

先进复合材料设计与制备基础复习题

第一章

1、复合材料的一般特点（10）

答：复合材料的两个主要特点是性能可设计性和材料与构件成型的一致性。复合材料所期望的复合效果是原材料（即组分材料）的性能互补，并产生叠加效果。

（1）复合材料的性能具有可设计性

材料设计是指在材料科学的理论知识和已有经验的基础上，利用计算机技术，按预定性能要求，确定材料组分和结构，并预测达到预定性能要求应选择的工艺手段和工艺参数。

（2）材料与构件制造的一致性

复合材料与复合材料构件是同时成型，即在采用某种方法把增强体掺入基体形成复合材料的同时，通常也就形成了复合材料的构件，称为复合材料与构件制造的一致性。

（3）叠加效应

要实现复合材料设计的预期性能指标，应依靠增强体与基体性能的叠加，使复合材料获得一种新的、独特而又优于各单元组分的简单混合物的性能，这就是所谓叠加效应。

（4）复合材料的不足

复合材料的增强体和基体可供选择的范围有限，其性能还不能完全满足复合材料设计的要求；制备复合材料的工艺比较复杂，制造质量重复性尚不能完全保证，性能离散性较大；复合材料制品的成本较高。

2、增强体在复合材料中的作用（10）

答：能够强化第二相（基体）的材料称为增强体。增强体在复合材料中是分散相。对于结构复合材料，纤维的主要作用是承载。纤维承受载荷的比例远大于基体；对于多功能复合材料，纤维的主要作用是吸波、隐身、隔热、耐磨、耐腐蚀或抗热震等其中的一种或多种，同时为材料提供基本的结构性能；对于结构陶瓷复合材料，纤维的主要作用是增加韧性。

3、颗粒增强体增韧的三种机制（10）

答：用以改善复合材料力学性能、提高断裂功、提高耐磨性和硬度、增进耐腐蚀性能的颗粒状材料称为颗粒增强体。

颗粒增强体可以通过三种机制产生增韧效果：①当材料受到破坏应力时，裂纹尖端处的颗粒产生显著的物理变化，如晶型转变、体积效应、应力状态改变、微裂纹产生与增殖等，它们均能消耗能量，从而提高了复合材料的韧性。这种增韧机制称为相变增韧带和微裂纹增韧。其典型例子是四方晶相 ZrO_2 颗粒的相变增韧；②第二相颗粒使裂纹扩展路径发生改变，如裂纹偏转、弯曲、分叉、裂纹桥接或裂纹钉扎等，从而产生增韧效果；③以上两种机制同时发生，此时称为混合增韧。

4、复合效应的线性效应（10）

答：线性复合效应包括平均效应、平行效应、相补效应和相抵效应；

（1）平均效应

平均效应又称混合效应，具有平均效应的复合材料的某项性能等于组成复合材料各组分的性能乘以该组分的体积分数之加和。

（2）平行效应

平行效应是最简单的一种线性复合效应。它指复合材料的某项性能与其中某一组分的该项性能基本相当。

（3）相补效应

复合材料中各组分复合后，可以相互补充，弥补各自的弱点，从而产生优异的综合性能，这是一种正的复合效应。

（4）相抵效应

各组分之间出现性能相互制约，结果使复合材料的性能低于混合物定律预测值，这是一种负的复合效

应。

5、复合效应的非线性效应（10）

答：非线性复合效应是指复合材料的性能不再与组元的对应性能呈线性关系，它使复合材料的某些功能得到强化，从而超过组元按体积分数的贡献，甚至具有组元所不具备的新功能。非线性复合效应包括相乘效应、诱导效应、系统效应和共振效应；

（1）相乘效应

相乘效应是把两种具有能量（信息）转换功能的组分复合起来，使它们相同的功能得到复合，而不相同的功能得到新的转换。例如，将一种具有 X/Y 转换性质的组元与另一种具有 Y/Z 转换性质的组元复合，结果得到具有 X/Z 转换性质的复合材料。相乘效应已被用于设计功能复合材料。相乘效应可以表示为

$$(X/Y) \cdot (Y/Z) = (X/Z)$$

（2）诱导效应

诱导效应是指在复合材料中两组元（两相）的界面上，一相对另一相在一定条件下产生诱导作用（如诱导结晶），使之形成相应的界面层。这种界面层结构上的特殊性使复合材料在传递载荷的能力上或功能上具有特殊性，从而使复合材料具有某种独特的性能。

（3）系统效应

系统效应是指将不具备某种性能的诸组分通过特定的复合状态复合后，使复合材料具有单个组分不具有的新性能。

（4）共振效应

共振效应又称强选择效应。它是指某一组分 A 具有一系列性能，与另一组分 B 复合后，能使 A 组分的大多数性能受到较大抑制，而使其中某一项性能在复合材料中突出地发挥。

6、界面处原子配位类型三种（10）

答：在复合材料中，两相之间某种材料特性出现不连续的区域叫做界面。

根据界面处原子配位的类型，可以将界面分为共格界面、半共格界面和非共格界面。

共格界面是指界面处的原子属于两侧晶体所共有，即在界面两侧，原子位置之间存在一一对应的关系。

半共格界面是指界面处原子只有一部分是一一对应的，而其余原子则呈现周期性位错。

非共格界面是指在界面两侧的原子已经找不到任何对应关系。

7、润湿性定义、影响润湿角因素，以及改善基体与纤维湿润性途径（15）

答：润湿性是用于描述液体在固体表面上自动铺展程度的术语。它在描述复合材料工艺过程中增进结合或妨碍结合的机制方面是重要的概念。

影响润湿角的因素包括：①固体表面的原始状态，如吸附气体、氧化膜等均使润湿角增大；②固体表面粗糙度高将使润湿角减小；③固相或液相的夹杂或相与相之间的化学反应所造成的产物都将影响润湿性。决定润湿性的最本质的原因还是体系中各相的属性。

改善基体与纤维润湿性的方法包括：①对纤维进行表面处理（包括清洁处理和表面涂层）；②变更基体成份；③提高加工温度；④增加液态基体压力和⑤控制加工气氛等。

（1）纤维表面处理

在制造复合材料之前，清除纤维表面的杂质、气泡和用化学方法去除纤维表面的氧化膜，这些操作均能增进液态基体对纤维的润湿性。

对纤维进行表面涂层的方法包括：电镀、化学镀、化学气相沉积和热解等。涂层目的是增大纤维的表面能 γ_{sv} 。

（2）变更基体成份

对于金属基复合材料，用合金化来改善润湿性最方便和有效。因为纯金属的表面张力都很高，难以润湿纤维。如果进行合金化，可使合金元素在金属表面上富集，降低金属表面能，从而增进熔融金属基体对纤维的润湿。加入合金元素后， θ 角的变化还与熔化时间有关

（3）改变温度

一般，提高制造温度可以增进润湿性，但这种增进受到基体材料性质的限制。

(4) 增加液体压力

液体在外压下浸润纤维的条件是：所加外压必须能够克服纤维之间的毛细管压力 P_c 。

(5) 改变加工气氛

由于 γ_{sv} 和 γ_{lv} 值随气体的性质而有所变化，因此通过改变制造过程中的环境气氛也可以控制固体与液体之间的润湿状况。

8、界面结合类型 (10)

答：界面结合类型可以大致分为机械结合和化学结合两类。化学结合又再细分为溶解与润湿结合和反应结合。

(1) 机械结合：基体与增强体之间仅仅依靠纯粹的粗糙表面相互嵌入作用进行连接

(2) 溶解与润湿结合：在复合材料制造的过程中基体与增强体之间首先发生润湿，然后相互溶解，所形成的结合方式称为溶解与润湿结合。

(3) 反应结合：基体与纤维间发生化学作用，在界面上形成一种新的化合物而产生的结合称为反应结合。

9、金属基复合材料中界面类型 (10)

答：金属基复合材料界面可以分成 I、II、III 三种类型：

I 型界面表示增强体与基体金属既不溶解也不反应（包括机械结合和氧化物结合）；

II 型界面表示增强体与基体金属之间可以溶解，但不反应（包括溶解与润湿结合）；

III 型界面表示增强体与基体之间发生反应并形成化合物（包括交换反应结合和混合结合）

10、界面残余应力及其分类 (15)

答：复合材料的界面残余应力是由于温度、变形及相变引起的，分别称为热残余应力、形变残余应力和相变残余应力。

(1) 热残余应力：由于组成复合材料各组分的热膨胀系数不同，导致从加热制造过程中的高温降至室温（或不同于室温的使用温度）的收缩不同，从而在界面处产生热残余应力。

(2) 形变残余应力：由于组成复合材料各组分的屈服强度不同，在外力作用下，各组分发生不均匀塑性流变，从而产生形变残余应力。

(3) 相变残余应力：当复合材料中一个组分发生相变引起体积变化的同时，受到另一个组分的机械约束，从而产生相变残余应力。

11、复合材料界面的近代理论 (15)

答：复合材料界面理论包括：界面浸润理论、化学键理论、可形变层理论、拘束层理论、可逆水解理论和扩散层理论。

(1) 界面浸润理论

液体树脂应完全润湿增强材料，为此，在复合过程中树脂基体的表面张力必须小于增强体的临界表面张力。

(2) 化学键理论

增强体与树脂基体之间界面的结合力是高能量的主价力其结合强度为 $(1.7 \sim 2.1) \times 10^6 \text{ J/mol}$ 。

(3) 可形变层理论

可形变层理论包括柔性插入层理论和减弱界面局部应力理论。

柔性插入层理论的基本论点是：认为处理剂在界面形成了一层塑性层，它能松弛界面的应力，减少应力在界面的作用，特别是能减少因膨胀系数相差大而引起的内应力。

减弱界面局部应力理论的基本论点是：在基体与增强体之间，具有可以随应力方向改变其结合性质的物质，它不仅阻止了水等低分子物侵蚀的破坏作用，而且起到松弛界面局部应力的作用，使复合材料在潮湿条件下保持良好的力学性能。

(4) 拘束层理论

拘束层理论的基本论点是：认为界面区的模量介于树脂基体和增强材料之间时，则最可均匀地传递应力。

(5) 可逆水解理论

可逆水解理论的基本论点是：当有水存在于偶联剂和增强材料之间时，受应力的键能够可逆地断开与重新形成。

(6) 扩散层理论

扩散层理论的基本论点是：偶联剂形成的界面区应该是带有能与树脂基体相互扩散的聚合链活性硅氧烷层或其他的偶联剂层。

12、金属基体在复合材料中所起的作用 (10)

答：①固结增强体，与增强体一道构成复合材料整体，保护纤维使之不受环境侵蚀；

②传递和承受载荷，在颗粒增强金属基复合材料中基体是主要承载相，在纤维增强金属基复合材料中，基体对力学性能的贡献也远大于聚合物基体和陶瓷基体在复合材料中的贡献；

③赋予复合材料一定形状，保证复合材料具有一定的可加工性；

④复合材料的强度、刚度、密度、耐高温、耐介质、导电、导热等性能均与基体的相应性质密切相关。

13、金属基体与增强体的相容性 (10)

答：金属基体与增强体的相容性包括物理相容性（润湿性、热膨胀匹配性）和化学相容性（能否形成合适的、稳定的界面，是否发生有害的化学反应）在制造金属基复合材料过程中，如果基体不润湿增强体、或与增强体发生化学反应，则它们之间的相容性不好。所以，需选用既有利于基体与增强体良好润湿，又有利于形成合适的、稳定的界面的合金元素。

14、常用的几种金属基体及其使用温度范围 (10)

答：铝、镁合金在 450℃ 以下，钛合金在 450~650℃，金属间化合物、镍基、铁基耐热合金 650℃~1200℃。

15、固溶体 (5)

答：固溶体是以某一组元为溶剂，在其晶体点阵中溶入其他组元原子所形成的均匀混合的固态溶体，它保持着溶剂的晶体结构类型

16、金属的强化方法 (10)

答：①**加工硬化** 在金属塑性变形过程中，随着外加应力的增大，金属的变形抗力也增加的现象称为加工硬化。

②**细晶强化** 由 Hall-Petch 公式可以解释细晶粒金属比粗晶粒金属的强度高。采用变质处理、淬火、合金化、变形及热处理等方法来细化晶粒。

③**固溶强化** 在纯金属中引入异类原子，形成间隙固溶体或置换固溶体，使金属晶格发生变形，导致金属强度增高的机制称为固溶强化。

④**沉淀硬化** 沉淀相对位错运动起阻碍作用，从而使合金强化。

⑤**弥散强化** 弥散分布的颗粒可以阻碍基体金属的位错运动，增大其变形抗力。

⑥**热处理强化** ①过饱和碳原子造成的固溶强化；②时效强化（析出碳化物颗粒）；③相变引起的晶格畸变和马氏体中孪晶亚结构引起的强化。

⑦**非晶态金属** 把金属以极限速度冷却，会产生非常独特的微观结构，称为非晶态结构。

17、热残余应力 (5)

答：当体系温度变化时，由于纤维和基体热膨胀系数不同，引起纤维与基体之间的界面及其附近的组元表面产生残余应力，称为热残余应力。

18、改善陶瓷强度的两个途径 (10)

答：①**减小陶瓷内部和表面的裂纹** 固体内含有裂纹是材料微观结构的本征特性，材料中的微观夹杂、气孔和微裂纹等缺陷都可能成为裂纹源；在材料服役期间，对表面裂纹同样也十分敏感，因此减少固体内部缺陷，避免加工及使用过程中的表面损伤对于陶瓷制品是至关重要的。

②**提高断裂韧性** 采用复合化的途径，即以陶瓷为基体通过加进增强相而引入各种增韧机制来增加裂纹的扩展阻力，从而增加断裂过程消耗的能量。

19、改善陶瓷韧性的途径 (10)

答：①采用复合化的途径，以陶瓷为基体通过加进增强相而引入各种增韧机制来增加裂纹的扩展阻力，

从而增加断裂过程消耗的能量，达到提高 K_{Ic} 的目的。

②选择各种结构因素来改善 K_{Ic} 。包括：组元的体积分数；增强体的形态、尺寸；纤维轴相对于承载方向的取向。

③相变增韧。陶瓷中裂纹尖端的应力场引起裂纹尖端附近的晶体结构发生相变，当相变使该局部区域发生体积膨胀时，它会使基体裂纹闭合。

20、用图表示萤石矿与闪锌矿的晶体结构（10）

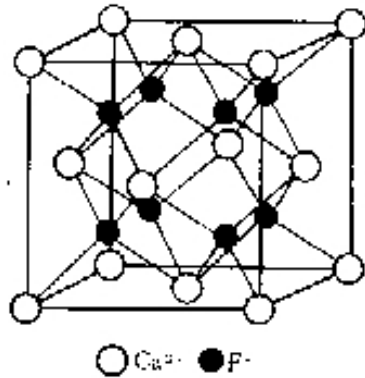


图 2.6 萤石型结构

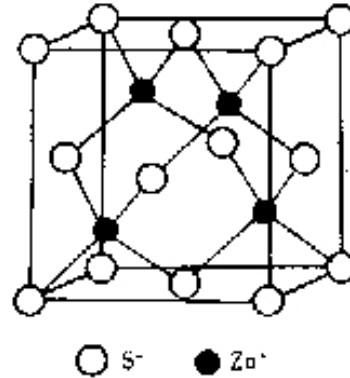


图 2.7 闪锌矿型结构

21、用图表示四种纳米复合材料的微观结构（10）

答：陶瓷纳米复合材料的类型主要有：内部型（在陶瓷基体的晶粒内弥散纳米粒子第二相）；中间型（在陶瓷基体晶粒间弥散纳米粒子第二相）；内部—中间型（纳米粒子同时弥散在陶瓷基体的晶粒内和晶界上）；纳米—纳米型（第二相和陶瓷基体均为纳米级）

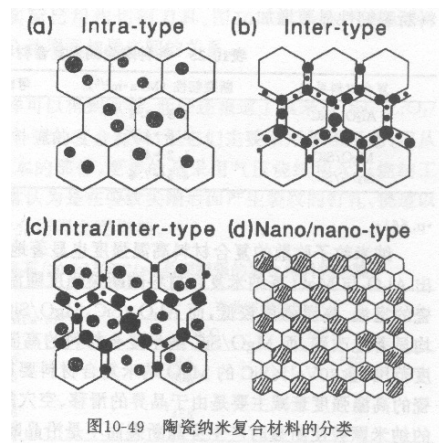


图10-49 陶瓷纳米复合材料的分类

第二章

1、热固性树脂、热塑性树脂及其各自特点，并举例说明哪些是热固性复合材料，哪些是热塑性复合材料

答：（1）**热固性树脂**通常为液态或固态预聚体，需加热或固化剂，链与链间会形成共价键，产生一些交联，形成不溶不熔的三维网状结构。**特点**：溶液粘度低，易于浸渍与浸润，成型工艺性好；交联固化成网状结构，尺寸稳定性、耐热性好，但性脆；制备过程伴有复杂化学反应。**例如**：环氧树脂、不饱和聚酯树脂、热固性酚醛树脂等。

（2）**热塑性树脂**是指线型或有支链的固态高分子，可溶可熔，加工时形态可逆。受热时软化并可熔化成流动的液体，冷却后变成固体，加热后又熔化，能够反复加工，成型周期短，材料利用率高。**特点**：溶体或溶液粘度大，浸渍与浸润困难，需较高温度和压力下成型，工艺性差；线性分子结构，抗蠕变和尺寸稳定性差，但韧性好；制备过程中伴有聚集态结构转变及取向、结晶等物理现象。**例如**：聚酰亚胺、双马来酰亚胺、热塑性酚醛树脂、聚醚醚酮、聚醚酮酮等

2、E51环氧树脂100g，理论上完全固化需70#酸酐和二乙烯三胺各多少克

答：所需酸酐量= $c \times$ 酸酐当量 \times 环氧值（环氧基的质量摩尔浓度） 所需胺量=胺当量 \times 环氧值

$c=0.8\sim0.9$

酸酐当量=酸酐的相对分子质量 / 酸酐分子酸酐基团数

E51 环氧树脂的环氧值为 0.51 70#酸酐基团数为 2

所需酸酐量= $0.8 \times (152/2) \times 0.51 = 31.0008\text{g}$

胺当量=胺的相对分子质量 / 胺中活泼氢的原子数

二乙烯三胺含 5 个活泼氢

所需胺量= $(103/5) \times 0.51 = 10.71\text{g}$

3、请说明复合材料中增强相、基体相和界面相的作用

答：**增强相**作用：承载或增强；要求：高强度、高模量；通常增强体的体积分数、与基体的复合性能等对复合材料的整体性能影响较大。

基体相作用：粘结、固定、保护增强体；要求：粘结性、工艺性、低毒价廉；通过界面将载荷传递给增强材料，并使载荷均匀。

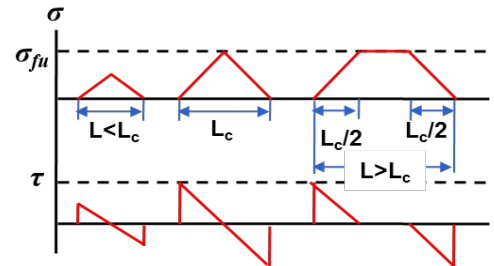
界面相作用：将基体的应力传递到增强体上；要求：基体和增强体通过界面发生结合；但结合力的大小要适当，既不能过大，也不能太小，结合力过大会使复合材料韧性下降，结合力过小，起不到传递应力的作用，容易在界面处开裂

4、短纤维增强单向复合材料材料临界长度，为什么增强效果比连续纤维低

答：短纤维拉应力达到最大的最小长度：临界长度 L_c

短纤维和晶须增强复合材料中纤维长度应大于临界长度，或长径比应大于临界值。

根据纤维固化在树脂板中,由于 $E_f > E_m$ ，树脂变形受纤维约束 → 界面处产生剪应力；由界面传递载荷 → 纤维受拉应力。纤维拉应力：两端点为零，中间最大；剪应力：两端点最大，中间为零。

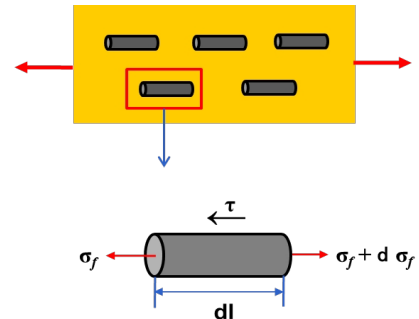


取代表性体积元, 根据力平衡, 得

$$\frac{\pi}{4} df^2 d\sigma_f = \pi df \tau dl \quad (2.11)$$

剪力视为均布，纤维中点应力最大

$$\int_0^{\sigma_f} \frac{\pi}{4} df^2 d\sigma_f = \int_0^{l/2} \pi df \tau dl$$



6、复合材料界面效应有哪些

答：复合材料的界面效应可以归结为五类：

(1) 阻断效应：阻止裂纹扩展，中断材料破坏，可减缓应力集中；

(2) 不连续效应：在界面上引起的物理性质的不连续性和界面摩擦出现的现象，如电阻、介电特性、磁性、耐热性、尺寸稳定性等；

(3) 化学效应：基体与增强体间有化学反应，主要是官能团、原子分子间的作用；

(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的散射和吸收，如透光性、隔热性、隔音性、耐冲击性及耐热冲击性等；

(5) 界面结晶效应：基体结晶时，易在界面成核，诱发结晶。

7、界面结合理论

(1) **润湿理论**：要使树脂对增强体紧密接触，就必须使树脂对增强体表面很好地浸润。要使增强体表面完全浸润，液态树脂的表面张力必须低于增强体的临界表面张力。该理论认为树脂与增强体两相间的结合是属于机械粘接与润湿吸附。

(2) **化学键理论**：基体树脂表面的活性官能团与增强体表面的官能团能起化学反应。因此基体树脂与增强体之间形成化学键的结合，界面的结合力是主价键力的作用。

(3) **优先吸附理论**：界面上可能发生增强体表面优先吸附树脂中的某些组分，这些组分与树脂有良好的相容性，可以大大改善树脂对增强体的浸润；同时，由于优先吸附作用，在界面上可以形成所谓的“柔性层”，此“柔性层”极可能是一种欠固化的树脂层，它是“可塑的”，可以起到松弛界面上应力集中的作用，故可以防止界面脱粘。

(4) **可逆水解理论**：在玻璃纤维增强的复合材料中，偶联剂不是阻止水分进入界面，而是当有水存在时，偶联剂与水在玻璃表面上竞争结合。由于硅烷偶联剂与玻璃表面的 Si-OH 基形成氢键的能力比水强，足以与水分子竞争表面，故驱去水而与玻璃表面键合。

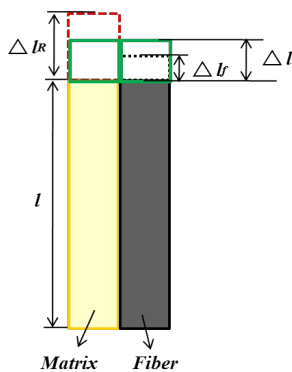
(5) **摩擦理论**：树脂与增强体之间的粘结完全基于摩擦作用，增强体与树脂之间的摩擦系数决定了复合材料的强度。

8、产生热应力的主要因素有哪两方面，残余热应力及其求解（三个方程）

答：热应力：由温度场而使结构产生的内力。产生热应力主要有两个方面的因素：

- (1) 内因——纤维与基体热膨胀系数不同 → 纤维与基体热变形不同；
- (2) 外因——复合材料固化温度场变化。

残余热应力：复合材料热固化成型，由高温（固化温度）降至低温（环境温度）由于纤维与基体收缩量不同，但受约束（变形不协调）→ 产生热应力。这一热应力在成型结束后仍存在于结构中，故称残余热应力。



玻璃纤维与树脂牢固粘结，长度为 l ，温差为 Δt

α_R, α_f —— 树脂与纤维的热膨胀系数 $\alpha_R > \alpha_f$

E_R, E_f —— 树脂与纤维的弹性模量

V_R, V_f —— 树脂与纤维的体积系数 $V_R + V_f = 1$

S —— 复合材料截面积

(1) 树脂与纤维热变形关系的几何方程

树脂的自由伸长量： $\Delta l_R = \alpha_R \Delta t \cdot l$

纤维的自由伸长量： $\Delta l_f = \alpha_f \Delta t \cdot l$

$$\because \alpha_R > \alpha_f \therefore \Delta l_R > \Delta l_f$$

(2) 根据胡克定律建立物理方程

$$\text{变形中树脂受压应力: } \sigma_R = \frac{\Delta l_R - \Delta l}{l} E_R$$

$$\text{变形中纤维受拉应力: } \sigma_f = \frac{\Delta l - \Delta l_f}{l} E_f$$

但树脂与纤维牢固粘结，实际变形伸长量 Δl

$$\Delta l_R > \Delta l > \Delta l_f$$

(3) 力平衡方程

纤维与树脂受力平衡：

$$\frac{\Delta l_R - \Delta l}{l} E_R S V_R = \frac{\Delta l - \Delta l_f}{l} E_f S V_f$$

消去上式 Δl 得到热应力 P

$$P = \frac{(\alpha_R - \alpha_f) \cdot \Delta t}{\frac{1}{E_R V_R} + \frac{1}{E_f (1 - V_R)}}$$

9、复合材料界面设计要求（3条），改善界面性能的方法有哪些（纤维+基体），碳纤维的表面处理技术

答：界面设计要求：

(1) 应以复合材料最优复合效果和最佳综合性能为目标，不单纯追求界面高强度，体现在复合材料上，要具有最大的断裂能和一定的韧性；

(2)为提高界面结合强度，通常改善纤维与树脂之间的润湿性，选定合适的偶联剂；

(3)为提高界面韧性，通常提高纤维、基体固有性能；使用合适的纤维涂层以改善破坏模式，提高内能吸收能力。

改善界面性能的方法

(1)**增强材料的表面处理** 在增强体表面涂覆上一种称为表面处理剂的物质，它有利于增强体与基体间形成一个良好的粘结界面，从而达到提高复合材料各种性能的目的。

(2)**基体材料的改性** 通过对树脂的基体的改性同样可以有效地改善复合材料的界面粘结状况和改变其断裂破坏行为。

碳纤维的表面处理技术：

(1) 表面浸涂有机化合物 (2) 表面涂覆无机化合物 (3) 表面化学处理 (4) 电解氧化处理 (5) 等离子体处理 (6) 新的表面处理技术

10、复合材料性质分类（4种），固有性质的混合率的内涵

答：1.**固有性质**：指复合材料在各相之间不互相作用所表现出来的材料性质。

2.**传递性质**：材料在外作用场作用时，表征某通量通过材料阻力大小的物理量。

3.**强度性质**：材料承受外作用场极限能力的表征。

4.**转换性质**：指材料在一种外场作用下，转换产生另一种新场量。

固有性质的混合率：

复合材料的固有性质在组分复合前后，其物理量和能量的总含量不会变化。此时，复合材料的性质是各相组分按含量的加和性，而与各相的几何状态、分析状态无关。

设复合体系的某一性能为 ρ ，对任一相所具有的性能和体积分数分别为 ρ_i 和 V_i 则有(混合率)：

对复合材料而言，属于固有性质的物理量 ρ ，都应服从混合率。

11、纤维增强体的选定原则

答：主要有：

- ① 纤维应具有高强度和高模量。
- ② 基体材料具有一定塑性和韧性。
- ③ 能够与基体之间形成具有一定结合强度比较完整的界面。
- ④ 增强体的含量、尺寸及分布必须适宜。
- ⑤ 纤维与基体的热膨胀性能匹配
- ⑥ 纤维与基体的断裂伸长也要匹配。

12、缠绕工艺定义与分类

答：定义：将浸过树脂胶液的连续纤维或布带，按照一定规律缠绕到芯模上，然后固化脱模成为复合材料制品的工艺过程。

分类：干法缠绕，湿法缠绕，半干法缠绕

干法缠绕：将预浸纱带，在缠绕机上经加热至粘流状态并缠绕到芯模上的成型工艺过程。

湿法缠绕：将无捻粗纱经浸胶后直接缠绕到芯模上的成型工艺过程。

半干法缠绕：将无捻粗纱浸胶后，随即预烘干，然后缠绕到芯模上的成型工艺方法。

13、缠绕规律定义，缠绕线型的两个最基本要求，缠绕线型的分类

答：定义：缠绕规律是描述纱片均匀、稳定、连续、排布在芯模表面，以及芯模与导丝头间运动关系的规律。

要求：（1）纤维既不重合又不离缝，均匀连续布满芯模表面。

（2）纤维在芯模表面位置稳定，不打滑。

分类：（1）环向缠绕：芯模自转一周，导丝头近似移动一个纱片宽度的缠绕。

(2) 螺旋缠绕：芯模绕自轴匀速转动，导丝头以特定速度沿芯模轴线方向往复运动的缠绕方式。

(3) 纵向缠绕：导丝头在固定平面内做匀速圆周运动，芯模绕自轴慢速旋转，导丝头转一周，芯模转动的微小角度近似一个纱片宽度，

14、一个完整循环的概念

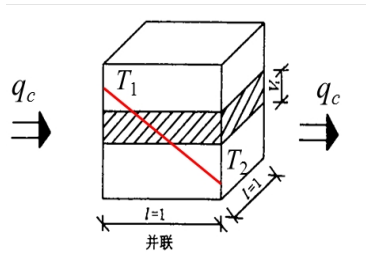
答：螺旋缠绕时，由导丝头引入的纤维自芯模上某点开始（空间点），导丝头经过若干次往返运动后，又缠回到原来的起始点上（空间点）。这样在芯模上所完成的一次（不重复）布线称为“标准线”。完成一个标准线缠绕称为一个完整循环。

15、传递性质特点，以一维导热为例写出并联和串联的导热特性

答：材料的传递性质是材料在外作用场作用时，表征某通量通过材料阻力大小的物理量。该性质本质上表征材料中微粒子的运动状态及通过运动传递能量、物质的能力。

并联结构特点：

整体与各相传递推动力相等，皆为 $\Delta T / \Delta l$



整体传递通量为各相之和：

$$q_c = \sum q_i \quad (2)$$

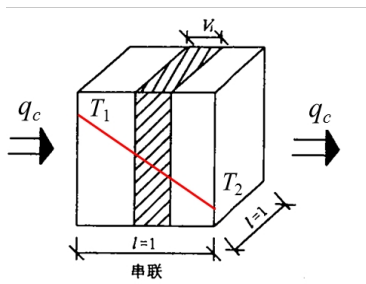
$$q_c = \sum q_i = \sum \alpha_i V_i \Delta T / \Delta l = -\alpha_c \Delta T / \Delta l$$

并联时的关系： $\alpha_c = \sum \alpha_i V_i$

串联结构特点：

整体与各相传递通量相同，皆为 $q_c = q_i$

总温度降低值等于各相温度之和：



$$q_c = -\alpha_c \Delta T / \Delta l \quad (3)$$

$$\Delta T = -q_c \Delta l / \alpha_c = -q_c / \alpha_c$$

$$q_i = -\alpha_i \Delta T_i / \Delta l_i \Rightarrow \Delta T_i = -q_i V_i / \alpha_i$$

$$\Delta T = \sum \Delta T_i = -\sum q_i V_i / \alpha_i \quad (4)$$

由式(1)=式(4) 故，串联时的关系： $\alpha_c = 1 / \sum (V_i / \alpha_i)$

16、纤维在芯模表面均匀布满条件

答：a、一个完整循环的诸切点均布在极孔圆周上。

b、位置相邻的两切点所对应的纱片在筒身段错开的距离等于一个纱片宽度。

17、螺旋缠绕线型设计、标准线展开法

(1) 芯模转角的计算：实现稳定缠绕的条件是测地线缠绕（纤维缠绕轨迹必须是芯模表面测地线）

(2) 螺旋缠绕线型的确定：

(a) 容器允许改变圆筒长度 l, a_0 可不变，调整后的筒身长度

(b) 容器尺寸不许变，调变缠绕角

(c) 允许改变极孔直径

(3) 标准线展开图

- (a) 交叉点数、交带数的计算
- (b) 交叉点及交带的分布规律