1）何谓冷变形？何谓热变形？
- （2）何谓变形织构？它对材料的性能有何影响？
- （3）晶粒度的大小对金属的塑性有何影响？

十二、回答下列问题（15 分）

- （1）何谓塑性指标？它是否具有普遍与绝对的意义？
- （2）应力状态对金属塑性有何影响？
- （3）何谓热塑性？

十三、试论述提高金属塑性的主要途径。（15 分）

十四、试论述金属塑性加工时摩擦的特点。（15 分）

十五、在注塑模的浇注系统中，圆形浇口的流量与压力降有以下近似公式：

$$q_v = \left(\frac{\pi R^4}{8L} \right) \left(\frac{1}{\eta_\alpha} \right) (\Delta P)$$

式中， q_v 为熔体的体积流量； R 为浇口半径； L 为浇口的长度； η_α 是熔体的表观

粘度，是剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的函数 $\eta_\alpha = K \dot{\gamma}^{n-1}$ ($0 < n < 1$)， K 为材料常数，随熔体温度的升高而减小； (ΔP) 为熔体经过浇口所产生的压力降。

试分析在 q_v 一定的情况下，浇口半径、浇口长度、注射温度等对注塑成型的影响。（15 分）

B 卷（任选 2 题，25×2=50 分）

一、（25 分）液态合金凝固时的热过冷和成分过冷有何本质区别？成分过冷对单相合金晶体的生长方式有何影响？晶体的生长方式与单相合金材质性能有何关系？

二、（25 分）灰铸铁和球铁各属何种凝固方式？在砂型铸造中灰铸铸件不需要设冒口，而球铁铸件必需设置较大的冒口，为什么？

三、（25 分）什么叫焊接脆性温度区（BTR）？试分析它对焊接热裂纹的作用。

四、（25 分）已知母材含 Mn 0.5%，熔合比为 0.4，焊丝含 Mn 0.45%，药皮重量系数 0.4，Mn 的过渡系数为 50%。若要求焊缝含 Mn 1.5%，药皮中应加入多少含 Mn 量为 80%的低碳锰铁？

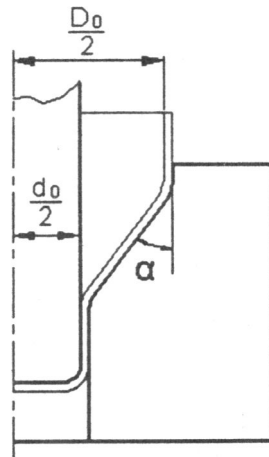
五、（25 分）计算下列各题。

（1）有一薄壁管，内径为 r ，壁厚为 t ，二端封闭，承受内压 p 。材料的初始屈服应力为 σ_s ，不计径向应力 σ_r ，试求出管子屈服时的 p 值？（10）

(2) 已知刚塑性变形体中某质点的应力张量为 $\begin{bmatrix} -60 & \sqrt{300} \\ \sqrt{300} & -30 \end{bmatrix}$ ，应变增量分量

$d\epsilon_x = -\delta$ ($\delta > 0$ 为一微量)，试求应变增量张量及塑性功增量密度？(15)

六、(25 分) 大圆筒拉深为小圆筒如右图所示，设变形只发生在工件的圆锥面上，锥面与轴线的夹角为 α ，不计接触面上的摩擦应力，且忽略凹模出口处的弯曲效应，圆筒的厚度 t 在拉深时保持不变，材料的真实应力为 S ，试用主应力法求拉深力。(注：如果做不出，可将大圆筒改为圆板坯，即求圆板坯拉深为圆筒件的拉深力，凸缘的外端直径为 D_0 ，其它条件保持不变。但是，这样做的满分为 17 分。)



C 卷（任选 1 题，25 分）

一、(25 分) 水平浇注 Al-2.0%Cu 合金长圆棒形铸件，使其沿轴线单向凝固，冷却速度使得固-液界面保持为平面生长。设 Cu 在固-液界面固相侧中不扩散，在液相侧中为有限扩散。

Al-Cu 二元状态图参数：Al 熔点 $T_{mAl} = 660^\circ\text{C}$ ，共晶温度 $T_E = 548^\circ\text{C}$ ，共晶点含 Cu 量

$C_E = 33\%$ ，Cu 在 Al 相中的最大固溶度 $C_{sm} = 5.56\%$ ，求：

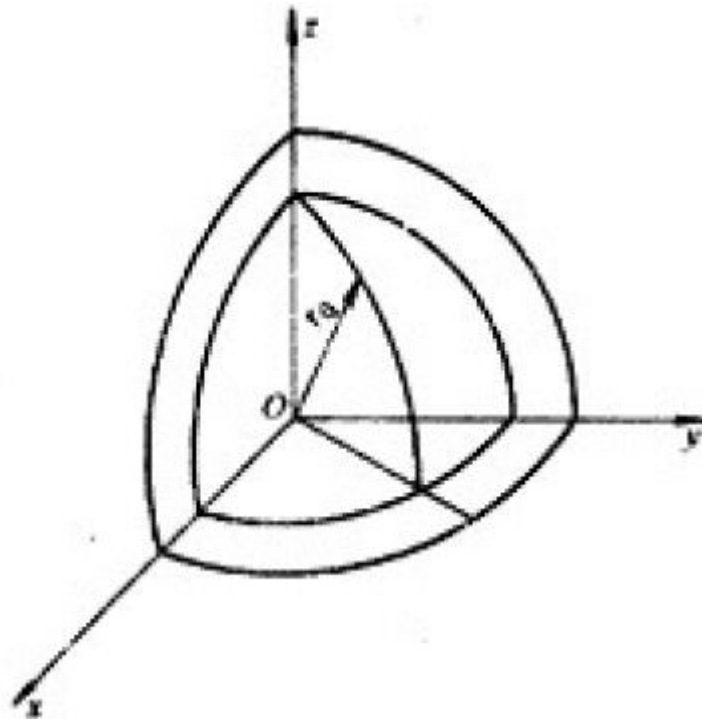
- 1、 C_0 ， K_0 ， m_L ；
- 2、该合金的熔点 T_0 ；
- 3、稳态结晶时固-液界面处液相侧 Cu 的含量及温度 $T_L(O)$ ；
- 4、画出沿圆棒长度方向 Cu 的分布曲线，并标明各特征值。

$$\left\{ C_L(x') = C_0 \left[1 + \frac{1-K_0}{K_0} \exp\left(-\frac{v}{D_L} x'\right) \right], T_L(x') = T_m - m_L C_L(x') \right\}$$

二、(25 分) 什么叫拘束度？试分析接头拘束度的物理意义及其对结构焊接的实际作用。

三、(25 分) 设有一球壳，用液压胀形。在某一变形瞬时，它的外径为 R_0 ，内径为 r_0 ，如右图所示。材料的真实应力为 S 。试做：

- (1) 设球壳内表面的质点沿径向运动的速率为 u_0 ，求出球壳在该瞬时的一种运动学容许的速度场及应变速率场。(10)
- (2) 试写出对应的上限法的基本方程。(5)
- (3) 设球壳的初始内径为 r_e ，求出球壳在该瞬时的等效应变场 $\bar{\epsilon}$ ？设球壳的胀形为体积变形，试写出球壳在该瞬时的真实应力场。(10)



华中科技大学

二〇〇四年招收硕士研究生入学考试试题

考试科目: 材料成形原理

适用专业: 材料加工工程

(除画图题外, 所有答案都必须写在答题纸上, 写在试题上及草稿纸上无效, 考完后试题随答题纸交回)

注意: 本试卷分 A、B、C、D 四部分, 其中 A 卷为必做题卷, 满分 75 分。B、C、D 卷为选做题卷, 各卷满分为 75 分。总计 150 分。

例如: A 卷(75 分)+B 卷(75 分)=150 分; 或: A 卷(75 分)+C 卷(75 分)=150 分;
或: A 卷(75 分)+D 卷(75 分)=150 分。

A 卷 (75 分)

一、名词解释 (2×8=16 分)

- 1、成分过冷 2、联生结晶 3、残余应力 4、流变铸造 5、定向凝固 6、析出性气孔
7、屈服准则 8、超塑性

二、填空题 (每空 1 分, 合计 18 分)

- 1、根据焊接工艺特点, 传统上将焊接方法分为: _____, _____, _____。
- 2、描述焊接热循环曲线的参数主要有: _____, _____, _____, _____。焊接热循环反映了 _____ 在热源作用下的 _____ 特点, 研究它对于了解焊接接头的 _____、_____ 等内容是十分重要的。
- 3、减小或消除残余应力的方法有 _____, _____, _____。
- 4、润湿角是衡量界面张力的标志, 润湿角 $\theta \geq 90^\circ$, 表明液体 _____ 润湿固体。
- 5、晶体结晶时, 有时会以枝晶生长方式进行。此时固液界面前液体中的温度梯度 _____。
- 6、灰铸铁凝固时, 其收缩量远小于白口铁或钢, 其原因在于 _____。
- 7、共晶合金组织中的层片间距与凝固速率的 _____ 成反比。

卷编号: 448

共 3 页
第 1 页

三、简述题 (41 分)

- 1、何谓塑性指标？他是否具有普遍与绝对的意义？（5 分）
- 2、试论述提高金属塑性的主要途径。（10 分）
- 3、试论述摩擦对金属塑性加工的影响。（9 分）
- 4、液态金属的结构如何？（4 分）
- 5、影响液态金属界面张力的主要因素是什么？（4 分）
- 6、液态金属的流动性和充型能力有何异同？（4 分）
- 7、简述焊接时加热和加压的作用？（5 分）

B 卷：塑性力学 (75 分)

一、(25 分) 如图 1 所示，圆板料拉深为圆筒件，设板厚为 t ，材料的真实应力为 σ 。不计接触面上的摩擦，且忽略凹模口处的弯曲效应，试用主应力法求图示瞬间的拉深力。

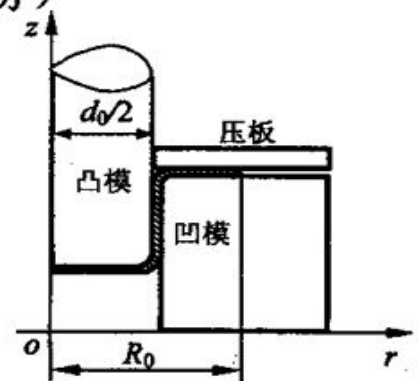


图 1

二、(15 分) 一薄壁球壳，半径为 R ，壁厚为 $t \ll R$ ，承受内压 p ，屈服应力为 σ_s ，试用 Mises 屈服准则求屈服时的 p 值？不计径向应力 σ_r ，即设 $\sigma_r = 0$ 。

三、(20 分) 设 p 点为刚塑性的轴对称变形体中的一点，点 p 处的屈服应力为 σ_s ， $\sigma_r = \sigma_s/2$ ，塑性功增量密度为 $\sigma_s \delta$ ($\delta > 0$ 为一微量)。已知在点 p 的领域内，径向位移增量 $du_r = \frac{\delta}{2} r$ ，试求 p 点处的应力张量？

(提示：塑性功增量密度 $dW^p = \sigma_s \bar{d}\epsilon$)

四、(15 分) 已知平面应变拉深时，凸模向下运动的速率为 u_0 。在板料的圆角区域中任取一点 P ， $OP = \rho$ 。过点 P 作一局部正交坐标系 $P-nly$ ，如图 2 所示。试做：

- (1) (8 分) 二个直角坐标系 $P-nly$ 与 $O-xzy$ 之间的坐标变换矩阵 Q ？(提示： $Q_{ij} = e_i \cdot g_j$)
- (2) (7 分) 已知在直角坐标系 $O-xzy$ 中，点 P 的应变速率为

$$\dot{\epsilon}_x = -\frac{u_0}{2\rho} \sin \alpha, \quad \dot{\epsilon}_z = \frac{u_0}{2\rho} \sin \alpha, \quad \dot{\epsilon}_y = 0$$

$$\dot{\epsilon}_{xz} = \frac{u_0}{2\rho} \cos^2 \alpha, \quad \dot{\epsilon}_{xy} = \dot{\epsilon}_{zy} = 0$$

试由张量变换规律求 $\dot{\epsilon}_{nl}$ 。

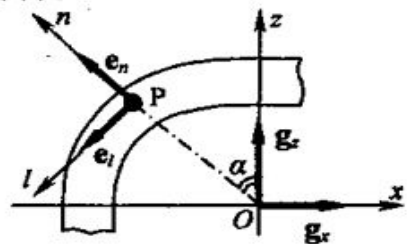


图 2

试卷编号：448

共 3 页
第 2 页

C 卷：焊接（75 分）

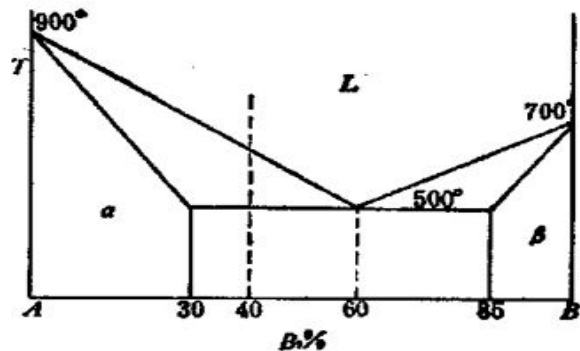
- 一、（20 分）试述影响热裂纹形成的因素及防止措施。
- 二、（20 分）以低碳钢为例，试述焊接热影响区的组织与性能的变化。
- 三、（20 分）什么是熔合比？试分析手工电弧焊时，熔合比对焊缝成分的影响。
- 四、（15 分）简述焊接熔池的凝固组织形态，并分析结晶速度、温度梯度和溶质浓度对组织形态的影响。

D 卷：液态金属凝固学（75 分）

- 一、（25 分）假设液体在凝固时均质形核，所形成的临界晶核分别是半径为 r^* 的球形和边长为 a^* 正方体形状：
 1. 分别求临界晶核半径 r^* 、临界晶核边长 a^* 、临界晶核形成功 ΔG^* 之表达式。
 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。

- 二、（25 分）某二元合金系的相图如下。现将含 B40% 的合金置于长度为 L 的长瓷舟中保持为液态，并从一端缓慢地凝固。温度梯度大到足以使固—液界面为平面，当固相无扩散而液相充分混合时，求：

1. 凝固 10% 时，固液界面的 C_s 和 C_L 。
2. 凝固完毕，共晶体所占比例。
3. 画出凝固后的试棒图，标明共晶体的分布位置，并作出试棒中溶质 B 的浓度分布曲线。
4. 如果凝固条件现改为完全平衡凝固，凝固后试棒中共晶体的数量有多少？



- 三、（25 分）何时谓平面生长、胞状生长、树枝状生长？单相合金凝固时，晶体以平面生长、胞状生长、树枝状生长的条件是什么？

华中科技大学

二〇〇五招收硕士研究生入学考试试题

考试科目：材料成形原理

适用专业：材料加工工程

(除画图题外，所有答案都必须写在答题纸上，写在试题上及草稿纸上无效，考完后试题随答题纸交回)

注意：本试卷分 A、B、C、D 四部分，其中 A 卷为必作题卷，B、C、D 卷为选作题卷(任选其中一卷)，各卷满分为 75 分，总分 150 分。

例如：A 卷(75 分)+B 卷(75 分)=150 分；或：A 卷(75 分)+C 卷(75 分)=150 分
或：A 卷(75 分)+D 卷(75 分)=150 分。

A 卷(75 分)

一、名词解释(2×5=10 分)

1.非均质形核；2.成分过冷；3.定向凝固；4.反应性气孔；5.带状偏析

二、简述题(8×5=40 分)

- 1.影响液态金属界面张力的主要因素是什么？
- 2.单相合金平面生长的条件是什么？
- 3.防止凝固组织产生缩孔缩松的途径主要有哪几种？
- 4.为什么使用碱性焊条比酸性焊条对工件表面铁锈 ($\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 更敏感？
- 5.如何消除焊件内部的残余应力？
- 6.熔焊接头和钎焊接头在连接机理上有何区别？
- 7.焊接工艺参数 (有效热功率 q 和焊接速度 v) 对低碳钢薄板焊接 (平对接焊缝) 的温度场有何影响？
- 8.低碳钢焊缝的室温组织是什么？

三、(6分) 何谓一阶张量? 何谓二阶张量? 2794882380

四、(6分) 何谓塑性指标, 它是否具有普遍与绝对的意义?

五、(6分) 试写出计算摩擦应力的两个常用公式。

六、(7分) 在金属塑性加工的理论分析中, 常将实际的金属材料分成哪几种材料模型? 并画出对应的真实应力—应变曲线的示意图。

B 卷(75 分)

焊 接

(分析计算题)

一、(20分) 已知焊条药皮质量系数为 0.4, 焊丝含 Mn 量为 9%, 其过渡系数为 0.8, 母材含 Mn 量为 1.5%, 熔合比为 0.2。要求焊缝中 $Mn \geq 12\%$ 以确保其耐磨性能, 药皮中要加入多少含 Mn 量为 75% 的锰铁合金粉?

二、(20分) 在焊接工艺中, 合金化的目的是什么? 常采用哪几种合金化方式?

三、(20分) 16Mn 焊接 HAZ 的组织区域有哪几种? 分别分析它们的形成条件。

四、(15分) 焊缝金属中, 氢的影响主要体现在哪几个方面? 如何减少焊缝金属中氢的含量?

C 卷(75 分)

金属塑性成形力学

四、(21分) 试从等效应力 $\bar{\sigma}$ 的定义式出发, 证明:

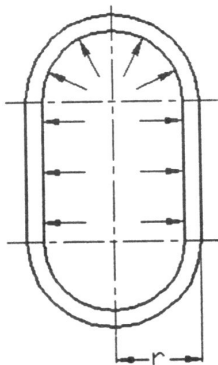
$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij}}$$

式中, σ'_{ij} 是应力偏张量。

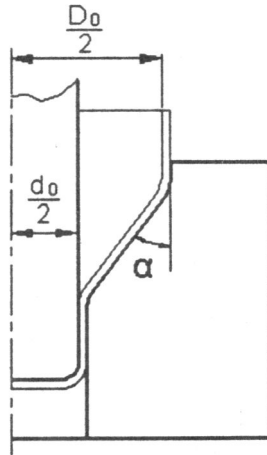
二、(33分) 设有薄壁圆筒, 半径为 r , 两端面是半径为 r 的薄壁半球壳, 设壁厚全部为 $t \ll r$, 承受内压 P , 如下图所示。设圆筒为 Mises 刚塑性材料, 屈服应力为 σ_s 。试求:

(1) 忽略径向应力 σ_r , 确定圆筒与半球壳哪一部分先屈服?

(2) 设屈服时的塑性功率密度为 $c(c > 0)$, 试求对应的应变速率张量?



- 三、(21 分)大圆筒拉深为小圆筒，如下图所示。设变形只发生在工件的圆锥面上，锥面与轴线的夹角为 α ，不计接触面上的摩擦应力，且忽略凹模出口处的弯曲效应，圆筒的厚度为 t 且在拉深时保持不变，设材料的真实应力为 s ，试用主应力法求拉深力。



D 卷(75 分)

液态金属凝固学

- 一、(15 分)细化凝固组织的生核剂主要有哪几类，其生核作用的机理分别是什么？
- 二、(20 分)用 Al-10%Cu 合金浇注一水平细长试棒，使其自左至右单向凝固，并保持固-液界面为平面，当固相无 Cu 的扩散，液相中 Cu 均匀混合时，求：
- (1) 凝固 20%时，固液界面的 C_s^* 和 C_L^* 。
 - (2) 凝固完毕，共晶体所占比例。
 - (3) 如果凝固条件现改为完全平衡凝固，凝固后试棒中共晶体的数量有多少？

(Al-Cu 合金相图的主要参数： $C_E = 33.0\%Cu$ ， $C_{sm} = 5.7\%Cu$ ， $T_m = 660^\circ C$ ，

$T_E = 548^\circ C$ 。)

- 三、(20 分)何谓热力学能障和动力学能障？凝固过程是如何克服这两个能障的？
- 四、(20 分)试述析出性气孔的特征、形成机理及主要防止措施。

华中科技大学

二〇〇五年招收硕士研究生入学考试试题答案

考试科目：材料成形原理

适用专业：材料加工工程

A 卷

一、名词解释

1. 非均质形核——依靠外来夹杂或型壁界面所提供的异质界面非自发地形核，称为异质形核，或非均质形核。
2. 成分过冷——由固—液界面前方溶质的再分配引起的过冷。
3. 定向凝固——又称定向结晶，是使金属或合金在熔体中定向生长晶体的一种工艺方法。
4. 反应性气孔——金属液和铸型之间或在金属液内部发生化学反应所产生的气孔，称为反应性气孔。
5. 带状偏析——在铸锭或厚壁铸件中出现的和凝固液出界面相平行的偏析，有时是连续出现，有时则是间断的。

二、简述题

1. 影响液态金属界面张力的主要因素是什么？

影响液态金属界面张力的主要因素是：(1)金属的熔点，金属的熔点、沸点越高，则表面张力往往就越大；(2)温度，大多数金属和合金的表面张力随温度升高而降低，但对铸铁、碳钢、铜及其合金则相反。(3)溶质元素，表明活性元素降低界面张力，非表明活性元素增加表面张力、

2. 单相合金平面生长的条件是什么？

单相合金平面生长的条件是：
$$\frac{G_L}{v} \geq \frac{m_L C_0 (1 - k_0)}{D_L k_0}$$

3. 防止凝固组织产生缩孔缩松的途径主要有哪几种？

防止凝固组织产生缩孔缩松的途径主要有：(1)定向凝固或同时凝固；(2)调整浇注温度和浇注速度；(3)冒口、补贴和冷铁的应用；(4)加压补缩。

4. 为什么使用碱性焊条比酸性焊条对工件表面铁锈（ $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）更敏感？

碱性焊条属低氢型焊条，这类焊条的熔渣不具备氧化性，一旦有氢侵入熔池，将很难脱出，而酸性焊条的熔渣有一定的氧化性，可以起脱氢的作用。因此，碱性焊条比酸性焊条对工件表面铁锈（ $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）更敏感

5. 如何消除焊件内部的残余应力？

可采用热处理、锤击和振动等方法消除焊件内部的残余应力

6. 熔焊接头和钎焊接头在连接机理上有何区别？

熔焊接头与钎焊接头均采用热能实现不可拆卸的焊接接头，但钎焊时仅钎料熔化，而母

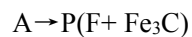
材不熔化，在连接处一般不易形成共同的晶粒，只是依靠液态钎料润湿母材表面，二者相互扩散而形成钎焊接头

7. 焊接工艺参数（有效热功率 q 和焊接速度 v ）对低碳钢薄板焊接（平对接焊缝）的温度场有何影响？

当热源的有效热功率 q 一定时，焊接速度 v 越大，某一温度的等温线所包围的范围显著缩小；当焊接速度 v 一定，随 q 的增大，一定温度的等温线所包围的范围显著增大；当 q/v 保持一定，即线能量 E 为常数时，同时增大 q 和 v ，此时等温线在热源移动方向会伸长，而在宽度方向变化较小。

8. 低碳钢焊缝的室温组织是什么？（5分）

低碳钢焊缝碳含量较低，高温奥氏体固态相变后得到铁素体加珠光体组织。固态相变时首先沿奥氏体晶界析出共析铁素体，然后发生共析反应



式中的 A 是奥氏体； P 是珠光体； F 是铁素体； Fe_3C 是渗碳体。焊缝金属过热时，还会出现魏氏组织，即铁素体在奥氏体晶界呈网状析出，或在奥氏体晶内沿一定方向析出的呈长短不一的针状或片条状脆性组织。

三、何谓一阶张量？何谓二阶张量？

① 一阶张量 u ，有三个分量，分量随坐标变换的规律为

$$u'_i = Q_{ij} u_j, \quad u_i = Q_{ji} u'_j$$

式中， u'_i 和 u_i 分别是一阶张量 u 在新、旧坐标系中的分量，而 $\{Q_{ij}\}$ 是坐标变换矩阵。

② 二阶张量 T ，它有9个分量，分量随坐标变换的规律为

$$T'_{ij} = Q_{im} Q_{jn} T_{mn}, \quad T_{ij} = Q_{mi} Q_{nj} T'_{mn}$$

式中， T'_{ij} 和 T_{ij} 分别是二阶张量 T 在新、旧坐标系中的分量。

四、何谓塑性指标，它是否具有普遍与绝对的意义？

为了衡量材料塑性的好坏, 需要有一种数量上的指标, 称为塑性指标。塑性指标用材料开始破坏时的塑性变形量来表示, 借助于各种试验方法来测定。

由于各种试验方法都是相对于特定的受力状态和变形条件的, 由此所测定的塑性指标仅具有相对的和比较的意义。它们说明, 在某种受力状态和变形条件下, 哪种金属的塑性好, 哪种金属的塑性低, 或者对于同一种金属, 在何种变形条件下塑性好, 而在何种变形条件下塑性低。

五、试写出计算摩擦应力的两个常用公式。

在金属的塑性加工中, 计算摩擦应力的二个常用公式是:

①库伦摩擦定律, 接触面上的摩擦应力 τ_f 为

$$\tau_f = \mu \sigma_n$$

式中, μ 是库伦摩擦系数, σ_n 是作用在质点上的法向应力。

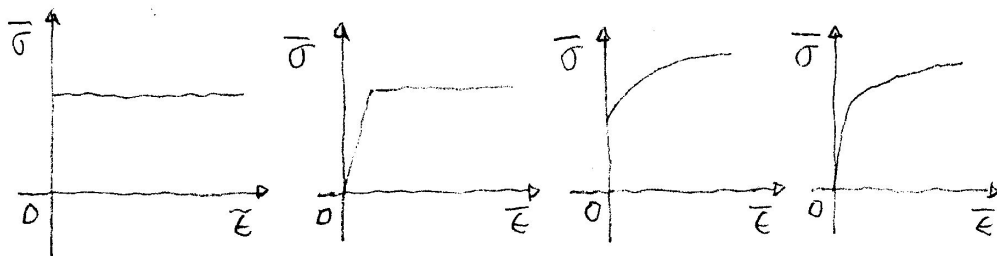
② 常摩擦力条件, 接触面上的摩擦应力 τ_f 为

$$\tau_f = mK = m\sigma_s / \sqrt{3}$$

式中, m 是摩擦因子, K 是剪切屈服应力。

六、在金属塑性加工的理论分析中, 常将实际的金属材料分成哪几种材料模型? 并画出对应的真实应力—应变曲线的示意图。

在金属塑性加工的理论分析中, 常将实际的金属材料分成四种材料模型: 理想刚塑性、理想弹塑性、硬化刚塑性和硬化弹塑性。它们的真实应力—应变曲线分别表示如下:



1) 理想刚塑性 2) 理想弹塑性 3) 硬化刚塑性 4) 硬化弹塑性

B 卷
焊 接
(分析计算题)

第一题

答题关键点:

设, C_d 为合金元素在熔敷金属中的含量; C_e 为合金元素的原始含量; C_{ew} 为合金元素在焊丝中的含量; C_{co} 为合金元素在药皮中的含量; K_b 为焊条药皮的质量系数, 即单位长度焊条中药皮质量与焊芯质量之比。过渡系数为:

$$\eta = \frac{C_d}{C_e} = \frac{C_d}{C_{ew} + K_b C_{co}}$$

若考虑合金元素在焊接中的损失, 则焊缝金属中某合金元素的实际浓度 C_w 为

$$C_w = \theta \cdot C_b + (1 - \theta) C_d$$

θ 为熔合比, C_b 为某元素在母材中的质量分数, C_d 为熔敷金属(即真正过渡到熔池中去的那部分焊条金属)中某元素的质量分数。

$$0.2 \times 1.5\% + (1 - 0.2) \times C_d \geq 12\%$$

$$C_d \geq 14.6\%$$

$$0.8 \times (C_{cw} + 0.4 \times C_{co}) = C_d$$

$$C_{co} \geq 23.2\%$$

含 Mn 量为 75% 的锰铁合金粉的量 $\geq (23.2\%) / (75\%) = 31\%$

第二题

答题关键点:

合金化的目的首先是为了补偿在高温下金属由于蒸发或氧化等造成的损失。其次是为了消除缺陷, 改善焊缝金属的组织与性能, 或为了获得具有特殊性能酌堆焊金属。如用堆焊的方法过渡 Cr、Mo、W、Mn 等合金元素, 使工件表面具有耐磨性、热硬性、耐热和耐蚀等性能。常用的合金化方式有:

(1) 通过合金焊丝或带极, 把所需的合金元素加入焊丝或带极内。

(2) 通过药芯焊丝或药皮(或焊剂), 把所需合金元素以铁合金或纯金属的形式加入药芯焊丝的药芯内或焊条药皮(或焊剂)内。

(3) 通过合金粉末, 将合金元素按比例配制成具有一定粒度的合金粉末, 把它送入焊接区或直接涂敷在焊件表面。

此外, 还可以通过从金属氧化物中还原金属的方式(如锰、硅的还原反应)来合金化, 但这种合金化的程度有限, 并还会造成焊缝的增氧。

第三题

答题关键点:

16Mn 为不易淬火的低合金钢。HAZ 分为四个区。

(1) 熔合区, 是焊缝与母材相邻的部位, 最高温度处于固相线与液相线之间。所以又称为半熔化区。此区虽然较窄、但是, 由于晶界与晶内局部熔化, 成分与组织不均匀分布, 过热严重, 塑性差, 所以是焊接接头的薄弱环节。

(2) 过热区, 过热区的温度范围处于固相线到 1100°C 左右。由于加热温度高, 奥氏体过热, 晶粒严重长大, 故又称之为粗晶区。焊后冷却时, 奥氏体相变产物也因晶粒粗化使塑性、韧性下降, 慢冷时还会出现魏氏组织。过热区也是焊接接头的薄弱环节。

(3) 相变重结晶区(正火区), 该区母材已完全 A 化, 该区处于 $1100^{\circ}\text{C} - \text{Ac}_3$ (约 900°C) 之间。由于奥氏体晶粒细小, 空冷后得到晶粒细小而均匀的珠光体和铁素体, 相当于热处理时的正火组织。因此, 其塑性和韧性很好。

(4) 不完全重结晶区, $\text{Ac}_1 - \text{Ac}_3$ 范围内的 HAZ 属于不完全重结晶区。由于部分母材组织发生相变重结晶 $\text{F} + \text{P} \rightarrow \text{A}$, 且奥氏体晶粒细小, 冷却转变后得到细小的 $\text{F} + \text{P}$, 而未奥氏体化的 F 受热后长大, 使该晶粒大小、组织分布不均匀, 虽然受热不严重但性能不如相变重

结晶区。

第四题

答题关键点：

氢的影响主要体现在 4 个方面，即：氢脆、白点、气孔和冷裂纹。

减少氢含量的主要措施有：限制氢的来源、冶金处理脱氢、控制熔池存在的时间和冷却速度、焊后加热工件脱氢。

C 卷(75 分) 金属塑性成形力学

第一题：

$$\text{证： } \sigma_x - \sigma_y = (\sigma_x' + \sigma_m) - (\sigma_y' + \sigma_m) = \sigma_x' - \sigma_y'$$

$$\text{同理 } \sigma_y - \sigma_z = \sigma_y' - \sigma_z', \quad \sigma_z - \sigma_x = \sigma_z' - \sigma_x'$$

于是有

$$\begin{aligned} & (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \\ &= (\sigma_x' - \sigma_y')^2 + (\sigma_y' - \sigma_z')^2 + (\sigma_z' - \sigma_x')^2 \\ &= 2\sigma_x'^2 + 2\sigma_y'^2 + 2\sigma_z'^2 - 2\sigma_x'\sigma_y' - 2\sigma_y'\sigma_z' - 2\sigma_z'\sigma_x' \\ &= 3\sigma_x'^2 + 3\sigma_y'^2 + 3\sigma_z'^2 - \sigma_x'(\sigma_x' + \sigma_y' + \sigma_z') \\ & \quad - \sigma_y'(\sigma_x' + \sigma_y' + \sigma_z') - \sigma_z'(\sigma_x' + \sigma_y' + \sigma_z') \\ &= 3\sigma_x'^2 + 3\sigma_y'^2 + 3\sigma_z'^2 \end{aligned}$$

由 $\bar{\sigma}$ 的定义及上式可得

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{2} \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \}$$

$$\begin{aligned}
 & + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \} \\
 & = \frac{1}{2} \{ 3(\sigma_x'^2 + \sigma_y'^2 + \sigma_z'^2) + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2) \} \\
 & = \frac{3}{2} \{ \sigma_x'^2 + \sigma_y'^2 + \sigma_z'^2 + 2(\sigma_{xy}'^2 + \sigma_{yz}'^2 + \sigma_{zx}'^2) \} \\
 & = \frac{3}{2} \sigma_{ij}' \sigma_{ij}'
 \end{aligned}$$

故 $\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma_{ij}' \sigma_{ij}'}$ 证毕

第二题:

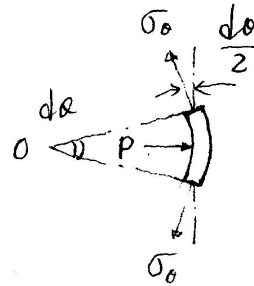
解: (1) 圆筒:

沿径向的静力平衡方程

式为

$$p r d\theta - 2 \sigma_r t \sin \frac{d\theta}{2} = 0$$

设 $\sigma_r = \frac{r}{t} p$



沿轴向的静力平衡方程式为

$$\sigma_z 2\pi r t - p \pi r^2 = 0$$

13
$$\sigma_z = \frac{r}{2t} p \approx \frac{1}{2} \sigma_\theta$$

$$\bar{\sigma}^{(1)} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}$$

$$\approx \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sigma_\theta^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + \sigma_z^2}$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sigma_\theta^2 + \frac{1}{4} \sigma_\theta^2 + \frac{1}{4} \sigma_\theta^2} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_\theta = \frac{\sqrt{3} r}{2 t} p$$

半球面:

沿径向的静力平衡方程式为

$$p(r d\theta)^2 - 4 \sigma_\theta (r d\theta) t \sin \frac{d\theta}{2} = 0$$

13
$$\sigma_\theta = \frac{r}{2t} p$$

2p
$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_\theta, \sigma_3 = \sigma_r = 0$$

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}^{(2)} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \\ &\approx \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_1^2} = \sigma_1 = \sigma_\theta = \frac{r}{2t} p < \bar{\sigma}^{(1)}\end{aligned}$$

因此, 圆筒先屈服。这时, $p = 2t \sigma_s / \sqrt{3} r$ 。

(2) 由 $\dot{w} = \sigma_s \dot{\varepsilon} = C$, 可设

$$\dot{\varepsilon} = \frac{C}{\sigma_s}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z) = \frac{1}{3}(\sigma_\theta + \frac{1}{2}\sigma_\theta)$$

$$= \frac{1}{2}\sigma_\theta = \sigma_z$$

于是有

$$\sigma_r' = \sigma_r - \sigma_m = -\frac{1}{2}\sigma_\theta$$

$$\sigma_\theta' = \sigma_\theta - \sigma_m = \frac{1}{2}\sigma_\theta$$

及

$$\sigma_z' = \sigma_z - \sigma_m = 0$$

$$\text{又} \quad \sigma^{(1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_\theta = \sigma_s$$

$$\text{设} \quad \sigma_\theta = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s$$

由此可得

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_r &= \frac{3\dot{\varepsilon}}{2\sigma} \sigma_r' = \frac{3\dot{\varepsilon}}{2\sigma_s} \left(-\frac{1}{2} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \right) \\ &= -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon} = -\frac{\sqrt{3}C}{2\sigma_s} \end{aligned}$$

$$\dot{\varepsilon}_\theta = \frac{3\dot{\varepsilon}}{2\sigma} \sigma_\theta' = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon} = \frac{\sqrt{3}C}{2\sigma_s}$$

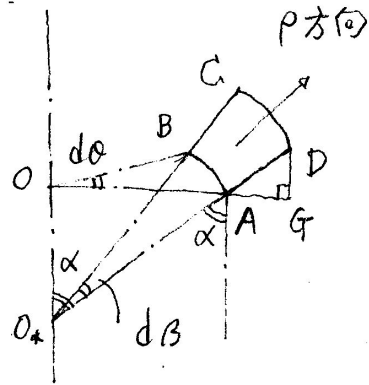
$$\dot{\varepsilon}_z = 0$$

$$\text{及} \quad \dot{\varepsilon}_{rz} = \dot{\gamma}_{rz} = 0$$

第三题:

解：用两个夹角为 $d\theta$

的子午面及两个赤道筒作共
轴线且垂直工件的圆锥面
的圆锥面截取一个单元块
ABCD，如右图所示。



已知 $OA = r$, $AG = dr$ 。

由几何关系可得

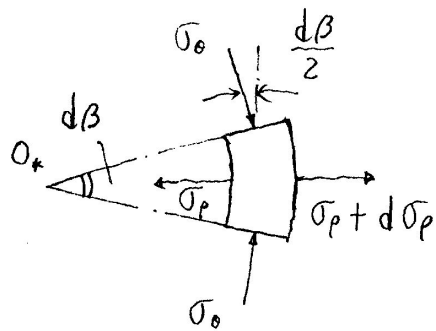
$$O_1A = \frac{OA}{\sin \alpha}$$

$$\widehat{AB} = OA d\theta \approx O_1A d\beta$$

故 $d\beta = \sin \alpha d\theta$

及 $AD = dl = \frac{AG}{\sin \alpha}$

$$= \frac{dr}{\sin \alpha}$$



沿 ρ 方向的静力平衡方程式为

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr) d\theta t - \sigma_r r d\theta t + 2\sigma_\theta \frac{dr}{\sin \alpha} t \sin \frac{d\theta}{2} = 0$$

展开并忽略高阶微量, 可得

$$d\sigma_r r + \sigma_r dr + \sigma_\theta dr = 0$$

$$\text{即} \quad d\sigma_r = -(\sigma_r + \sigma_\theta) \frac{dr}{r}$$

由于 σ_r 是拉应力, σ_θ 是压应力, 故 $\sigma_1 = \sigma_r$, $\sigma_3 = -\sigma_\theta$, 近

似塑性条件为

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_r - (-\sigma_\theta) = \sigma_r + \sigma_\theta = \beta S$$

$$\text{故} \quad d\sigma_r = -\beta S \frac{dr}{r}$$

积分上式得

$$\sigma_r = -\beta S \ln r + C$$

当 $r = D_0/2$ 时, 有

$$\sigma_r = -\beta S \ln \frac{D_0}{2} + C = 0$$

$$\text{设} \quad C = \beta S \ln \frac{D_0}{2}$$

$$\text{故} \quad \sigma_r = \beta S \ln \frac{D_0}{2r}$$

由此, 拉深力 P 为

$$P = \pi d_0 t \sigma_r|_{r=d_0/2} = \pi d_0 t \beta S \ln \frac{D_0}{d_0} \quad \circ$$

D 卷答案

液态金属凝固学

一. 细化凝固组织的生核剂主要有哪几类, 其生核作用的机理分别是什么?

答案要点:

加入生核剂的目的是强化非均质形核。根据生核质点的作用过程，生核剂主要有以下四类：

(1) 直接作为外加晶核的生核剂，这种生核剂通常是与欲细化相具有界面共格对应的高熔点物质或同类金属、非金属碎粒。它们与欲细化相间具有较小的界面能，润湿角小，直接作为有效衬底促进非自发生核。

(2) 生核剂中的元素能与液态金属中的某元素形成较高熔点的稳定化合物，这些化合物与欲细化相间具有界面共相对应关系和较小的界面能，促进非均质生核。

(3) 通过在液相中造成很大的微区富集而造成结晶相通过非均质形核而提前弥散析出的生核剂，其余以此为基底形核，易为共晶析出。

(4) 含强成分过冷元素的生核剂，这类生核剂使晶粒根部或分枝，产生缩颈，易于通过熔体流动及冲击产生晶粒的游离；强化界面前沿熔体内部的非均质形核；强成分过冷元素的界面富集对晶体生长具有抑制作用，降低晶体生长速度，也使晶粒细化。

二、解答步骤

(1) 根据题目提供的 Al-Cu 相图参数可知：

$$C_{sm} = 5.7\%, C_E = 33\%$$

$$k_0 = \frac{C_{sm}}{C_E} = \frac{5.7\%}{33\%} = 0.173$$

当凝固 20% 时， $f_s = 20\%$, $f_L = 80\%$, $C_0 = 10\%$

$$C_s^* = k_0 C_0 (1 - f_s)^{k_0 - 1} = 0.173 \times 10\% (1 - 20\%)^{0.173 - 1} = 2.08\%$$

$$C_L^* = C_0 f_L^{k_0 - 1} = 10\% \times 80\%^{0.173 - 1} = 12.03\%$$

(2) 共晶体所占比例为 C_s^* 为 C_{sm} 时的 f_L'

$$C_{sm} = k_0 C_0 (1 - f_s')^{k_0 - 1} = k_0 C_0 f_L'^{k_0 - 1}$$

$$\text{故： } f_L' = \left(\frac{C_{sm}}{k_0 C_0} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} = \left(\frac{5.7\%}{0.173 \times 10\%} \right)^{\frac{1}{0.173 - 1}} = 23.63\%$$

即凝固完毕时，共晶体所占比例为：23.63%

(3) 若凝固条件改为完全平衡凝固，当 $C_s^* = C_{sm} = 5.7\%$ 时，未凝固的 f_L 即全为共晶体。

$$C_s = \frac{k_0 C_0}{1 - f_s(1 - k_0)}$$

$$5.7\% = \frac{0.173 \times 10\%}{1 - f_s \times (1 - 0.173)}$$

$$f_s = 84.22\%$$

$$f_L = 15.78\%$$

凝固后试棒中共晶体的数量为 15.78%。

三、何谓热力学能障和动力学能障？凝固过程使如何克服这两个能障的？

答案要点：

热力学能障——由被迫处于高自由能过渡状态下的界面原子所产生，能直接影响到体系自由能的大小，界面自由能即属于这种情况。

动力学能障——由金属原子穿越界面过程所引起，原则上与驱动力的大小无关而仅取决于界面的结构与性质，激活自由能即属于这种情况。

热力学能障对生核过程影响很大，动力学能障在晶体生长过程中则具有重要的作用。液态金属凝固过程中必须克服热力学和动力学两个能障。

液态金属在成分、温度、能量上是不均匀的，即存在成分、相结构和能量三个起伏，也正是这三个起伏才能克服凝固过程中的热力学能障和动力学能障，使凝固过程不断地进行下去。

凝固过程中产生的固—液界面使体系自由能增加，导致凝固过程不可能瞬时完成，也不可能同时在很大范围内进行，只能逐渐地形成晶核生长，逐渐地克服两个能障，才能完成液体到固体的转变。同时，界面的特征及形态又影响着晶体的形核和生长。也正是由于这个原因，使高能态的界面范围尽量缩小，至凝固结束时成为范围很小的晶界。

四、试述析出性气孔的特征、形成机理及主要防止措施。

答案要点：

金属液在冷却及凝固过程中，因气体溶解度下降，析出的气体来不及从液面排除而产生的气孔称为析出性气孔。

这类气孔在铸件断面上大面积分布，靠近冒口、热节等温度较高的区域，其分布较密集，形状呈团球形，裂纹多角形，断续裂纹状或混合型。

析出性气孔的形成机理是：合金凝固时，气体溶解度急剧下降，由于溶质的再分配，在固—液界面前的液相中气体溶质富集，当其浓度过饱和时，产生很大的析出动力，在现成的衬底上气体析出，形成气泡，保留在铸件中成为析出性气孔。

防止措施：

- (1) 减少金属液的原始含气量(减少金属液的吸气量、对金属液进行除气处理)；
- (2) 阻止金属液气体析出(提高冷却速度、提高铸件凝固时的外压)；
- (3) 型(芯)砂处理(减少砂型(芯)在浇注时的发气量、使砂型(芯)易于排气)

华中科技大学

二〇〇六招收硕士研究生入学考试试题

考试科目：材料成形原理

适用专业：材料加工工程、数字化材料成形

(除画图题外，所有答案都必须写在答题纸上，写在试题上及草稿纸上无效，考完后试题随答题纸交回)

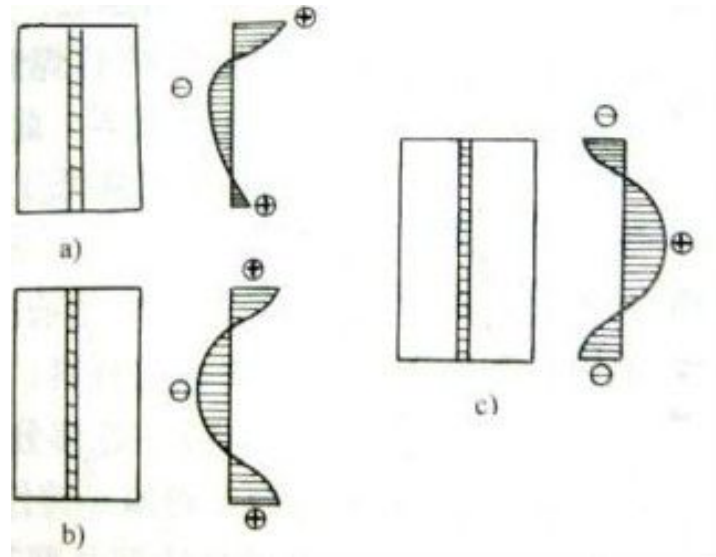
注意：本试卷分 A、B、C、D 四部分，其中 A 卷为必作题卷，B、C、D 卷为选作题卷(任选其中一卷)，各卷满分为 75 分，总分 150 分。

例如：A 卷(75 分)+B 卷(75 分)=150 分；或：A 卷(75 分)+C 卷(75 分)=150 分
或：A 卷(75 分)+D 卷(75 分)=150 分。

A 卷(75 分)

简述题

1. (5 分) 为什么过冷度是液态合金结晶的驱动力？
2. (5 分) 液态合金的流动性和充型能力有何本质区别？
3. (5 分) 什么样的界面才能成为异质形核的衬底？
4. (5 分) 何谓析出性气孔，有何特征？
5. (5 分) 生产中如何防止密度偏析的形成？
6. (10 分) 简述产生焊接应力与变形的原因及消除或减少残余应力与变形的方
法。
7. (9 分) 简述低碳钢焊接时氧与金属作用的特点及其对焊接质量的影响。
8. (6 分) 下图是不同焊接顺序时焊缝横向收缩引起的横向应力分布。试写出各图
的焊接方向或顺序。(注：图在下页)
9. (6 分) 何谓塑性加工？它有何优点？
10. (7 分) 简述塑性变形的基本力学方程有哪几种？其作用如何？
11. (6 分) 试写出摩擦应力计算的两种常用公式，并说明在塑性加工中的应用条
件。
12. (6 分) 写出两种屈服准则的数学表达式，并说明其物理意义。



(A 卷第 8 题图)

B 卷(75 分)

焊 接

- 5、(15 分) 堆焊时，设母材含 Mn 量为 1%，熔敷金属含 Mn 量为 15%，熔合比为 0.5，要求焊缝金属含 Mn 量不小于 13%。问：什么是熔合比？应堆焊多少层才能满足焊缝中 Mn 含量的要求(写出计算步骤)？
- 6、(25 分) 试述氢致裂纹的特点、形成机理及防止措施。
- 7、(20 分) 试述焊接低碳调质钢时，热影响区组织分布及性能变化的特点。
- 8、(15 分) 根据熔渣的成分和性能，焊接时的熔渣有哪几种类型？试述熔渣的主要作用。

C 卷(75 分)

金属塑性成形力学

1. (18 分) 设有一高为 H 的圆柱体，先均匀拉深到 $2H$ ，再均匀压缩为 H ，设在变形过程中体积不变，试分别求出这二个阶段的对数应变、等效对数应变及最终的对数应变、等效对数应变。
2. (18 分) 一薄壁管，内径 $\Phi 80\text{mm}$ ，壁厚 4mm ，承受内压 p ，材料的屈服应力为 200MPa ，假定管壁上的径向应力 $\sigma_r \approx 0$ 。试用 Mises 屈服准则分别求出下列情况下管子屈服时的 p ：a) 管子两端自由；b) 两端封闭。
3. (18 分) 已知刚塑性变形体中的某质点处的平面应力张量为 $\begin{bmatrix} -60 & \sqrt{300} \\ \sqrt{300} & -30 \end{bmatrix} \text{MPa}$,

应变分量 $d\epsilon_x = -\delta$ ($\delta > 0$ 为一微量)，试求应变增量张量及塑性功增量密度。

4. (21 分) 如下图，将一板厚为 t 、直径为 D_0 的圆板坯拉深成内径为 d_0 的圆筒件。假设 (1) 板料为理想刚塑性体，其屈服应力为 Y ；(2) 成形过程板厚不变，且忽略凹模入口处的弯曲效应和模具间隙；(3) 压边力为 Q ，考虑接触面上的摩擦，摩擦系数为 μ ，作用于压边面上的摩擦力与凸缘外缘部的径向应力 σ_r 的作用等效。试用主应力法求拉深高度为 h 时刻的拉深力。



D 卷(75 分)

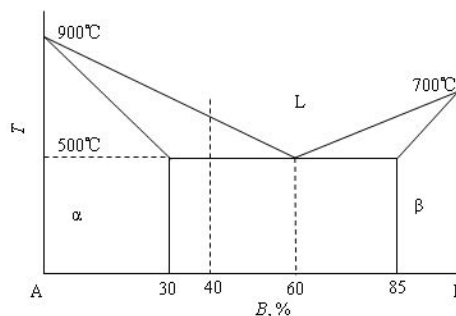
液态金属凝固学

- (20 分) 液态合金凝固时的热过冷和成分过冷有何区别？成分过冷对单相合金晶体生长方式有何影响？
- (25 分) 某二元合金相图如下图所示，合金液成分为 $C_0 = 40\%$ ，置于长瓷舟中并从左端开始凝固，温度梯度大到足以使固液界面保持平面生长。假设固相无扩散，液相均匀混合，试求：
 - 四、平衡分配系数 k_0 。

四、凝固 10% 时，固液界面的 C_s^* 和 C_L^* 。

四、凝固完毕，共晶体所占比例。

四、画出凝固后的试棒中溶质 B 的浓度沿试棒长度的分布曲线，并注明各特征成分及其位置。



- (20 分) 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？
- (10 分) 试分析缩孔、缩松形成条件及形成原因的异同。

华中科技大学

二〇〇六年招收硕士研究生入学考试试题答案

考试科目：材料成形原理

适用专业：材料加工工程、数字化材料成形

A 卷

简述题

1. 为什么过冷度是液态合金结晶的驱动力？

结晶过程的发生必须是液相的自由能高于固相的自由能，液相金属与固相金属自由能之差即为结晶的驱动力，要获得结晶过程所必需的驱动力，一定要使实际结晶的温度低于理论结晶温度，即要有一定的过冷度，才能满足热力学条件。

2. 液态合金的流动性和充型能力有何本质区别？

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，称为液态金属的充型能力。液态金属的充型能力首先取决于金属本身的流动能力，同时又受到外界条件，如铸型的性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响，是各种因素的综合反映。

液态金属本身的流动能力，称为流动性。由液态金属的成分、温度、杂质含量等决定的，而与外界条件无关。因此，流动性也可认为是确定条件下的充型能力。

3. 什么样的界面才能成为异质形核的衬底？

界面两侧夹杂和晶核的原子排列方式相似，原子间距相近，或在一定范围内成比例，就可能实现界面的共格对应。当点阵的失配度 $\delta \leq 5\%$ ，为完全共格，形核能力强； $5\% \leq \delta \leq 25\%$ 为部分共格，夹杂物衬底有一定的形核能力； $\delta > 25\%$ 为不共格，夹杂物衬底无形核能力。

4. 何谓析出性气孔，有何特征？

析出性气孔——金属液在冷却及凝固过程中，因气体溶解度下降，析出的气体来不及从液面排除而产生的气孔；这类气孔在铸件断面上大面积分布，靠近冒口、热节等温度较高的区域，其分布较密集，形状呈团球形，裂纹多角形，断续裂纹状或混合型。

5. 生产中如何防止密度偏析的形成？

防止或减轻密度偏析的方法有以下几种：

- (1) 增加铸件的冷却速度、使初生相来不及上浮或下沉。
- (2) 加入第三种合金元素，形成熔点较高的、密度与液相接近的树枝状化合物，使其首先结晶并形成树枝状骨架，阻止偏析相的沉浮。
- (3) 尽量降低合金的浇注温度和浇注速度。

6. 简述产生焊接应力与变形的原因及消除或减少残余应力与变形的办法。

温度改变导致“热胀冷缩”，非均匀的温度变化（如局部的加热、冷却）导致金属内部的不均匀“热胀冷缩”从而产生应力。工件冷却后保留在工件内部的内应力称为残余应力。局部的固态相变也能产生内应力。

减小或消除应力方法：结构设计、工艺措施、热处理、机械振动、机械加载等。

变形：残余应力的存在必然导致原工件形状的少量改变，也称为残余变形。

有整体变形、局部变形。

影响因素：材料热物理性能、膨胀系数、导热性、工艺因素、焊接热输入、焊接次序等。

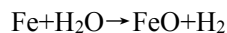
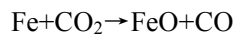
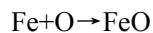
防止方法：结构设计、工艺（反变形、刚性固定、预留收缩量）、矫正（机械、火焰）。

7. 简述低碳钢焊接时氧与金属作用的特点及其对焊接质量的影响。

低碳钢中能有限溶解氧，生成的氧化物能溶于相应的金属中。氧在铁液中以原子氧和 FeO 两种形式存在。氧对金属有氧化作用。

气体中氧与金属的作用： $2\text{FeO} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{O}_2$

实际焊接电弧区的氧化可以是：



当温度升高，或 O_2 、 CO_2 、 H_2O 增多时， $[\text{FeO}]$ 多

影响：氧化物性能变差（强度、塑性、韧性）、气孔

控制：纯化焊材、控制焊接工艺参数、冶金脱氧（脱氧剂）。

8. 下图是不同焊接顺序时焊缝横向收缩引起的横向应力分布。试写出各图的焊接方向或顺序。

a) 直通焊 b) 从中间向两端焊 c) 从两端向中间焊

9. 何谓塑性加工？它有何优点？

材料在一定的外力作用下，利用其塑性而使其成形并获得一定力学性能的加工方法称为塑性成形。

与其他加工方法(如金属的切削加工、铸造、焊接等)相比，金属塑性成形有如下优点：

- (1) 组织、性能好；
- (2) 材料利用率高；
- (3) 尺寸精度高；
- (4) 生产效率高，适于大批量生产。

10. 简述塑性变形的本构方程有哪几种？其作用如何？

有力平衡方程、几何方程、应变连续方程、屈服准则、应力—应变关系(本构关系)五种。

力平衡方程：反映微元体的力平衡，应力分量之间的关系。

几何方程：位移与应变之间的关系。

应变连续方程：应变分量之间的关系。

屈服准则：材料产生初始屈服和后继屈服的判据。

应力—应变关系：应变增量与应力偏量之间的关系。

11. 试写出摩擦应力计算的两种常用公式, 并说明在塑性加工中的应用条件。

(1) 库伦摩擦条件

不考虑接触面上的粘合现象, 认为摩擦符合库伦定律, 即摩擦力与接触面上的正压力成正比, 其数学表达式为

$$T = \mu P_n \text{ 或 } \tau = \mu \sigma_n$$

式中 T ——摩擦力;

τ ——摩擦切应力;

P_n ——接触面上的正压应力;

μ ——外摩擦系数(简称摩擦系数)。

适用于正压力不太大、变形量较小的冷成形工序

(2) 常摩擦力条件

接触面上的摩擦切应力 τ 与被加工金属的剪切屈服强度 K 成正比, 即

$$\tau = mK$$

式中, m ——摩擦因子, 取值范围为 0~1。

在热塑性成形时, 常采用最大摩擦力条件。

12. 试写出摩擦应力计算的两种常用公式, 并说明在塑性加工中的应用条件。

Tresca 屈服准则:

$$|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| = \sigma_s = 2K$$

式中, σ_{\max} 、 σ_{\min} 分别代表最大、最小的主应力。

K 为材料屈服时的最大切应力值, 也称剪切屈服强度。

意义: 当受力物体(质点)中的最大切应力达到某一定值时, 该物体就发生屈服。

Mises 屈服准则:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_s^2 = 6K^2$$

或

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 = 6K^2$$

式中: σ_s ——材料的屈服点;

K ——材料的剪切屈服强度。

意义: 在一定的变形条件下, 当受力物体内一点的应力偏张量的第二不变量达到一定值时, 该点就开始进入塑性状态。

B 卷 焊 接

1. 答题要点:

熔合比: 焊缝金属中, 熔入母材的金属所占的比例。

$$\theta = \frac{F_b}{F_b + F_d}$$

$$n=3$$

$$C_{WM}=0.5^3*0.01+(1-0.5^3)*0.15=0.1325 \quad \text{即 } 13.25\%$$

$$C_{wm} = \theta^n C_b + (1 - \theta^n) C_d$$

2. 答题要点:

氢致裂纹易在中、高碳钢及合金钢、钛及钛合金、BCC 材料有淬硬 M 相变材料等的焊接时产生。主要产生在 HAZ 粗晶区。常具有延迟特征。

裂纹形貌：端部尖锐，断口无氧化、液膜特征；穿晶。

形成机理：淬硬组织、氢、拘束应力。

防止措施：材料成份选择与控制；预热及后热、保温处理；降低扩散氢含量；降低残余应力水平；低强度匹配。

3. 答题要点:

与母材焊前热处理状态有关。

焊前为正火或退火状态，焊前母材为 F+P 组织。HAZ 主要由完全淬火区和不完全淬火区组成。完全淬火区，M（或 M+B），靠近焊缝高温区为粗大的 M 组织。不完全淬火区，M+F。

焊前为调质态，母材为回火组织，HAZ 可分为完全淬火区、不完全淬火区和回火区。性能变化：HAZ 的硬化、脆化、软化及综合力学性能的变化。

调整措施：调整成分与 HAZ 组织状态；合理的焊接工艺（合理的线能量、预热）。

4. 答题要点:

在焊接中，根据熔渣的成分和性能可以分为三种：盐型熔渣（主要由金属氟酸盐、氯酸盐和不含氧的化合物组成）、盐-氧化物型熔渣（主要由氟化物和强金属氧化物组成）、氧化物型熔渣（主要由金属氧化物组成）。

作用：

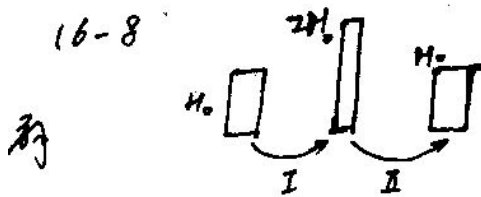
机械保护，与空气隔离，防止液态熔池氧化和氮化，防止高温时金属被氧化。

冶金处理作用，如脱 O、S、P；去 H；去杂质；合金化

改善焊接工艺性能，电弧易于引燃、稳定，易操作易脱渣；保证焊缝成形

C 卷 金属塑性成形力学

1. 答题要点:



$$(1) \quad \epsilon_z^{(2)} = \ln \frac{2H_0}{H_0} = \ln 2$$

$$\epsilon_r^{(1)} = \epsilon_\theta^{(1)}$$

$$\epsilon_r^{(2)} + \epsilon_\theta^{(2)} + \epsilon_z^{(2)} = 2\epsilon_r^{(2)} + \Delta\epsilon^{(2)} = 0 \Rightarrow \Delta\epsilon_r^{(1)} = -\frac{1}{2}\ln 2$$

$$\overline{\Delta\epsilon^{(1)}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_r - \epsilon_\theta)^2 + (\epsilon_r - \epsilon_z)^2 + (\Delta\epsilon_z - \Delta\epsilon_\theta)^2} = \ln 2$$

$$(2) \quad \epsilon_z^{(1)} = \ln \frac{H_0}{2H_0} = \ln \frac{1}{2} = -\ln 2$$

$$\Delta\epsilon_r^{(2)} = \Delta\epsilon_\theta^{(2)} = \frac{1}{2}\ln 2$$

$$\overline{\Delta\epsilon^{(2)}} = \ln 2$$

(3) 累积变形

$$\epsilon_r = \epsilon_\theta = \Delta\epsilon_r^{(1)} + \Delta\epsilon_r^{(2)} = -\frac{1}{2}\ln 2 + \frac{1}{2}\ln 2 = 0$$

$$\epsilon_z = \Delta\epsilon_z^{(1)} + \Delta\epsilon_z^{(2)} = \ln 2 + (-\ln 2) = 0$$

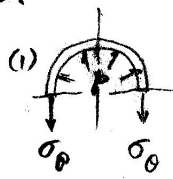
$$\bar{\epsilon} = \Delta\epsilon^{(1)} + \Delta\epsilon^{(2)} = 2\ln 2$$

$$\star \quad \bar{\epsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_r - \epsilon_\theta)^2 + (\epsilon_r - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_\theta)^2}$$

累积变形必须考虑加工硬化，

即外力所作的塑性功将转化成晶体内的加工硬化，使内能↑

2.



解 取单元体如图, $\sigma_1 = \sigma_\theta$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$
由平衡条件, 得

$$2\sigma_\theta t = Dp$$

$$\sigma_\theta = \frac{Dp}{2t} \quad (1)$$

由 Mises 屈服准则

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

屈服时, $\sigma_\theta = \frac{Dp}{2t} = \sigma_s$

$$p = \frac{2t\sigma_s}{D} = \frac{2 \times 4 \times 200}{80} = 20 \text{ (MPa)}$$



σ_θ 的计算同 (1)

$$\because \pi r t \sigma_\theta = \frac{\pi}{4} D^2 p \quad \therefore \sigma_\theta = \frac{Dp}{4t} \quad (3)$$

由 Mises 屈服准则 (式 1), 得

$$\left(\frac{Dp}{2t} - \frac{Dp}{4t}\right)^2 + \left(\frac{Dp}{4t}\right)^2 + \left(\frac{Dp}{2t}\right)^2 = 2\sigma_s^2$$

得, $p = \frac{4t}{\sqrt{3}D} \sigma_s = \frac{4 \times 4}{\sqrt{3} \times 80} \times 200 = 23.1 \text{ (MPa)}$

3. 应力张量
$$\begin{bmatrix} -60 & \sqrt{300} & 0 \\ \sqrt{300} & -30 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{-60 - 30 + 0}{3} = -30$$

$$\sigma'_x = \sigma_x - \sigma_m = -60 - (-30) = -30$$

$$\sigma'_y = \sigma_y - \sigma_m = -30 - (-30) = 0$$

$$\sigma'_z = \sigma_z - \sigma_m = 0 - (-30) = 30$$

$$\frac{d\varepsilon_{ij}}{\sigma'_{ij}} = \frac{d\varepsilon_x}{\sigma'_x} \Rightarrow d\varepsilon_{ij} = \frac{\sigma'_{ij}}{\sigma'_x} d\varepsilon_x$$

$$\therefore d\varepsilon_y = 0, \quad d\varepsilon_z = \frac{30}{(-30)} \times (-\delta) = \delta$$

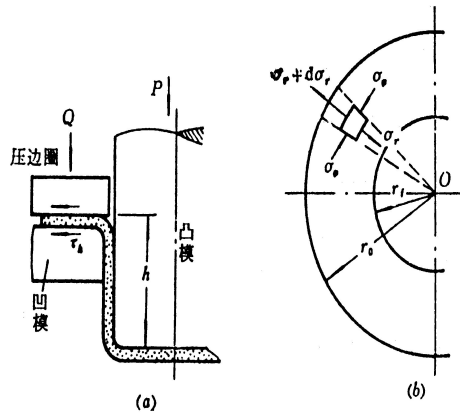
$$\therefore \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad \therefore d\gamma_{yz} = d\gamma_{zx} = 0$$

$$d\varepsilon_{xy} = \frac{\sqrt{300}}{(-30)} \times (-\delta) = \frac{\delta}{\sqrt{3}}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xy}^2} = 60$$

$$\bar{d\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} (d\varepsilon_x^2 + d\varepsilon_y^2 + d\varepsilon_z^2 + 2d\gamma_{xy}^2)} = \frac{4}{3} \delta$$

$$dW_P = \bar{\sigma} \bar{d\varepsilon} = 60 \times \frac{4}{3} \delta = 80 \delta$$



4. 列平衡方程，取一微元体

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

将弹性条件 $\sigma_r - \sigma_\theta = K_f$ 代入上式，得

$$\sigma_r = -K_f \ln r + C$$

考虑假设图像外缘处的 σ_r 与外力 Q 引起的摩擦力作用等效

$$\sigma_r^{\text{外}} = \frac{2\mu Q}{\pi D t}$$

将以上边界条件代入式(1)，得

$$C = K_f \ln \frac{D}{2} + \frac{2\mu Q}{\pi D t}$$

$$\text{于是 } \sigma_r = K_f \ln \frac{D}{2r} + \frac{2\mu Q}{\pi D t}$$

$$\text{内缘处 } \sigma_r^{\text{内}} = K_f \ln \frac{D}{d} + \frac{2\mu Q}{\pi D t}$$

根据体积不变条件，可确定图示瞬时的 D：

$$\pi d h = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D^2)$$

$$\therefore D = \sqrt{D_0^2 - 4dh}$$

$$\text{故 } P = \pi d t \times \sigma_r^{\text{内}} = K_f \frac{\pi d t}{2} \ln \left[\left(\frac{D_0}{d} \right)^2 - \frac{4h}{d} \right] + \frac{2\mu d Q}{\sqrt{D_0^2 - 4dh}}$$

$$\text{其中 } K_f = 1.1 \gamma$$

D 卷 液态金属凝固学

1. 液态合金凝固时的热过冷和成分过冷有何区别？成分过冷对单相合金晶体生长方式有何影响？

答题要点：

材料资讯、实验耗材及测试、考研、就业尽在材料人网

热过冷——液态凝固时所需过冷完全由传热所提供。

成分过冷：凝固时由于溶质再分配造成固液界面前沿溶质浓度变化，引起理论凝固温度的改变而在液固界面前沿液相内形成的过冷。

成分过冷对单相合金晶体生长方式影响：

(1) 无“成分过冷”的平面生长。当单相合金晶体生长条件符合： $\frac{G_L}{v} \geq \frac{m_L C_0 (1-k)}{D_L k}$ 界面前方不产生成分过冷。界面将以平向生长方式生长。宏观平坦的界面是等温的，以恒定的平衡成分向前推进。获得成分完全均匀的单相固溶体柱状晶甚至单晶体。

(2) 窄成分过冷区的胞状生长。当单相合金晶体生长符合条件： $\frac{G_L}{v} \leq \frac{m_L C_0 (1-k_0)}{D_L k_0} = \frac{T_0 - T_L}{D_L}$ 时，界面前方产生一个窄成分过冷区，晶体生长以胞状晶方式生长。

(3) 较宽成分过冷区的柱状树枝晶生长。随着界面前方成分过冷区加宽，凸起晶胞将向熔体伸展更远；原来胞晶抛物状界面逐渐变得不稳定。晶胞生长方向开始转向优先的结晶生长方向，胞晶的横向也将受晶体学因素的影响而出现凸缘结构，当成分过冷加强时，凸缘上又会出现锯齿结构即二次枝晶。将出现二次枝晶的胞晶称为胞状树枝晶，或柱状树枝晶。

(4) 宽成分过冷区的自由树枝晶生长。当固—液界面前方液体中成分过冷的最大值大于液体中非均质生核所需要的过冷度 ΔT^* 异时，在柱状枝晶生长的同时，界面前方这部分液体将发生新的形核过程，导致晶体在过冷的液体中自由成核生长，并长成树枝晶，这称为自由树枝晶，此后的凝固过程便是等轴晶不断向液体内部推进的过程。

2. 解答步骤

(4) 根据题目提供的相图参数可知：

$$C_{sm} = 30\%, C_E = 60\%$$

$$k_0 = \frac{C_{sm}}{C_E} = \frac{30\%}{60\%} = 0.5$$

(5) 当凝固 10% 时， $f_s = 10\%, f_L = 90\%, C_0 = 40\%$

$$C_s^* = k_0 C_0 (1 - f_s)^{k_0 - 1} = 0.5 \times 40\% (1 - 10\%)^{0.5 - 1} = 21.1\%$$

$$C_L^* = C_0 f_L^{k_0 - 1} = 40\% \times 90\%^{0.5 - 1} = 42.2\%$$

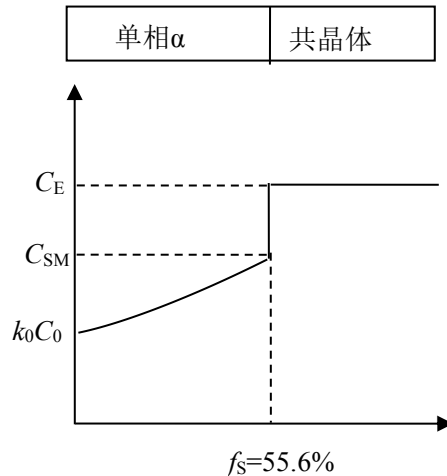
(6) 共晶体所占比例为 C_s^* 为 C_{sm} 时的 f_L'

$$C_{sm} = k_0 C_0 (1 - f_s')^{k_0 - 1} = k_0 C_0 f_L'^{k_0 - 1}$$

$$\text{故： } f_L' = \left(\frac{C_{sm}}{k_0 C_0} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} = \left(\frac{30\%}{0.5 \times 40\%} \right)^{\frac{1}{0.5 - 1}} = 44.4\%$$

即凝固完毕时，共晶体所占比例为：44.4%

(7) 成分的分布如图：



3. 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？

答题要点：

铸件典型宏观组织是由表面细晶粒区、柱状晶区和内部等轴晶区三个部分构成的，他们的特征分别是：

- (1) 表面细晶粒区。是紧靠铸型壁的激冷组织，也称激冷区，由无规则排列的细小等轴晶所组成。
- (2) 柱状晶区。由垂直于型壁（沿热流方向）彼此平行排列的柱状晶粒所组成。
- (3) 内部等轴晶区。由各向同性的等轴晶组成。等轴晶的尺寸比表面细晶粒区的晶粒尺寸粗大。

各区的形成机理如下：

- (1) 表面细晶粒区的形成。铸型壁附近熔体受到强烈的激冷作用而大量形核，形成无方向性的表面细等轴晶组织，也叫“激冷晶”。此区形成的前提条件是，抑制铸件形成稳定的凝固壳层，凝固壳层形成，界面处晶粒单向散热，则晶粒逆热流方向择优生长而形成柱状晶。
- (2) 柱状晶主要是从表面细晶粒区形成并发展而来的，稳定的凝固壳层一旦形成，处在凝固界面前沿的晶粒在垂直于型壁的单向热流的作用下，便转而以枝晶状延伸生长。由于各枝晶主干方向互不相同，那些主干与热流方向相平行的枝晶，较之取向不利的相邻枝晶生长得更为迅速，它们优先向内伸展并抑制相邻枝晶的生长。在逐渐淘汰掉取向不利的晶体过程中发展成柱状晶组织。
- (3) 内部等轴晶区的形成，是由于剩余熔体内部晶核自由生长的结果。

4. 试分析缩孔、缩松形成条件及形成原因的异同。

答案要点：

缩孔形成原因是合金的液态收缩和凝固收缩值大于固态收缩值。产生的条件，是铸件由表及里地逐层凝固（而不是整个体积同时凝固），缩孔集中在最后凝固的地方。

形成缩松的基本原因也是由于合金的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩。但是，形成缩松的条件是合金的结晶温度范围较宽，倾向于体积凝固，缩孔分散，或是在缩松区域内铸件断面的温度梯度小，凝固区域较宽，合金液几乎同时凝固，因液态和凝固收缩所形成的细小孔洞分散且得不到外部合金液的补充而造成的。铸件的凝固区域越宽，就越倾向于产生缩松。