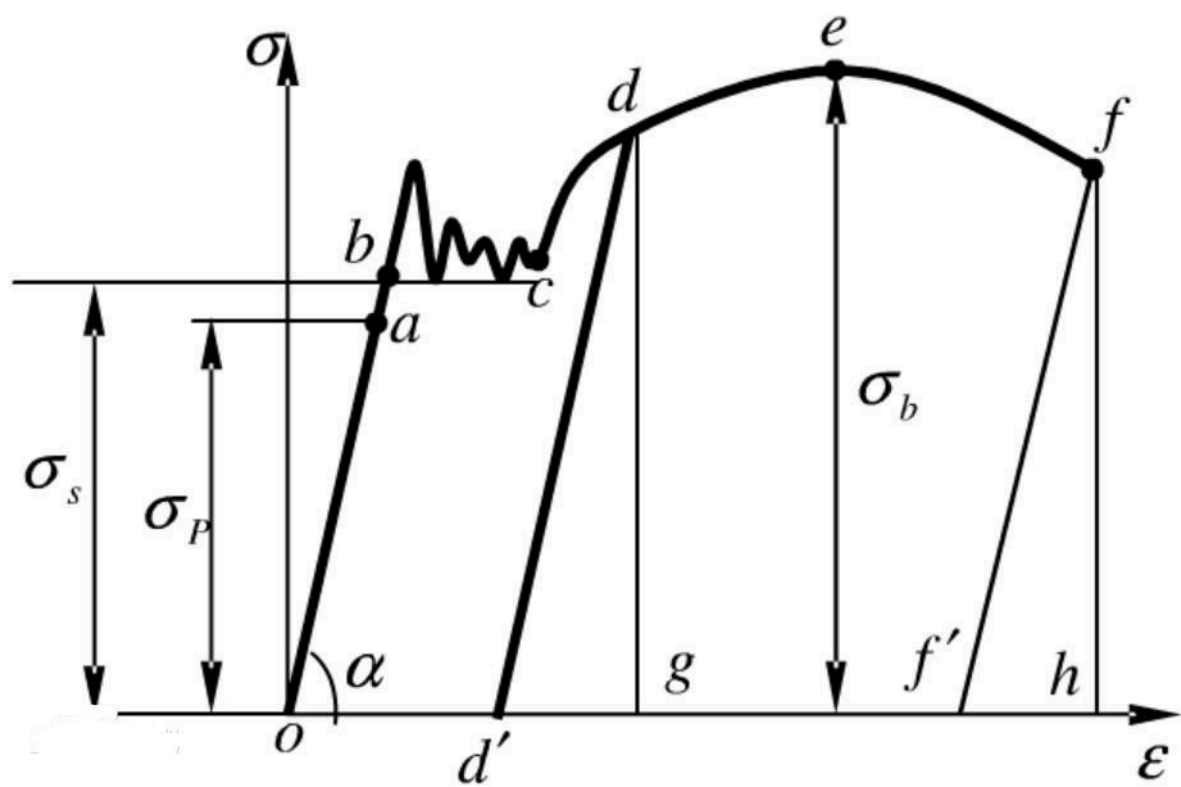


第一章 机械零件的失效分析

第一节 零件在常温静载下的过量变形

- 1. 变形：材料在外力作用下产生的形状或尺寸的变化叫做变形。
- 2. 弹性变形：能够恢复的变形叫做弹性变形。
- 3. 塑性变形：不能恢复的变形叫做塑性变形。
- 4. 刚度：刚度是指零件在受力时抵抗弹性变形的能力，它等于材料的弹性模量 E 与零件截面积的乘积。
- 5. 强度：强度是指材料抵抗变形或断裂的能力。
- 6. 弹性：弹性是指材料弹性变形的大小。
- 7. 塑性：塑性是指材料在断裂前发生塑性变形的能力。
- 8. 硬度指标：硬度是表征材料软硬程度的一种性能（指标）。
 - 布氏硬度 HBW ：适用于灰铸铁、有色金属退火钢，调质钢
 - 洛氏硬度 HRC ：适用于渗碳件和淬火钢成品件
 - 维氏硬度 HV ：适用于金属薄片和硬质合金刀片
- 9. 弹性模量 E 或切变模量 G 是表征材料抵抗弹性变形能力的性能指标。
- 10. 低碳钢的应力-应变行为



- 比例极限 σ_p ：材料应力和应变成正比的最大应力
- 弹性极限 σ_e ：材料在不产生塑性变形时所能承受的最大应力
- 屈服极限 σ_s ：材料在产生塑性变形时所能承受的最大应力

- 抗拉强度 σ_b ：材料在断裂前所能承受的最大应力
- 断裂应力 σ_k ：材料在断裂时的应力

拉伸试验的过程：弹性变形、屈服塑性变形、均匀塑性变形、不均匀集中塑性变形。

第二节 零件在静载和冲击载荷下的断裂

1. 断裂：材料在应力作用下分为两个或两个以上部分的现象。
 - 韧性断裂：材料在断裂前发生明显宏观塑性变形。
 - 脆性断裂：材料在断裂前不发生塑性变形，断裂后其断口齐平，由无数发亮的小平面组成。
2. 裂纹形成与扩展：无论是韧性断裂还是脆性断裂，其断裂过程均包含裂纹形成与扩展两个阶段。
 - 亚稳扩展阶段：裂纹在外力作用下缓慢扩展，通常伴随局部塑性变形。
 - 失稳扩展阶段：裂纹扩展迅速，材料强度急剧降低。
3. 冲击载荷与静载荷的主要区别是加载速率不同，前者加载速率高，后者加载速率低。冲击载荷的突然性使得材料可能在未达到屈服点的情况下产生断裂，特别是在脆性材料中表现得更为明显。
4. 影响脆断的因素：加载方式、材料本质、温度、加载速度、应力集中、零件尺寸

第三节 零件在交变载荷下的疲劳断裂

1. 疲劳：疲劳是指材料在交变载荷作用下，由于应力反复循环而引起的损伤和最终断裂的现象。
2. 疲劳寿命：疲劳寿命是指材料在特定的交变应力下，能够承受的循环次数。
3. 疲劳极限：疲劳极限是材料在交变载荷作用下，无限循环次数下不发生疲劳断裂的最大应力值。
4. 疲劳断裂的过程：
 - 初始裂纹形成：在应力集中处，材料内部的微小缺陷或表面缺陷可能成为裂纹萌生的起点。
 - 裂纹扩展：随着循环载荷的施加，裂纹逐渐扩展，通常经历亚稳态扩展阶段和失稳扩展阶段。
 - 最终断裂：当裂纹扩展到一定程度，导致剩余截面积无法承受载荷时，材料最终断裂。
5. 疲劳的影响因素：
 - 载荷幅值与频率：较大的载荷幅值和高频率会导致较快的疲劳损伤。
 - 环境因素：温度、湿度和化学腐蚀等因素对疲劳性能有显著影响。
 - 材料特性：材料的微观结构、缺陷和热处理状态都会影响疲劳寿命。
6. 疲劳试验：通常采用旋转弯曲试验、拉伸-压缩试验等方法，获取材料的疲劳特性数据，以便设计和选材。

第四节 零件的磨损失效

1. 磨损：磨损是指在摩擦过程中零件表面发生尺寸变化和物质耗损的现象。
2. 磨损的基本类型：
 - 粘着磨损：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。
 - 磨粒磨损：是指在滑动摩擦时，在零件表面摩擦区存在硬质磨粒，使磨面发生局部塑性变形、磨粒嵌入和被磨粒切割等过程，以致磨面材料逐渐耗损的一种磨损形式。

- 腐蚀磨损：在摩擦力和环境介质联合作用下，金属表层的腐蚀产物剥落与金属磨面间的机械磨损相结合的一种磨损形式。
3. 接触疲劳：接触疲劳是零件两接触面做滚动或滚动加滑动摩擦时，在交变接触压力的长期作用下引起的一种表面疲劳剥落破坏而使得物质耗损的现象。
- 裂纹源于表层的麻点脱落
 - 裂纹源于次表层的麻点脱落
 - 硬化层脱落
4. 提高零件磨损抗力的途径
- 黏着磨损：合理选择摩擦副配对材料、采用表面处理减小摩擦因数或提高表面硬度、减小接触压应力、减小表面粗糙值
 - 磨粒磨损：合理选用高硬度材料、采用表面处理
 - 氧化磨损：渗碳、渗氮、蒸汽处理
 - 微动磨损：采用衬垫、减小应力集中
 - 接触疲劳：提高材料的硬度、提高材料的纯净度、提高零件的心部强度和硬度，减小零件表面粗糙值、提高润滑油的粘度以降低油楔作用

第五节 零件的腐蚀失效

1. **腐蚀**：腐蚀是材料表面和周围介质发生化学反应或电化学反应引起的表面损伤现象，通常分为化学腐蚀和电化学腐蚀。
- **化学腐蚀**：指材料与气体或液体直接反应导致的损害，通常发生在干燥或无电解质介质中。
 - **电化学腐蚀**：材料在电解质介质中，由于电流流动引起的损害。通常涉及金属的氧化还原反应。
2. **高温氧化腐蚀**：
- 在高温环境下，金属表面与氧气反应生成氧化物层，这种氧化物可以保护基体金属，但在某些情况下，氧化物层可能会脱落，导致进一步腐蚀。
 - 常见于航空、发电等高温工况下的设备和部件。
 - 影响因素包括温度、氧浓度、材料性质及其表面状态。
3. **电化学腐蚀**：
- 通常发生在潮湿环境中，金属在电解质中失去电子而发生氧化，形成阳极和阴极反应。
 - 腐蚀速率与电流密切相关，电解质的浓度、温度和流动状态都会影响腐蚀过程。
 - 防止措施包括使用防腐涂层、牺牲阳极和阴极保护等。
4. **应力腐蚀**：
- 由外部应力和腐蚀环境共同作用导致材料破坏现象，通常发生在高强度合金和某些环境下（如氯化物环境）。
 - 可能导致材料的脆性断裂，常见于化学储存容器、管道等应用场合。
 - 防治措施包括合理设计、材料选择和控制应力水平。
5. **改善零件腐蚀抗力的措施**：
- 对于抗氧化，常采取的措施：选择抗氧化材料、表面涂层
 - 对于抗电化学腐蚀：选择耐蚀材料、表面涂层、电化学保护、加缓蚀剂
 - 对于抗应力腐蚀：设计时减少拉应力和应力集中、进行去应力退火、改变介质条件

第六节 零件在高温下的蠕变变形和断裂失效

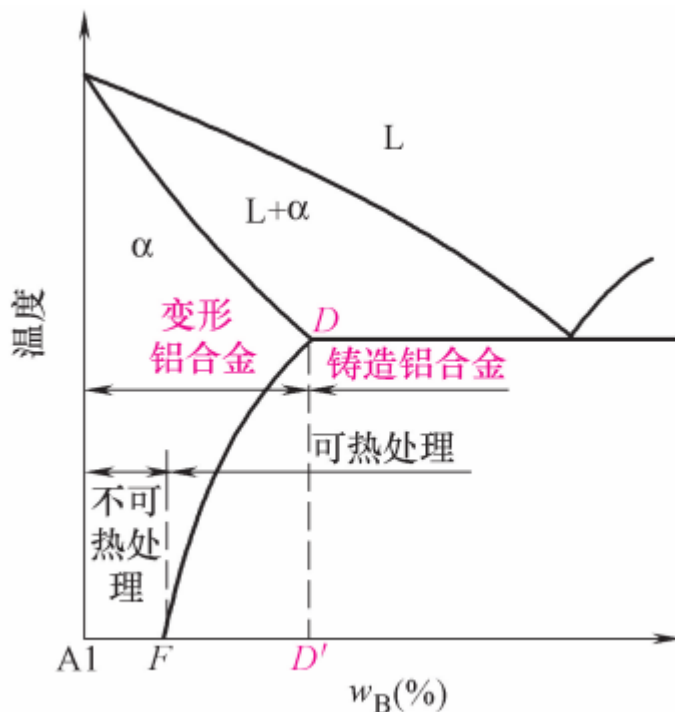
1. 蠕变：材料在长时间的恒温、恒应力作用下缓慢的产生塑性变形的现象称为蠕变。
2. 蠕变特性：
 - 减速蠕变阶段：材料在高温下的应力-应变关系较为线性。
 - 恒速蠕变阶段：蠕变速率达到恒定。
 - 加速蠕变阶段：材料逐渐失去承载能力，最终导致断裂。
3. 材料不同，蠕变曲线不同。对于同一材料，其蠕变曲线也会因温度和应力水平的不同而有所变化。
4. 蠕变极限：高温长期载荷作用下材料对塑性变形的抗力指标。
5. 高温下零件的失效及其防止
 - 高温下零件的失效有过量塑性变形、断裂、磨损、氧化腐蚀
 - 为了提高零件在高温下工作的寿命，常采取以下措施：正确选材，表面处理

第六章 有色金属及其合金

1. 铁及其合金称为黑色金属， 将其他非铁金属及其合金称为有色金属
2. 有色金属具有许多优良特性
 - 特殊的电、磁、热性能
 - 耐腐蚀性能
 - 高的比强度（强度/密度）等

第一节 铝及铝合金

1. **工业纯铝**：铝的质量分数不小于 99.00%
 - 铝是轻金属，密度为 2.72g/cm^3 ，仅为铁的 $1/3$
 - 具有良好的导电性和导热性
 - 磁化率极低，为非铁磁性材料
 - 耐大气腐蚀性能好
 - 为面心立方结构
 - 具有极好的塑性
2. **纯铝牌号**
 - 纯铝牌号中第一位数为 1， 即其牌号用 1×××表示；
 - 第三、四位数为最低铝的质量分数中小数点后面的两位数字
 - 如果第二位的字母为 A， 则表示原始纯铝； 如果第二位字母为 B 或其他字母， 则表示原始纯铝的改型情况， 即与原始纯铝相比， 元素含量略有改变； 如果第二位不是英文字母而是数字时， 则表示杂质极限含量的控制情况， 0 表示纯铝中杂质极限含量无特殊控制， 1 ~ 9 则表示对一种或几种杂质极限含量有特殊控制。
3. 铝合金中常加入的合金元素有**铜、镁、硅、锌、锰**等， 这些合金元素通过固溶强化和第二相强化作用， 可提高强度并仍保持纯铝的特性。
4. 铝合金分类：变形铝合金和铸造铝合金



- 成分在 D' 点以左的合金，称为**变形铝合金**。
- 成分在 D' 点以右的合金，称为**铸造铝合金**。
- 在变形铝合金中，成分在 F 点以左的合金，称为**不能热处理强化的铝合金**；
- 成分在 F ~ D' 之间的铝合金，称为**能热处理强化的铝合金**。
- 注：由于铸造铝合金中也有 α 固溶体，故也能用热处理强化。但随距 D' 越远，合金中 α 相越少，其强化效果越不明显。

5. 铝合金的主要强化途径：①冷变形（加工硬化）②变质处理（细晶强化）③热处理（时效强化）

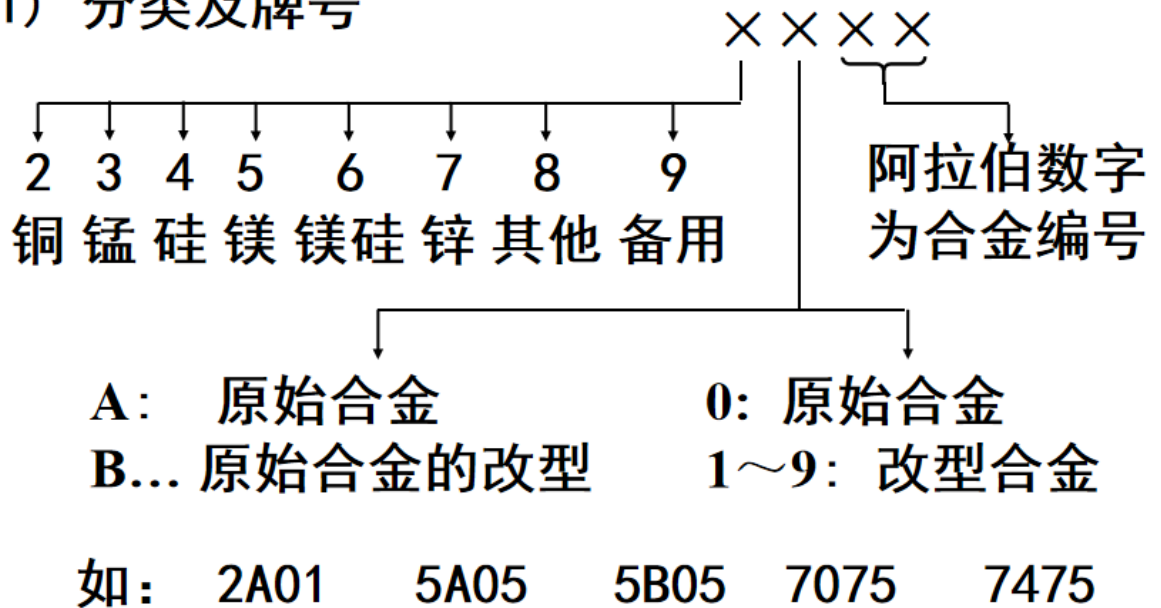
- 6.
- 铝合金的热处理是固溶（淬火）+时效处理
 - 变质处理工艺是在浇注前向合金熔液中加入变质剂，增加结晶核心、抑制晶粒长大，可有效地细化晶粒，从而提高合金强度，故称细晶强化

7. 变形铝合金

- 定义：变形铝合金均是以压力加工（轧、挤、拉等）方法，制成各种型材、棒料、板、管、线、箔等半成品供应，供应状态有退火态、淬火自然时效态、淬火人工时效态等

- ## 2. 变形铝合金

1) 分类及牌号



8. 铸造铝合金：用于制造铸件的铝合金为铸造铝合金，它的力学性能不如变形铝合金，但其铸造性能好，可进行各种铸造成形，生产形状复杂的零件毛坯。

◦ 分类

3. 铸造铝合金

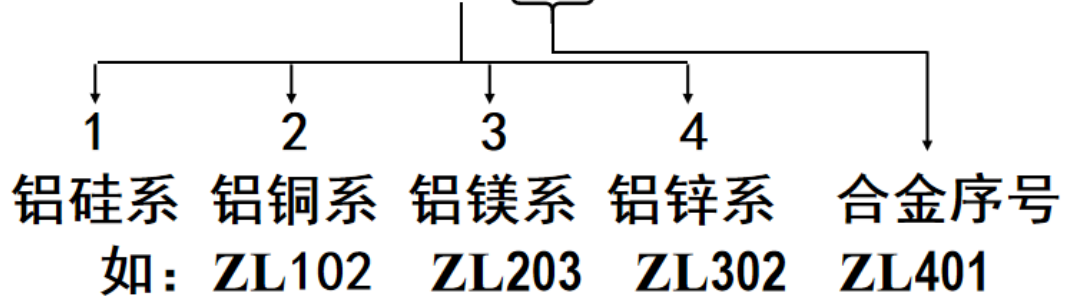
1) 分类及牌号

牌号 ZAl+主要合金元素符号及其平均质量分数

如：ZAlSi12

代号

ZL×××



- (1)Al-Si系铸造铝合金这类合金是铸造性能与力学性能配合最佳的一种铸造合金。其中最简单者为ZL102(ZAlSi12)W_{Si}=10%~13%，相当于共晶成分，铸态组织为α+Si共晶体。
- (2)Al-Cu系铸造铝合金 这类铝合金的w_{Cu}不低于4%，可通过热处理提高强度，具有较高的强度和耐热性。
- (3)Al-Mg系铸造铝合金 这类铝合金的优点是耐蚀性好，密度小(为2.55g/cm³)比纯铝还轻。
- (4)Al-Zn系铸造铝合金 这类铝合金的铸造性能好，与ZL102相似。经变质处理后可获得较高的强度，可以不经热处理直接使用。

◦ 性能特点

- 力学性能不如变形铝合金
- 良好的铸造性能
- 成本较低
- 适合于形状复杂的零构件、箱体、壳体等

◦ 应用：内燃机活塞，汽缸体，壳体...