

一、基本概念

1. 包辛格效应：就是指原先经过变形，然后在反向加载时弹性极限或屈服强度降低的现象。
2. 疲劳门槛值：当 ΔK 小于某一临界值 ΔK_{th} 时, 疲劳裂纹不扩展, ΔK_{th} 叫作疲劳门槛值。
3. 应力腐蚀门槛值：当应力强度因子 K 降低到某一临界值时, 应力腐蚀开裂实际上就不发生了。这一 K 值我们称之为应力腐蚀门槛值, 用 K_{ISCC} 表示。
4. 平面应力状态：由于板材较薄，在厚度方向(z 方向)可以自由变形, 即在 z 方向收缩不受限制, 因此 $\sigma_z=0$ 这种应力状态称为平面应力状态。
5. 平面应变状态：由于板材较厚，在厚度方向变形受到限制, $\epsilon_z=0$, 在接近厚度的两个表面范围内, 才能自由变形, 即 $\sigma_z=0$, 这种应力状态称为平面应变状态。
6. 蠕变极限：这是为保证在高温长时间载荷作用下不产生过量塑性变形的抗力指标, 它有两种表示方法 1：在规定的温度下, 蠕变的第二个阶段的蠕变速率恰好等于某一临界值时, 把对应的应力值定义为条件蠕变极限。2：在一定的温度下, 规定的时间内, 恰好产生某一允许的总变形量。其对应的应力值定义为蠕变极限。
7. 低周疲劳：零件的寿命只有几千次, 这种在大应力第周次的破坏叫低周疲劳。与高周疲劳以 10^5 周次为界。
8. 高周疲劳：零件受很高的应力幅或应变幅, 但零件的破断周次很高, 一般大于 10^5 次。零件主要发生弹性变形, 这就是高周疲劳情况。
9. 滞弹性：在实际材料中应变落后于应力的现象叫滞弹性。
10. 弹性比功：为应力-应变曲线下弹性范围内所吸收的变形功。
11. 冲击韧性：以 $a_K = \frac{A_K}{F}$ 来度量材料的冲击韧性, A_K 是冲击功、 F 是缺口截面积。
12. 断裂韧性：应力增大时, 应力强度因子 K_I 也逐渐增加, 当 K_I 达到某一临界值时, 带裂纹的构件就断裂了, 这个临界值便称为断裂韧性。
13. 氢脆：材料在内部氢或环境氢作用下发生脆化, 强度和塑性下降、断口成脆性断裂的现象。
14. 应力腐蚀：材料或零件在应力和腐蚀环境的共同作用下引起的破坏叫应力腐蚀。
15. 粘着磨损：又称咬合磨损, 它是指滑动摩擦时摩擦副接触面局部发生金属粘着, 在随后相对滑动中粘着处被破坏, 有金属屑粒从零件表面被拉拽下来或零件表面被擦伤的一种磨损形式。
16. 微动磨损：微动磨损通常发生在一对紧配合的零件, 这些原来配合紧密的零件, 在载荷和一定的振动频率的作用下, 较长时间后会产生松动, 这种松动是微米级的相对滑动, 相对滑动导致接触金属粘着, 随后是粘着点的剪切, 粘着点脱落。
17. 磨粒磨损：当硬颗粒例如岩石砂子或某些硬金属碎片等, 在压力作用下滑过或滚过零件表面时, 就产生磨粒磨损。
18. 蠕变：在应力恒定情况下, 材料在应力持续作用下不断地发生变形。
19. 持久强度：是指材料在一定温度下和规定的持续时间内引起断裂的最大应力值。
20. 应力松弛：紧固应力随时间增加不断下降的现象叫应力松弛。
21. 腐蚀疲劳：材料或零件在交变应力和腐蚀应力共同作用下造成的失效。
22. 加工硬化指数：加工硬化指数 n 反映了材料开始屈服以后, 继续变形时材料应变硬化的情况, 它决定了材料开始发生颈缩时的最大应力, 即材料能够产生的最大均匀应变量。

二. 符号指代、物理意义、单位

1. A_K : 冲击功。缺口冲击试验时摆锤在冲断试样时所做的功。N*M (J)。
2. K_I : 应力强度因子。表示裂纹尖端应力场的大小和强弱。 $MPa \cdot m^{1/2}$ 。
3. K_C/K_{IC} : 断裂韧性。反映材料阻止裂纹扩展的能力。 $MPa \cdot m^{1/2}$ 。
4. K_{ISCC} : 应力腐蚀门槛值。表示材料不发生应力腐蚀开裂的最低应力强度因子K。 $MPa \cdot m^{1/2}$ 。
5. a_c : 最大裂纹尺寸。表示零件内部所允许的裂纹的最大尺寸。mm。
6. E : 弹性模量。表示材料在外载荷下抵抗弹性变形的能力。GPa。
7. σ_f : 断裂真应力。表示材料抵抗断裂的能力。MPa。
8. σ_b : 抗拉强度。表示材料在静拉伸条件下的极限承载能力。MPa
9. σ_e : 弹性极限。由弹性变形过渡到弹-塑性变形时的应力。MPa
10. $\sigma_{0.2}$: 屈服强度。试样加载再卸载后发生 0.2%残留变形时的应力。MPa
11. σ_{ys} : 屈服强度。材料开始明显塑性变形的抗力/试样加载再卸载后以规定发生一定残留变形为标准时的应力。MPa
12. σ_p : 比例极限 (应力应变曲线上符合线性关系的最高应力)。MPa
13. δ : 条件应变 (延伸率 $\delta = \Delta L/L_0$)。 δ_u , 均匀变形时最大延伸率; δ_n , 局集变形时延伸率; δ_f , 断裂时延伸率。
14. σ_{-1} : 疲劳极限。MPa
15. ϵ : 真应变。
16. ψ : 断面收缩率 $\psi = (A_0 - A)/A_0$
17. H_V : 维氏硬度。
18. H_K : 显微硬度。 $HK = P/A = P / (CL^2)$
19. HRC : 洛氏硬度。 $HRC = 0.2 - t$
20. H_B : 布氏硬度。 $HB = P/F_{压} = P / \pi Dt = 2P / \pi [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]$
21. G : 弹性应变能的释放率或裂纹扩展力。
22. 切变模量 $G = \tau_{XY} / \gamma_{XY}$; ΔK_{th} : 疲劳门槛值。表示金属疲劳断裂的临界值。 $MPa \cdot m^{1/2}$ 。
23. G : 裂纹扩展的能量率或裂纹扩展力。
24. G_{IC} : 临界裂纹扩展的能量率或裂纹扩展力。
25. $\sigma_{1/10^3}^{650^\circ C}$: 蠕变极限。在规定温度 $650^\circ C$ 下, 在规定时间 10^3 小时内恰好产生的稳态伸长率为 1%。
26. $\sigma_{1 \times 10^{-3}}^{650^\circ C}$: 蠕变极限。在温度 $650^\circ C$ 下, 蠕变速率为 $1 \times 10^{-3} \% / h$ 条件下的蠕变极限。
27. $\sigma_{1 \times 10^3}^{650^\circ C}$: 持久强度。材料在 $650^\circ C$ 经 1000 小时后发生的断裂应力。

三. 公式

1. $S = K \cdot \epsilon^n$: Hollomon 关系式, 表示从试样开始屈服到发生颈缩, 这一段应变范围中真实应力和真应变的关系。式中 n 称为加工硬化指数或应变硬化指数, K 叫做强度硬化指数。 S —真应力, ϵ —真应变。

2. $\sigma_c = \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{a_c}}$: 表示材料的抗脆断能力。式中 K_{Ic} 为材料的断裂韧性, Y 为几何形状因子, a_c 为零件内部

所允许的最大裂纹尺寸。

3. $\frac{d_a}{d_N} = C(\Delta K)^m$: 疲劳裂纹扩展速率。式中 c, m 为材料试验常数, $m=2.4$, ΔK 为裂纹尖端的应力强度因子幅度。

4. $\dot{\epsilon}_{ss} = A\sigma^n$: 表示蠕变第二阶段速率。其中 A, n 为常数, 纯金属: $n=4\sim5$; 固溶体合金: $n=3$; 弥散强化和测定强化合金: $n=30\sim40$; n 值是随温度的升高, 略有降低, 当 $T^\circ C$ 高至接近 $T_{\text{熔}}^\circ C$ 时, $n=1$ 。

四. 问答题

第一章

1. 低碳钢静拉伸的三个阶段是哪三个阶段?

答: 弹性变形, 塑性变形和断裂。

2. 例一台机器的轴弯曲了, 分析什么原因, 应采取什么措施?

答: 轴弯曲是因为材料的屈服强度太低。可选用屈服强度较高的材料或者提高原材料的屈服强度, 例如采用细化晶粒, 固溶强化, 形变强化等。

3. 材料力学性能的五大指标。

答: 屈服强度 σ_s , 抗拉强度 σ_b , 延伸率 δ , 断面收缩率 Ψ , 材料的冲击韧度 a_k 。

4. 测定硬度有哪几种方法?

答: A. 抵抗变形能力: 压入法型硬度试验: 测布氏硬度, 洛氏硬度, 维氏硬度, 显微硬度, 统称压入硬度。可测量脆性材料(陶瓷材料)的硬度, 表面处理的工件。

B. 抵抗断裂能力: 刻划片型硬度试验: 刻划硬度

C. 抵抗金属弹性变形能力: 回跳法, 肖氏硬度(手提法)大型工件。

5. 影响屈服强度的因素, 提高屈服强度的措施。

答: 内在因素: 结合键, 组织, 结构, 原子本性。

结合键: 结合键的结合力越大, 位错的运动要破坏原子的键和越难, 使得位错再晶体中运动的摩擦阻力越大, 材料的屈服强度就越大。

组织: 四种强化机制可以影响金属材料的屈服强度, 这就是:

① 固溶强化 ② 形变强化 ③ 沉淀和弥散强化 ④ 晶界和亚晶强化。其中沉淀强化和晶粒细化是工程上常使用提高 σ_{ys} 的手段。前三种机制提高 σ_{ys} , 但是降低 δ , 只有第四种提高 σ_{ys} 又提高 δ 。

外在因素: 温度+应变速率+应力状态

温度因素: 高温时, γ 钢性能高; 低温时, α 钢性能高。并非高温性能好的钢低温性能也好。

(体心立方金属对温度更敏感)

应变速率和应力状态(应力集中)的影响: α (尖角), γ 越尖, $K_t \uparrow$

若缺口敏感: $R < 1$ 弱化 若缺口不敏感: $R = \sigma_r \text{ 缺口} / \sigma_r \text{ 光滑} > 1$ 强化

提高屈服强度的措施:

固溶强化、形变强化、沉淀强化和弥散强化、晶界和亚晶强化。

6. 为什么体心立方有低温脆性，而面心立方却没有？

答：体心立方金属在温度降低时屈服强度升高，但形变硬化率不变，达到与其解理断裂抗力相等时就发生脆断；而面心立方金属的屈服强度随温度降低升高不多，屈服强度和解理断裂强度即使在极低温度下也难以相交，故面心立方金属没有低温脆性。

7. 材料的塑性指标用什么表示，各有什么意义，为什么要用两个指标表示？工程上用什么表示？

答：用延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ 表示，延伸率 δ 主要反映了材料均匀变形的能力，而断面收缩率 Ψ 主要反映了材料局部变形的能力。因为材料的塑性变形包括了均匀塑性变形和集中塑性变形两部分，而 δ 和 Ψ 分别表示了材料均匀变形和局部变形的能力，这两个指标在一起正好完整的反映了材料的塑性变形。工程上用 δ_{gt} 表示，金属材料的塑性指标是安全力学性能指标。

8. 给一定条件，计算条件应力，条件应变，真应力，真应变。

答：条件应力 $\sigma = F/A$ 条件应变 $\delta = \Delta l/l_0$ 真应力 $S = F/A$ 真实应变 $\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$

9. δ_5 与 δ_{10} 哪个大？答： $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

10. 断口的三个部分。

答：中心区叫做纤维区、放射区、剪切唇，这三个区域的比例关系与材料韧断性能有关，若材料的硬度和强度很高，又处于低温环境，断面上有许多放射状条纹，并汇聚一个中心。

11. 颈缩产生的条件，防止颈缩采取的措施。

答：颈缩条件： $ds/d\varepsilon = S$ 当加工硬化速率等于该处的真应力时就开始颈缩。

防止颈缩采取的措施：

利用多相组织增强形变强化（利用受力变形时 $\gamma \rightarrow M$ 是形变硬化作用增强的特点，达到推迟颈缩的目的）。

第二章

1. 缺口对材料性能的影响。

答：大多数机构或构件，零件都含有缺口的，如键槽，油孔，台阶，螺纹等。缺口对材料的性能影响有以下四个方面：

- (1) 缺口产生应力集中。
- (2) 引起三向应力状态，使材料的屈服变形困难，导致脆化。
- (3) 由应力集中产生应变集中。
- (4) 使缺口附近的应变速率增高。

2. 缺口的冲击韧性和断裂韧性的区别与联系。

答：区别：冲击韧性：材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力叫冲击韧性。断裂韧性：反映具有裂纹的材料对外界作用的一种抵抗能力。

联系：两者大小均反映了材料抵抗脆性断裂的能力。

3. 为什么晶粒细化可以改善材料的低温脆性？

答：晶界是裂纹扩展的阻力，晶粒细化后晶界前塞积的位错数减少，有利于降低应力集中，晶界总面积增加，使晶界上的杂质浓度下降，避免产生沿晶脆性断裂。

第三章

1. 韧性断裂判据的实质和含义。

答：当应力强度因子增大到一临界值，这一临界值在数值上等于材料的平面应变断裂韧性时，裂纹就立即失稳扩展，构件就发生脆断。于是断裂判据便可表示为 $K_I \equiv K_{Ic}$ 右边为材料固有性能，左边为外界载荷条件（包含裂纹的形状和尺寸）

2. 陶瓷增韧途径。

答：1. 相变增韧。2. 微裂纹增韧。促使主裂纹分叉。3. 表面残余压应力：表面喷砂，快速冷却，使膨胀导致压应力。4. 晶须或纤维增韧。5. 显微结构增容。6. 复合增韧。

第四章

1. 提高材料疲劳寿命的途径。

答：首先判别是高周疲劳寿命还是低周疲劳寿命，裂纹萌生、裂纹的扩展在整个疲劳寿命中谁占主导地位若是高周疲劳，通常采用以下方法：

1) 提高强度 a. 合金化 b. 热处理 c. 变形 d. 细化晶粒光滑试样 $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} = 0.5$ 缺口试样 $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} = 0.24 \sim 0.3$ 。

2) 提高塑性。3) 减少表面的疲劳裂纹源 a. 改善表面光洁度 b. 改善表面应力集中 c. 表面处理（残留压应力）。4) 减少夹杂物。

2. 疲劳破坏的特点，典型的疲劳断裂。

答：1) 断裂时并无明显的宏观塑性变形，断裂前没有明显预兆，而是突然地破坏。

2) 引起疲劳断裂的应力很低，常常低于静载时的屈服强度。

3) 疲劳破坏能清楚地显示裂纹的发生、扩展和最后断裂三个组成部分。疲劳源+疲劳裂纹扩展区+断裂区。

举例：火车的车轴，是弯曲疲劳的典型；汽车的传动轴、后桥半轴是扭转疲劳的典型，柴油机曲轴和汽轮机主轴是弯曲和扭转疲劳的复合。

3. 举例说明哪些措施是抑制裂纹源，哪些是抑制裂纹扩展。

答：抑制裂纹源：采用滚压或喷丸的表面强化办法，渗碳、氮等化学热处理法，减少夹杂物，细化晶粒。

抑制裂纹扩展：细化晶粒。

4. 与金属相比，陶瓷和聚合物裂纹扩展有哪些特点？

答：金属裂纹扩展可分为三个阶段：第一阶段，疲劳裂纹不扩展；第二阶段，其扩展速率受应力比、组织类型和环境的影响很小；第三阶段，裂纹加速扩展。

陶瓷材料对交变载荷不敏感，疲劳裂纹强烈依赖于最大应力强度因子，而陶瓷材料 $K_{th} \sim K_{Ic}$ 的范围很窄，可以进行疲劳裂纹扩展试验的应力强度因子范围很窄，所以进行陶瓷疲劳试验时，或者裂纹始终不扩展，或者裂纹一旦扩展，立即断裂。即出现金属裂纹的第一阶段或第三阶段。

聚合物的疲劳过程： $\sigma \rightarrow$ 银纹 \rightarrow 裂纹 \rightarrow 扩展 \rightarrow 断裂，裂纹扩展一般不出三个阶段，往往出现一个阶段，相当于金属的第二阶段。

5. 常温、高温下材料的力学性能的差异及原因。

答：1) 材料在高温将发生蠕变现象；

2) 材料在高温下不仅强度降, 而且塑性也降低;

3) 材料在高温下晶界附近是弱化的区域, 常温下则是强化的因素。

第五章

1. 怎么判断应力腐蚀?

答: (1) 造成应力腐蚀破坏的是净应力, 远低于材料的屈服强度, 且一般为拉伸应力。(2) 应力腐蚀造成的破坏是脆性断裂, 没有明显的塑性变形。(3) 只有特定的合金成分与特定的介质相组合才造成应力腐蚀。(4) 应力腐蚀的裂纹扩展速率是渐进缓慢的, 达到某一临界尺寸时就突然发生断裂。(5) 裂纹多起源于表面蚀坑处, 裂纹传播途经常垂直于拉力轴。(6) 断口颜色灰暗, 表面有腐蚀产物。(7) 主裂纹扩展时常有分枝。(8) 可以是穿晶断裂, 也可以是晶间断裂。

2. 氢脆及判断

氢脆: 材料在内部氢或环境氢作用下发生脆化, 强度和塑性下降、断口成脆性断裂的现象。

1) 施加一小的阳极电流, 如使开裂加速则是应力腐蚀; 而施加一小的阴极电流, 使开裂加速则为氢脆。

2) 强度较低材料或高强材料但受力不大, 氢脆断裂源在表面以下某一深度。3) 断裂的主裂纹没有分枝的情况。4) 氢脆断口上一般没有腐蚀产物或其量极微。5) 大多数氢脆断裂都表现出对温度和变形速率有强烈的依赖关系。

第七章

1. 金属高温下变形及机制与常温不同点

答: 1) 常温下的变形: 可通过位错的滑动, 产生滑移和孪晶两种变形方式。

2) 高温下的蠕变: 高温位错还可以通过攀移, 使位错迁到障碍时作垂直于滑移面的运动, 继续变形→软化过程。总之, 位错滑动和攀移交替进行的结果。蠕变变形机制: 1) 位错蠕变机制 2) 扩展蠕变机制

2. 提高蠕变抗力的途径。

答: 1) 改变合金成分: 加入 Al, Co, Cr 等降低层错能元素, 使得扩展位错加宽, 不易交滑移也不易攀移; 加入元素形成尺寸很小但又十分稳定的、即不易溶解和长大的第二相。

2) 改变冶炼工艺: 采用定向凝固工艺, 使柱状晶沿受力方向生长, 减小横向晶界, 可大大提高持久强度, 轮叶断裂寿命可提高 4~5 倍。

3) 进行热处理: P 体耐热钢: 正火+高温回火(使用温度+100-150)提高高温组织稳定性。

γ 体耐热钢: 固溶处理+时效。形变热处理: 改变晶界形状形成多边化的亚晶界。

4) 晶粒度: 采用定向凝固制成定向生长的多晶体和单晶体, 限制原子在晶界附件的扩散和定向流动。

3. 蠕变曲线图的绘制: 按 $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ 分成:

I: 减速阶段: 蠕变第一阶段, 过渡蠕变阶段。

II: 恒速阶段: 蠕变第二阶段, 稳态蠕变阶段。

III: 加速阶段: 蠕变第三阶段, 加速蠕变阶段。

