

复合材料的界面 及复合原理

主要内容

- ❖ 复合材料组元的选择
- ❖ 制备方法的选择
- ❖ 复合材料的界面理论
- ❖ 聚合物基复合材料的界面
- ❖ 金属基复合材料的界面
- ❖ 陶瓷基复合材料的界面

复合材料的界面及复合原理

❖ 复合材料的设计原则

要想制备一种好的复合材料，首先应根据所要求的性能进行设计，这样才能成功地制备出性能理想的复合材料。

➤ 设计复合材料应遵循的原则：

- ⊗ 材料组元的选择
- ⊗ 各组元之间的相容性
- ⊗ 界面结合强度

复合材料的设计原则

❖ 材料组元的选择

- ★ 明确对材料性能的要求。选择材料组元时，应明确各组元在使用中所应承担的功能。
- ★ 要求复合后材料达到的性能，如高强度、高刚度、高耐蚀、耐磨、耐热或其它的导电、传热等性能或者某些综合性能如既高强又耐蚀、耐热。例如，设计复合材料结构件，复合的目的是使复合后材料具有最佳的强度、刚度和韧性等。
- ★ 根据复合材料所需的性能选择基体材料和增强材料。设计结构件复合材料时，一种组元主要起承受载荷的作用，它必须具有高强度和高模量，这种组元就是所要选择的增强材料；其它组元起传递载荷及协同的作用，而且要把增强材料粘结在一起，这类组元就是要选的基体材料。

复合材料的设计原则

❖ 组元的相容性

- ★ 除考虑性能要求外，还应考虑组成复合材料的各组元之间的相容性，这包括物理、化学、力学等性能的相容，使材料各组元彼此和谐地共同发挥作用。
- ★ 在任何使用环境中，复合材料的各组元之间的伸长、弯曲、应变等都应相互或彼此协调一致。

复合材料的设计原则

❖ 界面结合强度

考虑复合材料各组元之间的浸润性，使增强材料与基体之间达到比较理想的具有一定结合强度的界面。适当的界面结合强度不仅有利于提高材料的整体强度，更重要的是便于将基体所承受的载荷通过界面传递给增强材料，以充分发挥其增强作用。

- ★ 结合强度太低，界面很难传递载荷，不能起潜在材料的作用，影响复合材料的整体强度；
- ★ 结合强度太高也不利，它遏制复合材料断裂对能量的吸收，易发生脆性断裂。
- ★ 除此之外，还应联系到整个复合材料的结构来考虑。
- ★ 对于颗粒和纤维增强复合材料，增强效果与颗粒或纤维的体积含量、直径、分布间距及分布状态有关。

复合材料的设计原则

❖ 颗粒和纤维增强复合材料的设计原则

➤ 颗粒增强复合材料的原则

(1) 颗粒应高度弥散均匀地分散在基体中，使其阻碍导致塑性变形的位错运动(金属、陶瓷基体)或分子链的运动(聚合物基体)。

(2) 颗粒直径的大小要合适。颗粒直径过大，会引起应力集中或本身破碎，导致材料强度降低；颗粒直径太小，则起不到大的强化作用。一般粒径为几微米到几十微米。

(3) 颗粒的体积含量一般大于20%。数量太少，达不到最佳的强化效果。

(4) 颗粒与基体之间应有一定的粘结作用。

复合材料的设计原则

❖ 颗粒和纤维增强复合材料的设计原则

➤ 纤维增强复合材料的原则

(1) 纤维的强度和模量都要高于基体，即纤维应具有高模量和高强度，多数情况下承载主要是靠增强纤维。

(2) 纤维与基体之间要有一定的粘结作用，两者之间结合要保证所受的力通过界面传递给纤维。

(3) 纤维与基体的热膨胀系数不能相差过大，否则在热胀冷缩过程中会自动削弱它们之间的结合强度。

(4) 纤维与基体之间不能发生有害的化学反应，特别是不发生强烈的反应，否则将引起纤维性能降低而失去强化作用。

(5) 纤维所占的体积、纤维的尺寸和分布必须适宜。

一般而言，纤维的体积含量越高，其增强效果越显著；纤维直径越细，则缺陷越小，纤维强度也越高；连续纤维的增强作用大大高于短纤维，不连续短纤维大于一定的长度(一般是长径比 >5)才能显示出明显的增强效果。

复合材料的设计原则

❖ 制备方法的选择

(1) 所选的工艺方法对材料组元的损伤小，纤维或晶须作为增强相时，机械混合方法往往造成纤维或晶须的损伤；

(2) 能使任何形式的增强材料(纤维、颗粒、晶须)均匀分布或按预设计要求规则排列；

(3) 使最终形成的复合材料在性能上达到充分发挥各组元的作用，即达到扬长避短，而且各组元仍保留着固有的特性；

(4) 考虑性能 / 价格比，在能达到复合材料使用要求的情况下，尽可能选择简便易行的工艺以降低制备成本。

☞ 不同的增强材料和基体应采用不同的制备方法，如金属基复合材料中，采用纤维与颗粒、晶须增强时，同样采用固态法，但用纤维增强时，一般采用扩散结合；而用颗粒或晶须增强时，往往采用粉末冶金法结合。因为颗粒或晶须增强时若采用扩散结合，势必使制造工艺十分复杂，且无法保证颗粒或晶须均匀分散。

复合材料的界面

❖ 复合材料的界面及组成

复合材料的界面是指基体与增强物之间化学成分有显著变化的、构成彼此结合的、能起载荷传递作用的微小区域。

复合材料的界面虽然很小，但它是有尺寸的，约几个纳米到几个微米，是一个区域或一个带、或一层，它的厚度呈不均匀分布状态。

➤ 界面通常包含以下几个部分：

- ⊗ 基体和增强物的部分原始接触面；
- ⊗ 基体与增强物相互作用生成的反应产物，此产物与基体及增强物的接触面；
- ⊗ 基体和增强物的互扩散层；
- ⊗ 增强物上的表面涂层；
- ⊗ 基体和增强物上的氧化物及反应产物之间的接触面等。

复合材料的界面

❖ 复合材料的界面及组成

- ❖ 在化学成分上，除了基体、增强物及涂层中的元素外，还有基体中的合金元素和杂质、由环境带来的杂质。
- ❖ 这些成分或以原始状态存在，或重新组合成新的化合物。
- ❖ 界面上的化学成分和相结构是很复杂的。

复合材料的界面

❖ 复合材料界面的机能

- 界面是复合材料的特征，界面的机能包括以下几种效应：
- (1) 传递效应；界面能传递力，即将外力传递给增强物，起到基体和增强物之间的桥梁作用。
 - (2) 阻断效应；结合适当的界面有阻止裂纹扩展、中断材料破坏、减缓应力集中的作用。
 - (3) 不连续效应；在界面上产生物理性能的不连续性和界面摩擦出现的现象，如抗电性、电感应性、磁性、耐热性、尺寸稳定性等。
 - (4) 散射和吸收效应；光波、声波、热弹性波、冲击波等在界面产生散射和吸收，如透光性、隔热性、隔音性、耐机械冲击及耐热冲击性等。
 - (5) 诱导效应。一种物质(通常是增强物)的表面结构使另一种(通常是聚合物基体)与之接触的物质结构由于诱导作用而发生改变，由此产生一些现象，如强的弹性、低的膨胀性、耐冲击性和耐热性等。

复合材料的界面

❖ 复合材料的界面效应

❖ 界面上产生的这些效应，是任何一种单体材料所没有的特性，它对复合材料具有重要作用。

例如在粒子弥散强化金属中，微形粒子阻止晶格位错，从而提高复合材料强度；在纤维增强塑料中，纤维与基体界面阻止裂纹进一步扩展等。

❖ 在复合材料中，界面和改善界面性能的表面处理方法是关于复合材料是否有使用价值、能否推广使用的重要的问题。

❖ 界面效应既与界面结合状态、形态和物理及化学性质等有关，也与组分材料的浸润性、相容性、扩散性等密切相联。

❖ 界面是一个多层结构的过渡区域，界面区是从与增强相内部性质不同的某一点开始，直到与基体内整体性质相一致的点间的区域。

复合材料的界面

❖ 复合材料的界面面积

➤ 纤维增强复合材料

一块复合材料的长、宽、高别为 l 、 w 、 h ，其中含有 N 根长为 l 、直径为 d 的连续纤维，则纤维的体积分数为：

$$V_f = \frac{\text{纤维体积}}{\text{复合材料的体积}} = \frac{N \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l}{l \cdot w \cdot h}$$

定义界面面积为 I_A ，则有： $I_A = N \cdot \pi \cdot d \cdot l$

$$I_A = (4lwh)(v_f)\left(\frac{1}{d}\right)$$

当复合材料的体积为 1m^3 ， V_f 为0.25，有： $I_A = \frac{1}{d} (\text{m}^2)$

复合材料的界面

❖ 复合材料的界面面积

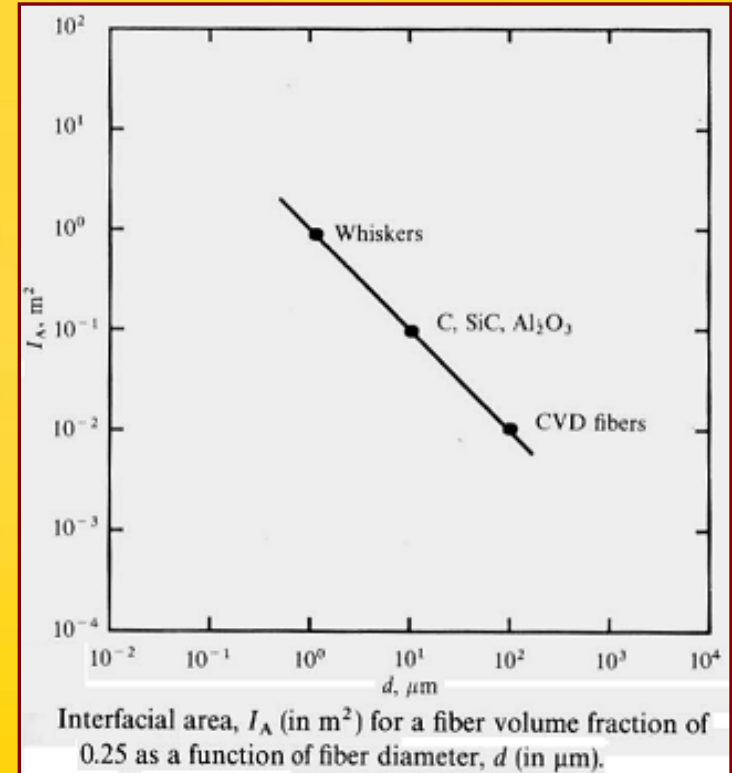
➤ 颗粒增强复合材料

颗粒增强的复合材料，界面面积：

$$I_A = N \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{6v_P}{d}$$

若 $v_P = 0.25$

$$I_A = \frac{1.5}{d} (m^2)$$



复合材料的界面

❖ 界面作用机理

➤ 浸润性

▲ 复合材料在制备过程中，只要涉及到液相与固相的相互作用，必然就有液相与固相的浸润问题。

▲ 在制备聚合物基复合材料时，一般是把聚合物(液态树脂)均匀地浸渍或涂刷在增强材料上。树脂对增强材料的浸润性是指树脂能否均匀地分布在增强材料的周围，这是树脂与增强材料能否形成良好粘结的重要前提。

▲ 在制备金属基复合材料时，液态金属对增强材料的浸润性，则直接影响到界面粘结强度。

☞ 浸润性是表示液体在固体表面上铺展的程度。

复合材料的界面

❖ 浸润性

- ▲ 好的浸润性意味着液体(基体)将在增强材料上铺展开来,并覆盖整个增强材料表面。
- ▲ 基体的粘度不是太高,浸润后体系自由能降低,就会发生基体对增强材料的浸润。

一滴液体滴落在—固体表面时,原来固-气接触界面将被液-固界面和液-气界面所代替,用 γ_{LG} 、 γ_{SG} 、 γ_{SL} 分别代表液-气、固-气和固-液的比表面能或称表面张力(即单位面积的能量)。

按热力学,液体铺展的条件:

$$\gamma_{SL} + \gamma_{LG} < \gamma_{SG}$$

铺展系数SC(Spreading Coefficient)被定义为:

$$SC = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG})$$

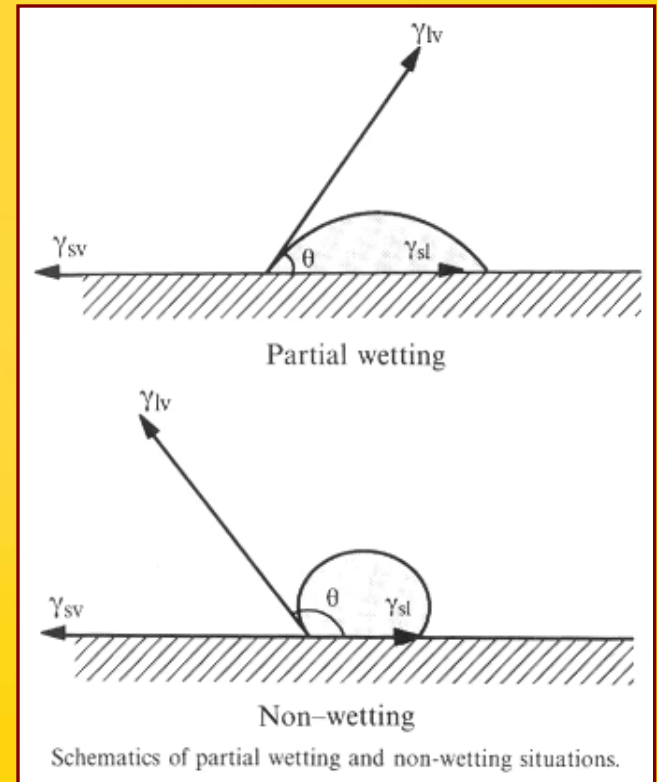
复合材料的界面作用

❖ 浸润性

☀ 当铺展系数 $S_C > 0$ 时，能发生浸润，液体在固体表面铺展。达到平衡时：

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta$$

☀ 式中 θ 称为接触角。



$$\theta = \cos^{-1} [(\gamma_{SG} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LG}]$$

复合材料的界面作用

❖ 浸润性

☞ 由 θ 可知浸润的程度。

❖ $\theta=0^\circ$ 时，液体完全浸润固体；

❖ $\theta=180^\circ$ 时，不浸润；

❖ $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 时，不完全浸润(或称部分浸润)，随角度下降，浸润的程度增加。

❖ $\theta > 90^\circ$ 时，常认为不发生液体浸润。

➤ 接触角随着温度、保持时间、吸附气体等而变化。

➤ 浸润性表示液体与固体发生接触时的情况，但不表示界面的粘结性能。组元有极好的浸润性，但结合可能很弱。

➤ 良好的浸润性，是组元间形成良好粘结的必要条件，并非充分条件。

➤ 为提高组元间的浸润性，常通过对增强材料进行表面处理的方法来改善润湿条件，也可通过改变基体成分来实现。

复合材料的界面作用

❖ 界面粘结

- 界面的粘结强度影响复合材料的力学性能以及其它物理、化学性能，如耐热性、耐蚀性、耐磨性等。
- 当基体浸润增强材料后，紧接着便发生基体与增强材料的粘结(Bonding)。粘结(或称粘合、粘着、粘接)是指不同种类的两材料相互接触并结合在一起的一种现象。
- 对于给定的复合材料体系，同时可能会有不同的粘结机理(如机械粘结、静电粘结等)起作用，而且在不同的生产过程中或复合材料的使用期间，粘结机理还会发生变化，如由静电粘结变成反应粘结。
- 体系不同，粘结的种类或机理不同，这主要取决于基体与增强材料的种类以及表面活性剂(或称偶联剂)的类型等。
- 界面粘结机理主要有界面反应理论、浸润理论、可变形层理论、约束层理论、静电作用理论、机械作用理论等。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/737156040201006113>