

复合材料习题

第一章

一、判断题：判断以下各论点的正误。

- 1、复合材料是由两个组元以上的材料化合而成的。(×)
- 2、混杂复合总是指两种以上的纤维增强基体。(×)
- 3、层板复合材料主要是指由颗粒增强的复合材料。(×)
- 4、最广泛应用的复合材料是金属基复合材料。(×)
- 5、复合材料具有可设计性。(√)
- 6、竹、麻、木、骨、皮肤是天然复合材料。(√)
- 7、分散相总是较基体强度和硬度高、刚度大。(×)
- 8、玻璃钢问世于二十世纪四十年代。(√)

二、选择题：从 A、B、C、D 中选择出正确的答案。

- 1、金属基复合材料通常 (B、D)
A、以重金属作基体。B、延性比金属差。
C、弹性模量比基体低。D、较基体具有更高的高温强度。
- 2、目前，大多数聚合物基复合材料的使用温度为 (B)
A、低于 100℃。B、低于 200℃。
C、低于 300℃。D、低于 400℃。
- 3、金属基复合材料的使用温度范围为 (B)
A、低于 300℃。B、在 350-1100℃之间。
C、低于 800℃。D、高于 1000℃。
- 4、混杂复合材料 (B、D)
A、仅指两种以上增强材料组成的复合材料。B、是具有混杂纤维或颗粒增强的复合材料。
C、总被认为是两向编织的复合材料。D、通常为多层复合材料。
- 5、玻璃钢是 (B)
A、玻璃纤维增强 Al 基复合材料。
B、玻璃纤维增强塑料。
C、碳纤维增强塑料。
D、氧化铝纤维增强塑料。
- 6、功能复合材料 (A、C、D)
A、是指由功能体和基体组成的复合材料。
B、包括各种力学性能的复合材料。
C、包括各种电学性能的复合材料。
D、包括各种声学性能的复合材料。
- 7、材料的比模量和比强度越高 (A)
A、制作同一零件时自重越小、刚度越大。
B、制作同一零件时自重越大、刚度越大。
C、制作同一零件时自重越小、刚度越小。

D、制作同一零件时自重越大、刚度越小。

三、简述增强材料（增强体、功能体）在复合材料中所起的作用，并举例说明。

填充：廉价、颗粒状填料，降低成本。例：PVC 中添加碳酸钙粉末。

增强：纤维状或片状增强体，提高复合材料的力学性能和热性能。效果取决于增强体本身的力学性能、形态等。例：TiC 颗粒增强 Si_3N_4 复合材料、碳化钨/钴复合材料，切割工具；碳/碳复合材料，导弹、宇航工业的耐热材料（抗烧蚀），端头帽、鼻锥、喷管的喉衬。

赋予功能：赋予复合材料特殊的物理、化学功能。作用取决于功能体的化学组成和结构。

四、复合材料为何具有可设计性？简述复合材料设计的意义。如何设计防腐蚀（碱性）玻璃纤维增强塑料？

组分的选择、各组分的含量及分布设计、复合方式和程度、工艺方法和工艺条件的控制等均影响复合材料的性能，赋予了复合材料性能的可设计性。

意义：①每种组分只贡献自己的优点，避开自己的缺点。②由一组分的优点补偿另一组分的缺点，做到性能互补。③使复合材料获得一种新的、优于各组分的性能（叠加效应）。优胜劣汰、性能互补、推陈出新。

耐碱玻璃纤维增强塑料的设计：使用无碱玻璃纤维和耐碱性树脂（胺固化环氧树脂）。在保证必要的力学性能的前提下，尽量减少玻璃纤维的体积比例，并使树脂基体尽量保护纤维不受介质的侵蚀。

六、简述复合材料增强体与基体之间形成良好界面的条件。

在复合过程中，基体对增强体润湿；增强体与基体之间不产生过量的化学反应；生成的界面相能承担传递载荷的功能。

复合材料的界面效应，取决于纤维或颗粒表面的物理和化学状态、基体本身的结构和性能、复合方式、复合工艺条件和环境条件。

第二章

四、什么是材料复合的结构效果？试述其内涵。

结构效果是指在描述复合材料的性能时，必须考虑组分的几何形态、分布形态和尺度等可变因素。这类效果往往可以用数学关系描述。

结构效果包括：1、几何形态效果（形状效果）：决定因素是组成中的连续相。对于 1 维分散质，当分散质的性质与基体有较大差异时，分散质的性能可能会对复合材料的性能起支配作用。2、分布形态效果（取向效果）：又可分为几何形态分布（几何体的取向）和物理性能取向：导致复合材料性能的各向异性，对复合材料的性能有很大影响。3、尺度效果：影响材料表面物理化学性能（比表面积、表面自由能）、表面应力分布和界面状态，导致复合材料性能的变化。

十一、垂直于纤维扩展的裂纹需要克服哪些断裂能？

对于脆性纤维/脆性基体复合材料，需要克服的断裂功：纤维拔出和纤维断裂（吸收能量）、纤维与基体的脱胶（纤维与基体的界面较弱时：消耗贮存的应变能）、应力松弛（纤维断裂时：消耗贮存的应变能）、纤维桥连（消耗纤维上的应变能）。

对于脆性纤维/韧性基体复合材料，基体的塑性变形（粘接强度很高、纤维无法拔出时：吸收能量）也会增加断裂功。

第三章

一、判断题：判断以下各论点的正误。

- 1、不饱和聚酯树脂是用量最大的聚合物复合材料基体。(√)
- 2、环氧树脂是用于耐高温的热固性树脂基体。(×)
- 3、热固性树脂是一种交联的高分子，一般不结晶；而热塑性树脂是线型、结晶的高分子。(×)

- 4、聚酰亚胺是一类分子中含有基团 $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ -\text{C}-\text{N}-\text{C}- \\ | \end{array}$ 的热固性树脂。(√)

- 1、MMC 具有比聚合物基复合材料更高的比强度和比模量。(×)
- 2、MMC 具有比其基体金属或合金更高的比强度和比模量。(√)
- 3、原位复合 MMC 的增强材料/基体界面具有物理与化学稳定性。(√)
- 4、原位复合法制备 MMC 的基本思路是为了提高增强材料与基体之间的浸润性和减少界面反应。(√)
- 5 一般，颗粒及晶须增强 MMC 的疲劳强度及寿命比基体金属或合金高。(√)
- 6、陶瓷纤维增强 MMC 的抗蠕变性能高于基体金属或合金。(√)
- 1、陶瓷基复合材料的制备过程大多涉及高温，因此仅有可承受上述高温的增强材料才可被用于制备陶瓷基复合材料。(√)
- 2、化学气相浸渍法 (CVI) 是一种用于多孔预制体的化学气相沉积。(√)
- 3、在碳化硅晶须增强氧化铝陶瓷复合材料的压制阶段，碳化硅晶须取向于垂直于压轴方向。(√)
- 4、 Y_2O_3 加入到 ZTA (zirconia toughening alumina) 中是为了促进相变形成单斜晶体。(×)
- 5、陶瓷复合材料中，连续纤维的增韧效果远远高于颗粒增韧的效果。(√)
- 6、玻璃陶瓷是含有大量微晶体的陶瓷。(×)
- 7、陶瓷基复合材料的最初失效往往是陶瓷基体的开裂。(√)

- 1、所有的天然纤维是有机纤维，所有的合成纤维是无机纤维。(×)
- 2、聚乙烯纤维是所有合成纤维中密度最低的纤维。(√)
- 3、玻璃纤维是晶体，其晶粒尺寸约 $20\mu\text{m}$ 。(×)
- 4、氧化铝纤维仅有 $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 晶体结构。(×)
- 5、硼纤维是由三溴化硼沉积到加热的丝芯上形成的。(√)
- 6、PAN 是 SiC 纤维的先驱体。(×)
- 7、纤维表面处理是为了使纤维表面更光滑。(×)
- 8、Kevlar 纤维具有负的热膨胀系数。(×)
- 9、石墨纤维的含碳量、强度和模量都比碳纤维高。(√)
- 1、 C_f/C 是目前唯一可用于温度高达 2800°C 的高温复合材料，但必须是在非氧化性气氛下。(√)
- 2、 C_f/C 的制备方法与 MMC 的制备方法相类似，如液态法、固态法等。(×)

- 3、C_f/C 已在航空航天、军事领域中得到了广泛应用，这主要是因为其价格便宜、工艺简便易行，易于推广应用。(×)
- 4、单向增强和三维增强的 C_f/C 的力学与物理性能（热膨胀、导热）为各向同性。(×)
- 5、一般沉积碳、沥青碳以及树脂碳在偏光显微镜下具有相同的光学特征，即各向同性。(×)
- 6、一般酚醛树脂和沥青的焦化率基本相同，在高压下，它们的焦化率可以提高到 90%。(√)
- 7、采用硼类添加剂，如 B₂O₃、B₄C 等，C_f/C 的抗氧化温度可提高到 600℃左右。(√)
- 8、目前，高温抗氧化保护涂层已可使 C_f/C 安全使用温度达 1650℃，在更高温度下只能起短时保护作用。(√)

二、选择题：从 A、B、C、D 中选择出正确的答案。

1、聚酰亚胺的使用温度一般在：(D)

A、120℃以下 B、180℃以下 C、250℃以下 D、250℃以上

2、拉挤成型是 (A、C)

A、低劳动强度、高效率 FRP 生产方法。

B、适于大型、复杂形状制品。

C、适于恒定截面型材。

D、设备投资少。

3、玻璃纤维增强环氧复合材料力学性能受吸湿影响，原因是 (B、D)

A、环氧树脂吸湿变脆。

B、水起增塑剂作用，降低树脂玻璃化温度。

C、纤维吸湿、强度降低。

D、破坏纤维与基体界面。

4、碳纤维表面处理是为了 (A、C、D)

A、表面引入活性官能团，如羧基、羟基、羰基等。

B、表面引入偶联剂。

C、清除表面污染。

D、增加纤维与基体粘结强度。

5、偶联剂是这样一种试剂：(A、C)

A、它既能与纤维反应，又能与基体反应。

B、它能与纤维反应，但不能与基体反应，也不与基体相容。

C、它能与纤维反应，不与基体反应，但与基体相容。

D、它不与纤维反应，但与基体反应或相容。

1、通常 MMC (metal matrix composite) (B、C)

A、采用高熔点、重金属作为基体。

B、要比基体金属或合金的塑性与韧性差。

C、要比基体金属或合金的工作温度高。

D、要比基体金属或合金的弹性模量低。

2、原位 MMC (B、D)

A、可以通过压铸工艺制备。

- B、可以通过定向凝固工艺制备。
 - C、可以通过扩散结合或粉末法制备。
 - D、可以通过直接金属氧化法（DIMOXTM）制备。
- 3、单向纤维增强 MMC 的纵向拉伸模量（A、D）
- A、随纤维体积分量的增加而增加。
 - B、与纤维体积分量无关，而与纤维和基体的模量有关。
 - C、与横向拉伸模量相同。
 - D、与基体的模量有关。
- 4、在体积分量相同情况下，SiC 晶须与颗粒增强 MMC（B）
- A、具有基本相同的抗拉强度和屈服强度。
 - B、具有基本相同的拉伸模量。
 - C、具有基本相同的断裂韧性。
 - D、具有基本相同的蠕变性能。
- 5、MMC 制备工艺中，固态法与液态法相比（A、B）
- A、增强材料与基体浸润性要求可以降低。
 - B、增强材料在基体中分布更均匀。
 - C、增强材料仅局限于长纤维。
 - D、增强材料/基体界面反应更剧烈（如果存在界面反应时）。
- 6、为了改善增强材料与基体浸润性，制备 MMC 时，可以通过（A、B、D）
- A、基体合金化，以降低液态基体的表面张力。
 - B、基体合金化，以增加液态基体与增强材料的界面能。
 - C、涂层，增加增强材料的表面能。
 - D、涂层，降低增强材料的表面能。
- 7、MMC 中，目前典型的增强材料/基体界面包括有（A、B、C）
- A、不发生溶解，也不发生界面反应，如 B_f/Al。
 - B、不发生溶解，但发生界面反应，如 B_f/Ti。
 - C、极不容易互相浸润，但能发生强烈界面反应，如 C_f/Al。
 - D、既容易互相浸润，又不发生界面反应，如 SiC_f/Al。
- 1、浆体是（D）
- A、一种溶胶。
 - B、丢失一定液体的溶胶。
 - C、颗粒小于 100nm 的小颗粒在液体中的悬浮液。
 - D、1-50μm 颗粒在液体中的悬浮液。
- 2、用碳化硅晶须增强氧化铝陶瓷（A、B）
- A、提高了抗热震性。
 - B、降低了热膨胀系数。
 - C、减少了热传导性。
 - D、增加了密度。

3、微裂纹增韧（A、D）

- A、主要是由于颗粒热膨胀系数不同产生的残余应力。
- B、是由于颗粒总处于拉应力状态。
- C、是由于颗粒总处于压应力状态。
- D、颗粒的压力状态与热膨胀系数失配和压力大小有关。

4、相变增韧（B、C）

- A、是由于陶瓷基体中加入的氧化锆由单斜相转变为四方相。
- B、是由于陶瓷基体中加入的氧化锆由四方相转变为单斜相。
- C、其增韧机理是陶瓷基体由于氧化锆相变产生了微裂纹。
- D、总是导致陶瓷基复合材料的强度下降。

5、纤维拔出（C、D）

- A、是纤维在外力作用下与基体的脱离。
- B、其拔出能总是小于脱粘能。
- C、其拔出能总是大于脱粘能。
- D、增韧作用比纤维脱粘强。

1、Kevlar 纤维（A、B）

- A、由干喷湿纺法制成。
- B、轴向强度较径向强度高。
- C、强度性能可保持到 1000℃ 以上。
- D、由化学沉积方法制成。

2、玻璃纤维（A、C、D）

- A、由 SiO_2 玻璃制成。
- B、在所有纤维中具有最高的比弹性模量。
- C、具有短程网络结构。
- D、价格便宜、品种多。

3、氧化铝纤维（B、C）

- A、由有机先驱体制成。
- B、通过浆体成型法制成。
- C、有 γ 、 α 、 δ 晶型。
- D、具有较高的比强度。

4、SiC 纤维（B、C）

- A、用浆体成型法制成。
- B、用化学气相沉积法制成。
- C、有时含有 W 芯。
- D、常用于聚合物基复合材料。

5、聚乙烯纤维（A、C）

- A、纤维强度随分子量增大而增高。
- B、分子量越大，加工越容易。

- C、熔点较低，约 135℃左右。
- D、能在 200℃使用。
- 6、生产碳纤维的主要原料有（A、B、D）
- A、沥青。
- B、聚丙烯腈。
- C、聚乙烯。
- D、人造丝。
- 7、各种纤维在拉伸断裂前不发生任何屈服，但在 SEM 下观察到（A、D）
- A、Kevlar 纤维呈韧性断裂，有径缩及断面减小。
- B、碳纤维呈韧性断裂，有断面收缩。
- C、玻璃纤维呈韧性断裂，有断面收缩。
- D、碳纤维、玻璃纤维呈脆性断裂，无断面收缩。
- 8、在所有纤维中（A、B、D）
- A、聚乙烯纤维具有最佳的比模量和比强度搭配。
- B、碳纤维的比模量最高。
- C、氧化铝纤维的比模量和比强度最高。
- D、玻璃纤维的比模量最低。
- 9、晶须（A、B）
- A、是含有缺陷很少的单晶短纤维。
- B、长径比一般大于 10。
- C、直径为数十微米。
- D、含有很少缺陷的短纤维。
- 10、颗粒增强体（B、C）
- A、是一种粒状填料。
- B、用于改善基体的力学性能。
- C、可分为刚性和延性颗粒两种。
- D、起填充体积作用。
- 1、C/C 具有：（B、C）
- A、比 PMC、MMC 更高的高温强度。
- B、假塑性断裂特性，在高温下比陶瓷或石墨的断裂韧性高。
- C、优异的高温摩擦磨损特性。
- D、各向同性的拉伸、压缩强度和模量。
- 2、C/C 可以做为：（A、B、D）
- A、比石墨性能更好的高温热压模具。
- B、军用或民用飞机刹车装置中的摩擦材料。
- C、航天飞机的机翼和鼻锥。
- D、固体火箭发动机喷管的喉衬或喷口部件。
- 3、C/C 中的基体碳，可以选用：（A、D）

- A、沥青碳。
- B、天然石墨。
- C、炭黑。
- D、沥青碳、沉积碳和树脂碳共同作为基体碳。

4、C/C 的 CVD 工艺 (A、B、C)

- A、其原理与陶瓷基复合材料的 CVI 相同。
- B、可分为等温、温度梯度、压力梯度以及温度-压力梯度等工艺方法。
- C、该工艺中，为防止孔隙口的堵塞，应使扩散速度大于沉积速度。
- D、该工艺中，为防止孔隙口的堵塞，应使扩散速度小于沉积速度。

5、选择 C/C 高温抗氧化涂层材料的主要关键是：(C)

- A、涂层材料的高熔点。
- B、涂层材料高温抗氧化性和热膨胀系数。
- C、涂层的氧扩散渗透率极低和与 C/C 的热膨胀系数匹配性。
- D、涂层材料高温挥发性。

三、不饱和聚酯树脂的基本配方是什么？各起什么作用？

不饱和聚酯树脂的基本配方：

不饱和聚酯：主要成分

稀释剂：稀释作用（降低聚酯粘度），参与树脂固化，如苯乙烯。

引发剂：分解产生自由基，引发树脂聚合（交联、固化），如 BPO。

促进剂：诱导引发剂分解，加快树脂固化，如环烷酸钴。

其它成分：颜料、增稠剂、热塑性低收缩剂等。

七、如何改善聚合物的耐热性能？

产生交联结构（对于热固性树脂、有机硅树脂等，工艺条件影响聚合物的交联密度）。

增加高分子链的刚性（引进不饱和共价键或环状结构（脂环、芳环、杂环）、引入极性基团）。

提高聚合物分子链的键能，避免弱键的存在（例：以 C-F 键完全取代 C-H 键，可大大提高聚合物的热稳定性）。

形成结晶聚合物，结晶聚合物的熔融温度大大高于相应的非结晶聚合物。

八、简述不饱和聚酯树脂基体的组成、代表物质及作用。

主要成分：不饱和聚酯树脂，按化学结构可分为顺酐型、丙烯酸型、丙烯酸环氧酯型聚酯树脂。

辅助材料：交联剂、引发剂和促进剂

交联剂：烯类单体，既是溶剂，又是交联剂。能溶解不饱和聚酯树脂，使其双键间发生共聚合反应，得到体型产物，以改善固化后树脂的性能。常用的交联剂：苯乙烯、甲基丙烯酸甲酯、邻苯二甲酸二丙烯酸酯、乙烯基甲苯等。

引发剂：一般为有机过氧化物，在一定的温度下分解形成游离基，从而引发不饱和聚酯树脂的固化。常用的引发剂：过氧化二异丙苯 $[\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{O}_2]$ 、过氧化二苯甲酰 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO})_2\text{O}_2$ 。

促进剂：把引发剂的分解温度降到室温以下。

对过氧化物有效的促进剂：二甲基苯胺、二乙基苯胺、二甲基甲苯胺等。

对氢过氧化物有效的促进剂：具有变价的金属钴：环烷酸钴、萘酸钴等。

九、简述不饱和聚酯树脂的固化特点。

不饱和聚酯树脂的固化是放热反应，可分为三个阶段：

胶凝阶段：从加入促进剂到不饱和聚酯树脂变成凝胶状态的时间，是固化过程最重要的阶段。影响胶凝时间的因素：阻聚剂、引发剂和促进剂的加入量，交联剂的蒸发损失，环境温度和湿度等。

硬化阶段：从树脂开始胶凝到具有一定硬度，能把制品从模具上取下为止的时间。

完全固化阶段：通常在室温下进行，可能需要几天至几星期。

十、简述复合材料中金属基体的选择原则。

1、根据金属基复合材料的使用要求。

2、根据金属基复合材料的组成特点：对于连续纤维增强金属基复合材料，不要求基体有很高的强度，对于非连续增强金属基复合材料（颗粒、晶须、短纤维），基体承担主要载荷，要求高强度。

3、根据金属基体与增强材料的界面状态和相容性

选择金属基体时，尽量避免基体与增强材料发生化学反应，同时应注意基体与增强材料的相容性，基体和增强材料应该有较好的浸润性。

十二、如何改善陶瓷的强度？

减少陶瓷内部和表面的裂纹：

含有裂纹是材料微观结构的本征特性。微观夹杂、气孔、微裂纹等都能成为裂纹源，材料对表面裂纹（划伤、擦伤）也十分敏感。

提高断裂韧性（ K_{IC} ）：

采用复合化的途径，添加陶瓷粒子、纤维或晶须，引入各种增韧机制（增加裂纹的扩散阻力及裂纹断裂过程消耗的能量），可提高陶瓷的韧性。

十四、玻璃纤维为何具有高强度？试讨论影响玻璃纤维强度的因素。

玻璃的理论强度很高（2000-12000MPa），但是由于微裂纹的存在，产生应力集中，发生破坏，从而降低了玻璃的强度。玻璃纤维经高温成型时减少了玻璃溶液的不均一性，使得裂纹产生的机会减少；同时，玻璃纤维的横截面较小，微裂纹存在的几率也减少，导致玻璃纤维强度较高。

影响玻璃纤维强度的因素：

1、化学组成：不同的玻璃纤维（不同系统），强度有很大差别。一般来说，含碱量越高（ K_2O 、 PbO ），玻璃纤维的强度越低。

2、玻璃纤维的直径和长度：随着玻璃纤维的直径和长度的减小，微裂纹的数量和尺寸相应地减小，从而提高了玻璃纤维的强度。

3、存放时间：玻璃纤维存放一定时间后，由于空气中的水分对玻璃纤维的侵蚀，导致强度下降。

4、施加负荷时间：玻璃纤维的拉伸强度随着施加负荷时间的增加而降低，当环境湿度较高时更加明显。原因：吸附在微裂纹中的水分，在外力作用下，加速微裂纹的扩展，从而导致强度降低。

十七、举例说明碳纤维的应用。

作为复合材料的增强体。

航空、航天工业：主承力结构材料（机体、舱门、主翼、尾翼）；次承力构件（ C_f /环氧树脂：起落架、发动机舱、整流罩）；隔热材料（火箭喷嘴、鼻锥（ C_f/C ））。

交通运输：汽车传动轴、构架，制造快艇、巡逻艇。

运动器材：钓鱼竿、高尔夫球杆、网球拍、滑雪板、赛艇（ C_f /环氧树脂）。

第四章

- 1、基体与增强体的界面在高温使用过程中不发生变化。（×）
- 2、比强度和比模量是材料的强度和模量与其密度之比。（√）
- 3、浸润性是基体与增强体间粘结的必要条件，但非充分条件。（√）
- 4、基体与增强体间界面的模量比增强体和基体高，则复合材料的弹性模量也越高。（×）
- 5、界面间粘结过强的复合材料易发生脆性断裂。（√）
- 6、脱粘是指纤维与基体完全发生分离的现象。（×）
- 7、混合法则可用于任何复合材料的性能估算。（×）
- 8、纤维长度 $l < l_c$ 时，纤维上的拉应力达不到纤维的断裂应力。（√）

二、选择题：从 A、B、C、D 中选择出正确的答案。

1、复合材料界面的作用（B）

- A、仅仅是把基体与增强体粘结起来。
- B、将整体承受的载荷由基体传递到增强体。
- C、总是使复合材料的性能得以改善。
- D、总是降低复合材料的整体性能。

2、浸润性（A、D）

- A、当 $\gamma_{sl} + \gamma_{lv} < \gamma_{sv}$ 时，易发生浸润。
- B、当 $\gamma_{sl} + \gamma_{lv} > \gamma_{sv}$ 时，易发生浸润。
- C、接触角 $\theta = 0^\circ$ 时，不发生浸润。
- D、是液体在固体上的铺展。

3、增强材料与基体的作用是（A、D）

- A、增强材料是承受载荷的主要组元。
- B、基体是承受载荷的主要组元。
- C、增强材料和基体都是承受载荷的主要组元。
- D、基体起粘结作用并起传递应力和增韧作用。

4、混合定律（A）

- A、表示复合材料性能随组元材料体积含量呈线性变化。
- B、表示复合材料性能随组元材料体积含量呈曲性变化。

- C、表达了复合材料的性能与基体和增强体性能与含量的变化。
- D、考虑了增强体的分布和取向。
- 5、剪切效应是指 (A)
- A、短纤维与基体界面剪应力的变化。
- B、在纤维中部界面剪应力最大。
- C、在纤维末端界面剪应力最大。
- D、在纤维末端界面剪应力最小。
- 6、纤维体积分数相同时，短纤维的强化效果趋于连续纤维必须 (C)
- A、纤维长度 $l=5l_c$ 。
- B、纤维长度 $l<5l_c$ 。
- C、纤维长度 $l=5-10l_c$ 。
- D、纤维长度 $l>10l_c$ 。
- 7、短纤维复合材料广泛应用的主要原因 (A、B)
- A、短纤维比连续纤维便宜。
- B、连续纤维复合材料的制造方法灵活。
- C、短纤维复合材料总是各相同性。
- D、使短纤维定向排列比连续纤维容易。
- 8、当纤维长度 $l>l_c$ 时，纤维上的平均应力 (A、C)
- A、低于纤维断裂应力。
- B、高于纤维断裂应力。
- C、正比于纤维断裂应力。
- D、与 l 无关。

九、试述影响复合材料性能的因素。

基体和增强材料（增强体或功能体）的性能；复合材料的结构和成型技术；复合材料中增强材料与基体的结合状态（物理的和化学的）及由此产生的复合效应。

十、复合材料的界面具有怎样的特点？

界面相的化学组成、结构和物理性能与增强材料和基体的均不相同，对复合材料的整体性能产生重大影响。

界面具有一定的厚度（约几个纳米到几个微米），厚度不均匀。

材料特性在界面是不连续的，这种不连续性可能是陡变的，也可能是渐变的。材料特性包括元素的浓度、原子的配位、晶体结构、密度、弹性模量、热膨胀系数等。

十一、什么是浸润？如何描述浸润程度的大小？试讨论影响润湿角大小的因素。

浸润：固-气界面被固-液界面置换的过程，用于描述液体在固体表面上自动铺展的程度。

固体表面的润湿程度可以用液体分子对其表面的作用力大小来表征，具体来说就是接触角。

Young 公式讨论了液体对固体的润湿条件：

$$\gamma_{lv} \cdot \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl}$$

降低液-固表面能和液-气表面能或者增大固-气表面能有助于润湿。

$\theta=0^\circ$ ($\gamma_{lv}=\gamma_{sv}-\gamma_{sl}$)，完全浸润； $0^\circ<\theta<90^\circ$ ($\gamma_{lv}>\gamma_{sv}-\gamma_{sl}>0$)，部分浸润； $\theta>90^\circ$ ($\gamma_{sv}<\gamma_{sl}$)，完全不

浸润。

影响接触角（润湿角）大小的因素：

固体表面的原始状态，例：吸附气体、氧化膜等均使接触角增大。

固体表面粗糙度增加将使接触角减小。

固相或液相的夹杂、相与相之间化学反应的产物都将影响润湿性。原因：夹杂或反应产物改变了固相的性质和固相的表面粗糙度。

十四、简述复合材料的界面结合类型及其特点。

1、机械结合：增强材料与基体之间仅依靠纯粹的粗糙表面相互嵌入（互锁）作用进行连接（摩擦力），没有化学作用。

影响机械结合的因素：增强材料与基体的性质、纤维表面的粗糙度、基体的收缩（正压力）有利于纤维箍紧。

2、溶解与浸润结合：在复合材料的制造过程中，由单纯的浸润和溶解作用，使增强材料和基体形成交错的溶解扩散界面，是一种次价键力的结合。（当基体的基团或分子与增强材料表面间距小于 0.5nm 时，次价键力就发生作用。次价键力包括诱导力、色散力、氢键等。）形成溶解与浸润结合的基本条件：增强材料与基体间的接触角小于 90°，增强材料与基体间有一定的溶解能力。

3、反应界面结合：基体与增强材料间发生化学反应，在界面上形成新的化合物、以主价键力相互结合。这是一种最复杂、最重要的结合方式。

反应结合受扩散控制，扩散包括反应物质在组分物质中的扩散（反应初期）和在反应产物中的扩散（反应后期）。要实现良好的反应结合，必须选择最佳的制造工艺参数（温度、压力、时间、气氛等）来控制界面反应的程度。

界面反应层是非常复杂的组成，有时发生多个反应，产生交换反应结合。界面的反应产物大多是脆性物质，达到一定厚度时，界面上的残余应力可使其发生破坏，因此，界面结合先随反应程度提高而增加结合强度，但反应达到一定程度后，界面结合有所减弱。

4、混合结合：上述界面结合方式的混合，实际情况中发生的重要的界面结合形式。

十九、什么是增强材料的表面处理？简述偶联剂的化学结构及作用。

表面处理是在增强材料的表面涂覆上表面处理剂（包括浸润剂、偶联剂、助剂等物质），它有利于增强材料与基体间形成良好的粘结界面的，从而达到提高复合材料各种性能的目的。

偶联剂的化学结构：分子两端含有性质不同的基团，一端的基团与增强材料表面发生化学作用或物理作用，另一端的基团则能和基体发生化学作用或物理作用，从而使增强材料与基体很好地偶联起来，获得良好的界面粘结，改善了多方面的性能，并有效地抵抗水的侵蚀。

二十一、试述碳纤维的表面处理方法及作用效果：

1、表面浸涂有机化合物：采用类似纺织中的浆纱工艺，在碳纤维表面涂覆含有反应性端基的树脂（羟端基的丁二烯/丙烯酸共聚物等），以改善碳纤维的界面粘结性。

2、表面涂覆无机化合物：

①表面上沉积无定形碳：在高模量结晶型碳纤维表面加涂一层低模量无定形碳，无定形碳活性大，易与树脂浸润，提高界面粘结力，能显著提高碳纤维复合材料的层间剪切强度。

②加涂碳化物：用化学气相沉积（CVD）的方法加涂碳化物。

3、表面化学处理：

①臭氧氧化法：臭氧极易分解成一个氧分子和一个新生态活泼氧原子，氧化碳纤维表面的不饱和碳原子，生成含氧官能团。

②阳极电解氧化法：靠电解产生的新生态氧对碳纤维表面进行氧化和腐蚀，碳纤维表面被氧化腐蚀，使比表面积增大、化学基团增加。

③盐溶液处理：先浸涂甲酸、乙酸、硝酸等的铜、铅、钴等盐类溶液，然后在空气或氧气中于 200-600℃下氧化，使碳纤维表面粗糙而达到改善效果。

第五章

一、简述陶瓷基复合材料的特点。

陶瓷基复合材料的特点： E_f 和 E_m 的数量级相当；陶瓷基体的韧性有限；增强材料与陶瓷基体之间的热膨胀系数不匹配、化学相容性问题突出。

五、简述碳/碳复合材料的性能。

力学性能：密度小；拉伸强度、弯曲强度、杨氏模量高；脆性大，应力-应变曲线呈现“假塑性效应”：施加载荷初期呈线性关系，随后变为双线性。卸载后再加载荷，曲线仍为线性，并可达到原来的载荷水平。

热物理性能：热膨胀系数小，尺寸稳定；热导率高，并可以调节；比热容高；抗热震因子大。

烧蚀性能（蒸发升华、热化学氧化）：碳/碳复合材料烧蚀均匀、烧蚀凹陷浅，能良好地保持制件外形；烧蚀热高，为内层材料和存放的器件提供保护。

化学稳定性：具有与碳一样的化学稳定性；抗氧化性能差。改善碳/碳复合材料抗氧化性能的方法：浸渍树脂时加入抗氧化物质；气相沉积碳时加入抗氧元素；碳化硅涂层。

六、简述陶瓷的增韧方法。

1、晶须和纤维增韧：吸收能量。

裂纹扩展受阻：当增强体（纤维或颗粒）的断裂韧性大于基体中某些区域的断裂韧性时，纤维受到的残余应力为拉应力，具有收缩趋势，可以使基体裂纹压缩并闭合，阻止裂纹的扩展。

纤维（或晶须）拔出：具有较高断裂韧性的纤维，当基体裂纹扩展至纤维时，应力集中导致结合较弱的纤维与基体之间的界面解离，在进一步应变时，将导致纤维在弱点处断裂，随后纤维的断头从基体中拔出。

纤维（或晶须）桥联：在基体开裂后，纤维承受外加载荷，并在基体的裂纹面之间架桥。桥联的纤维对基体产生使裂纹闭合的力，消耗外加载荷做功，从而增大材料的韧性。

2、相变增韧：(shielding mechanism)

在含有部分稳定的氧化锆粒子的氧化铝复合材料中：在裂纹尖端的应力区域，稳定的氧化锆 ($ZrO_2+Y_2O_3$) 发生应力诱导的马氏体相变（一部分断裂能量被用于应力诱发转移）： $ZrO_2(t) \rightarrow ZrO_2(m)$ ，产生约 5% 的体积膨胀和约 16% 的剪切变形（剪切变形由产生孪晶等方式抵消）。这种体积膨胀和切变，在裂纹尖端产生了一种封闭裂纹的应力，减少了集中在裂纹尖端的拉伸应力，使裂纹扩展困难，达到增韧效果。

3、微裂纹钝化: (crack shielding mechanism): 吸收能量

主裂纹扩展时, 其尖端高应力区域容易产生微裂纹, 微裂纹是产生膨胀应变的机理之一: 在微裂纹产生之前, 存在有局部的拉伸残余应力。微裂纹增韧机制适合于基体弹性模量较低的陶瓷基复合材料。

4、非屏蔽机理:

利用裂纹与材料间的相互作用消耗额外的能量, 使断裂能量提高, 对应力强度因子的贡献很小, 包括裂纹偏转 (裂纹沿着结合较弱的纤维/基体界面弯折, 偏离原来的扩展方向, 呈锯齿状扩展, 从而使断裂路径增加) 或裂纹弯曲 (裂纹扩展时由于强化相的阻碍使得尖端路径弯曲, 从而使测得的断裂韧性值提高)。

考试点
kaoshidian.com