

第二章 复合材料的界面

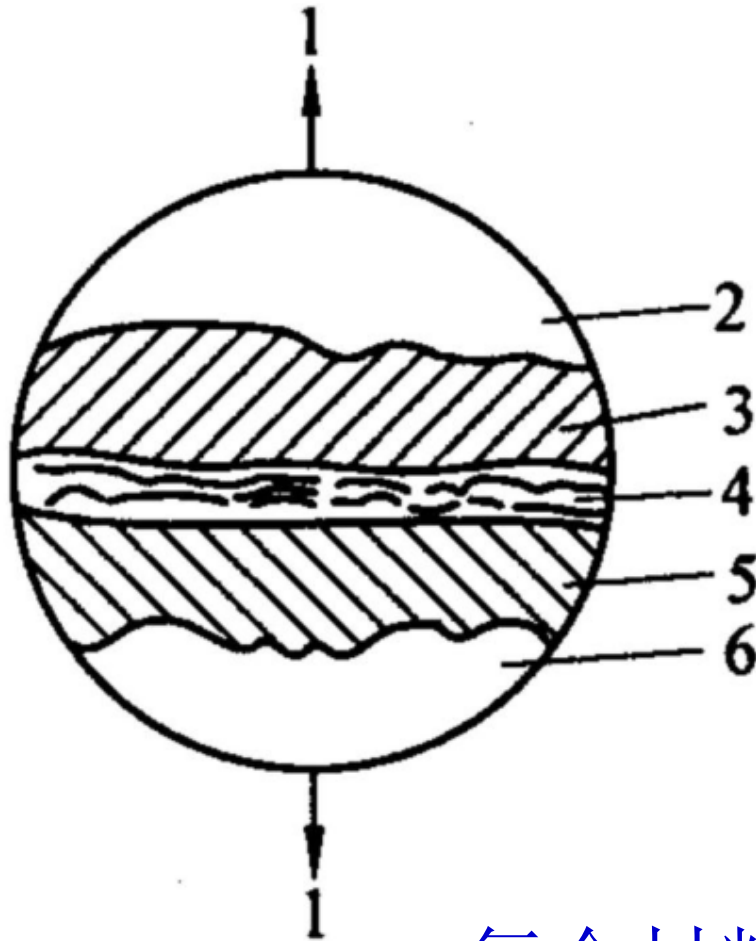
段小明

哈尔滨工业大学特种陶瓷研究所

2.1 概述

- 复合材料的界面是指基体与增强相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。
- 复合材料的界面是一个多层结构的过渡区域，约几个纳米到几个微米。此区域的结构与性质都不同于两相中的任何一相。这一界面区由五个亚层组成，每一亚层的性能都与基体和增强相的性质、复合材料成型方法有关。

2.1 概述



1、外力场

2、基体

3、基体表面区

4、相互渗透区

5、增强剂表面区

6、增强剂

复合材料的界面示意图

2.1 概述

界面粘**结强度**

界面粘**结强度**的重要性

- **PMC**——高的界面**强度**，有效地将**载荷传递**给纤维。
- **CMC**——界面**处**能量的耗散，以提高**韧性**。
- **MMC**——**强**的界面，有益的非**弹性过程**。

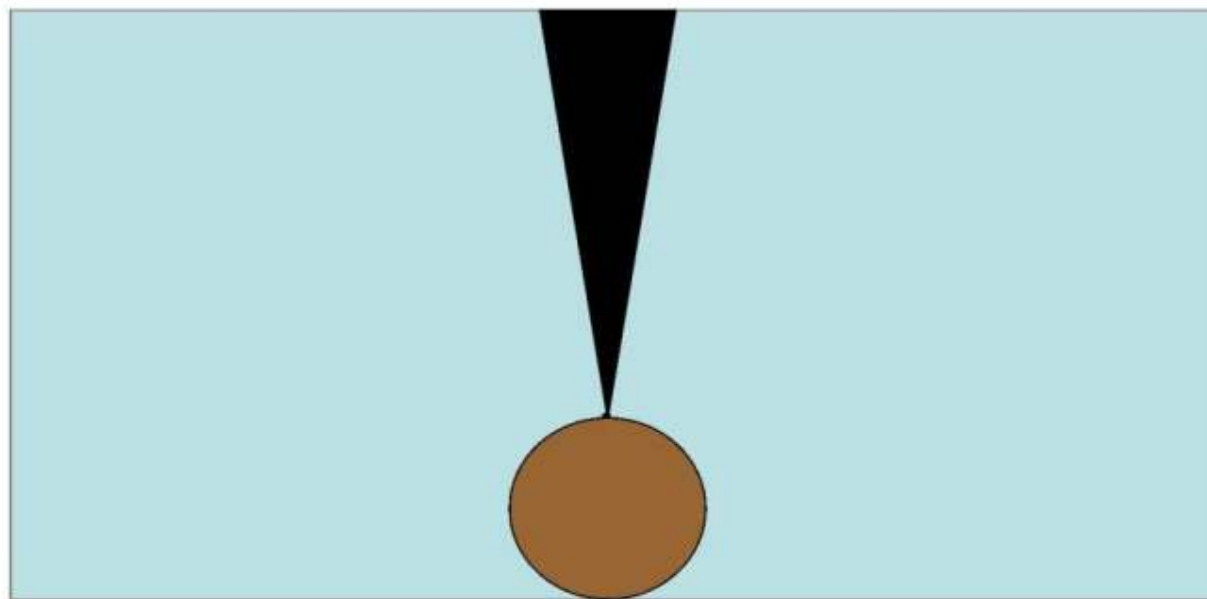
界面结合方式的分类

- 1) **机械结合**。基体与增强材料之间不发生化学反应，纯粹靠机械连结，靠纤维的粗糙表面与基体产生摩擦力而实现的。
- 2) **溶解和润湿结合**。基体润湿增强材料，相互之间发生原子扩散和溶解，形成结合。界面是溶质原子的过渡带。
- 3) **反应结合**。基体与增强材料间发生化学反应，在界面上生成化合物，使基体和增强材料结合在一起。
- 4) **交换反应结合**。基体与增强材料间发生化学反应，生成化合物，且还通过扩散发生元素交换，形成固溶体而使两者结合。
- 5) **混合结合**。这种结合较普遍，是最重要的一种结合方式。是以上几种结合方式中几个的组合。

2.2 复合材料的界面效应

- 界面是复合材料的特征，可将界面的机能归纳为以下几种效应：
 - （1）传递效应：界面可将复合材料体系中基体承受的外力传递给增强相，起到基体和增强相之间的桥梁作用。
 - （2）阻断效应：基体和增强相之间结合力适当的界面有阻止裂纹扩展、减缓应力集中的作用。

阻止裂纹的扩展



2.2 复合材料的界面效应

- (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、耐热性和磁场尺寸稳定性等。

不连续效应

电阻R1

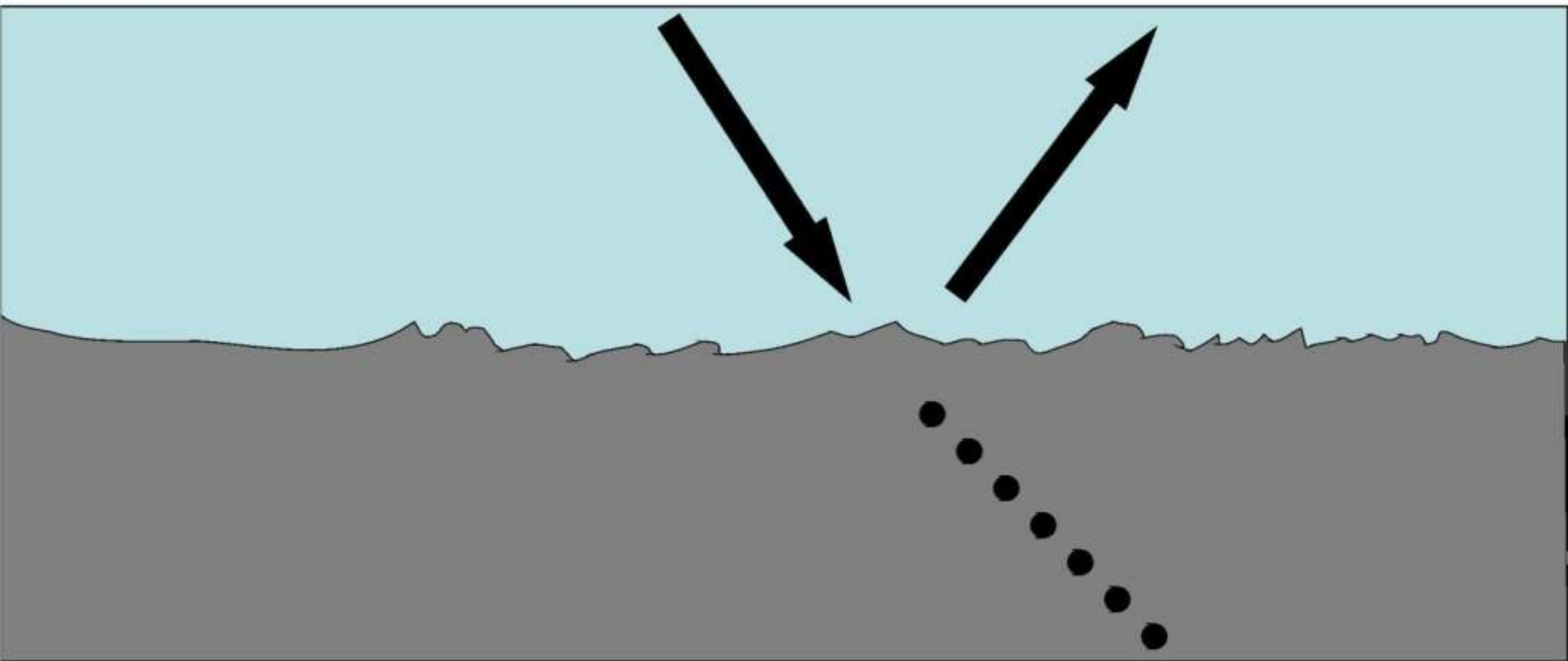
电阻R2

电阻R1

2.2 复合材料的界面效应

- (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、耐机械冲击性等。

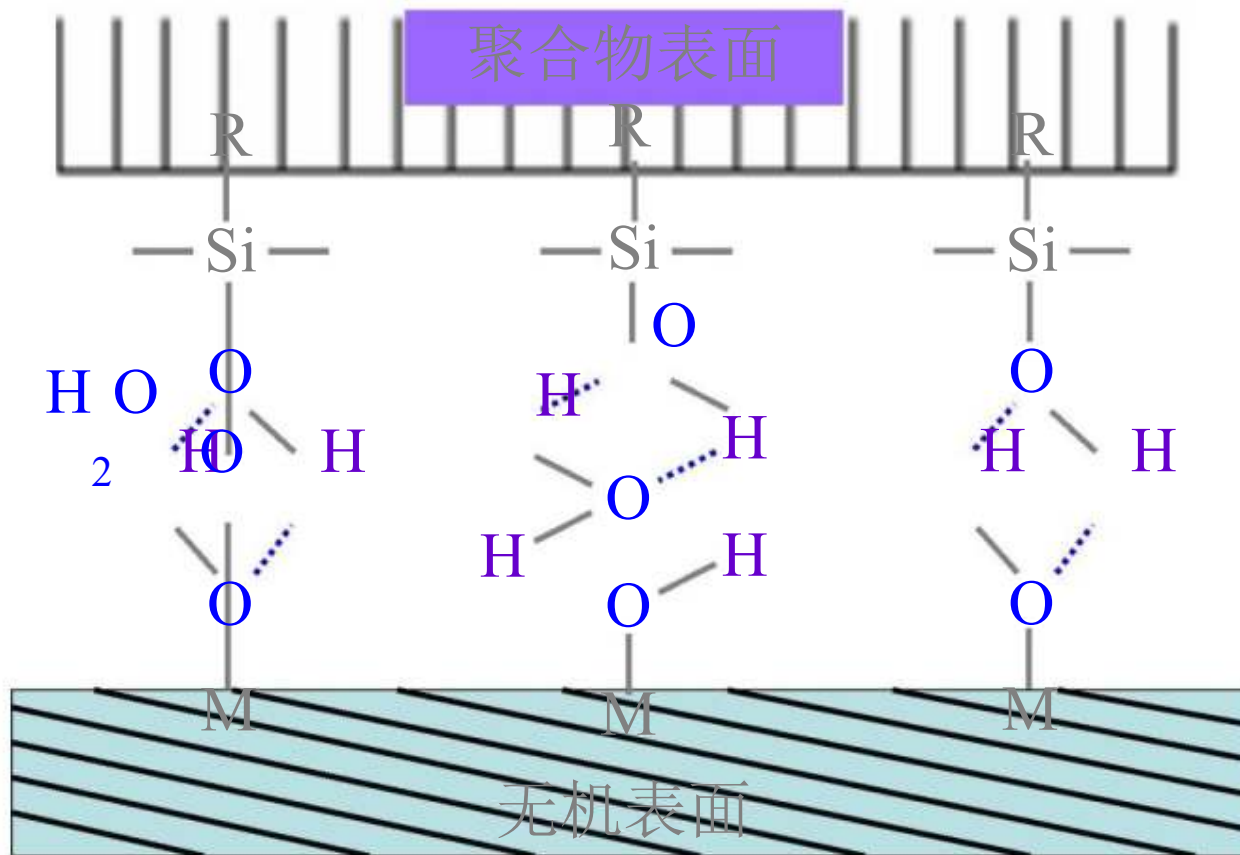
散射和吸收效应



2.2 复合材料的界面效应

- (5) 诱导效应：一种物质（通常是增强剂）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，如强弹性、低膨胀性、耐热性和冲击性等。

诱导效应



2.2 复合材料的界面效应

- 界面效应是任何一种单一材料所没有的特性，它对复合材料具有重要的作用。
- 界面效应既与界面结合状态、形态和物理-化学性质有关，也与复合材料各组分的浸润性、相容性、扩散性等密切相关。

2.2 复合材料的界面效应

- 界面的结合状态和强度对复合材料的性能有重要影响。对于每一种复合材料都要求有合适的界面结合强度。许多因素影响界面结合强度，如表面几何形状、分布状况、纹理结构、表面杂质、吸附气体程度、吸水情况、表面形态、在界面的溶解、扩散和化学反应、表面层的力学特性、润湿速度等。

2.2 复合材料的界面效应

- 界面结合较差的复合材料大多呈剪切破坏，且在材料的断面可观察到脱粘、纤维拔出、纤维应力松弛等现象。界面结合过强的复合材料则呈脆性断裂，也降低了复合材料的整体性能。界面最佳态的衡量是当受力发生开裂时，裂纹能转化为区域化而不进一步界面脱粘；即这时的复合材料具有最大断裂能和一定的韧性。
- 因此，在研究和设计界面时，不应只追求界面结合而应考虑到最优化和最佳综合性能。

2.3 复合材料组分的相容性

- 物理相容性：
 1. 是指基体应具有足够的韧性和强度，能够将外部载荷均匀地传递到增强剂上，而不会有明显的不连续现象。
 2. 由于裂纹或位错移动，在基体上产生的局部应力不应在增强剂上形成高的局部应力。
 3. 另一个重要的物理关系是热膨胀系数。基体与增强相热膨胀系数的差异对复合材料的界面结合产生重要的影响，从而影响材料的各类性能。

2.3 复合材料组分的相容性

- 物理相容性：

例如：

- 对于韧性基体材料，最好具有较高的热膨胀系数。这是因为热膨胀系数较高的相从较高的加工温度冷却是将受到张应力；
- 对于脆性材料的增强相，一般都是抗压强度大于抗拉强度，处于压缩状态比较有利。
- 对于像钛这类高屈服强度的基体，一般却要求避免高的残余热应力，因此热膨胀系数不应相差太大。

2.3 复合材料组分的相容性

- 化学相容性：
- 化学相容性是一个复杂的问题。
- 对原生复合材料，在制造过程是热力学平衡的，其两相化学势相等，比表面能效应也最小。
- 对非平衡态复合材料，化学相容性要严重得多。
- 纤维和基体间的直接反应则是更重要的相容性问题。

2.3 复合材料组分的相容性

- 化学相容性：
 - 对复合材料来说，以下因素与复合材料化学相容性有关的问题则十分重要：
 - 1) 相反应的自由能 ΔF ：代表该反应的驱动力。设计复合材料时，应确定所选体系可能发生反应的自由能的变化。
 - 2) 化学势U：各组分的化学势不等，常会导致界面的不稳定。

2.3 复合材料组分的相容性

- 化学相容性：
 - 对复合材料来说，以下因素与复合材料化学相容性有关的问题则十分重要：
 - 3) 表面能 T ：各组分的表面能很高，导致界面的不稳定。
 - 4) 晶界扩散系数 D ：由晶界或表面扩散系数控制的二次扩散效应常使复合体系中组分相的关系发生很大变化。

2.4 复合材料的界面理论

- 界面润湿理论：
 - 界面润湿理论是基于液态树脂对纤维表面的浸润亲和，即物理和化学吸附作用。液态树脂对纤维表面的良好浸润是十分重要的。浸润不良会在界面上产生空隙，导致界面缺陷和应力集中，使界面强度下降。良好的或完全浸润将使界面强度大大提高，甚至优于基体本身的内聚强度。

2.4 复合材料的界面理论

界面润湿理论:

从热力学观点来考虑两个结合面与其表面能的关系，一般用表面张力来表征。

表面张力即为温度和体积不变的情况下，自由能随表面积增加的增量。

$$\gamma = \left(\frac{\partial F}{\partial A} \right)_{TV}$$

此处 γ 为表面张力； F 为自由能； A 为面积； T 和 V 分别为温度和体积。

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/988034010116006113>