

复合材料原理



江苏大学材料学院

第二章 复合材料的复合原理及界面

2.1 复合原则

2.2 弥散增强及颗粒增强原理

2.3 单向连续纤维增强原理

2.4 短纤维增强原理

2.5 混杂增强原理

2.6 复合材料界面及其改性

2.7 复合材料界面表征

2.6 复合材料界面及其改性

- ❖ 界面的基本概念
- ❖ 聚合物基复合材料的界面改性
- ❖ 金属基复合材料的界面及其改性方法
- ❖ 层状复合材料的界面

思考题

- 1、聚合物基复合材料的界面有哪些特点？
- 2、避免金属基复合材料界面过度化学反应的措施有哪些？

- 1、聚合物基复合材料的界面往往含有改性层，而且界面层的模量一般低于增强材料的模量。
- 2、增强材料处理（氧化、涂层）、基体材料合金化、改进制备工艺（避免液态、降低温度）。

层状复合材料的界面

- ❖ 钢-铝复合材料界面
- ❖ 铜-铝复合材料界面
- ❖ 陶瓷层状复合材料界面

- **金属层状复合材料**是利用复合技术，使两种或两种以上物理、化学、力学性能不同的金属在界面上实现牢固的冶金结合而制备的一种新型复合材料。
- 经过恰当组合而形成的金属层状复合材料，可以极大地改善单一金属材料的热膨胀性、强度、断裂韧性、冲击韧性、耐磨性、电性能、磁性能等诸多性能
- 近年来受到世界各国的普遍重视，已被广泛的应用于汽车、船舶、电子、医疗、环保设备和化工设备等方面。

固-固复合

轧制复合法

爆炸复合法

爆炸-轧制复合法

扩散焊接法

液-固复合

铸造复合法

钎焊法

表面工程技术

电镀

刷镀

化学镀

热喷涂

物理气相沉积

爆炸复合的可能金属组合

金属	铝及铝合金	黄铜	青铜	铜	铁及铁合金	镍	镍铁合金	镍银合金	银	不锈钢	碳钢	钛
铝	√	√	√	√	√	√	√		√		√	√
铝合金	√			√	√		√		√		√	
铜及铜合金	√				√	√	√		√	√	√	
金及金合金	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√
铁及铁合金	√	√	√	√	√							
铅及铅合金	√	√	√	√	√	√	√		√		√	
镍及镍合金	√	√		√						√	√	
银及银合金	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√
不锈钢	√			√							√	
低碳钢	√			√	√							
锡及锡合金	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
钛				√						√	√	

一、钢-铝复合材料界面

- 电解铝阳极导电杆
- 铝合金轮毂
- 钢-铝复合导电轨

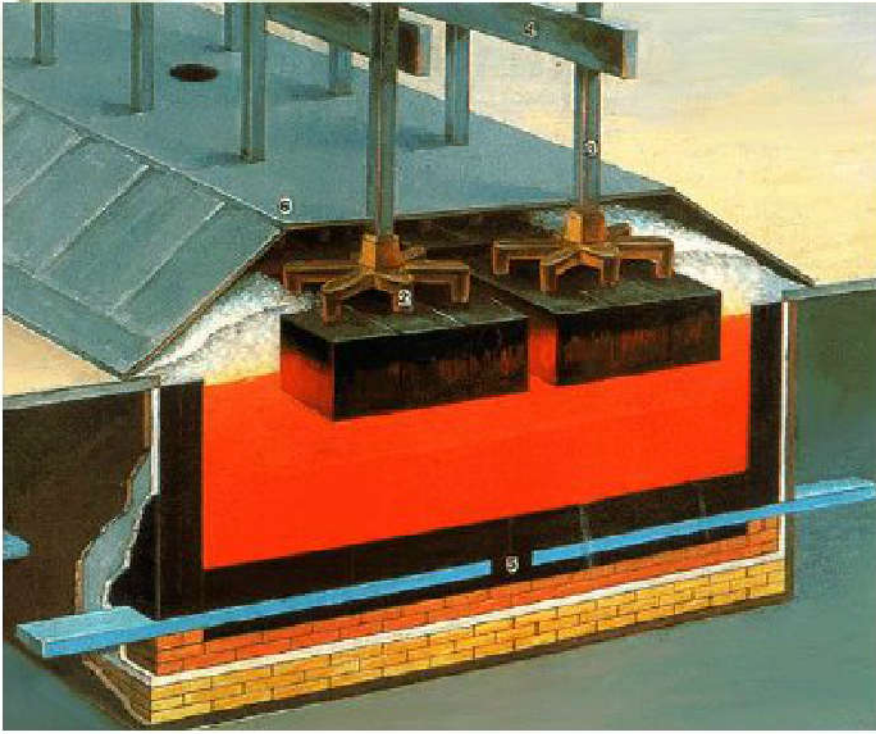


图1 钢-铝阳极导电杆



图2 铝合金轮毂

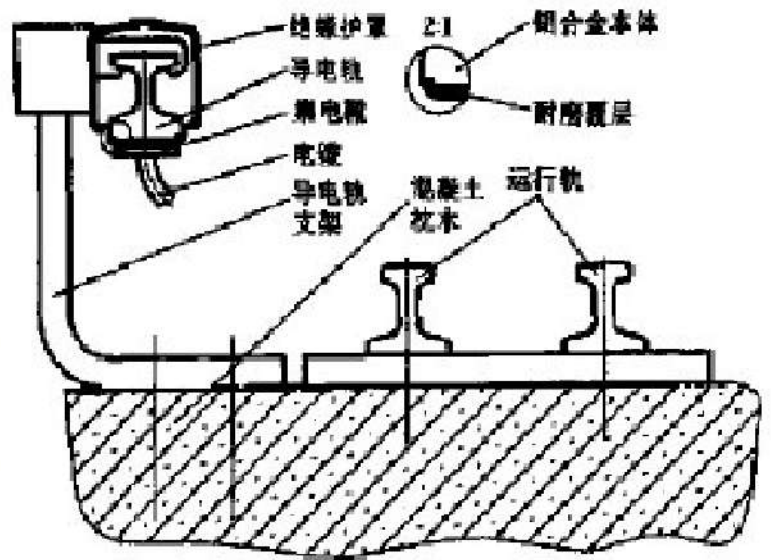


图3 钢-铝复合导电轨

钢-铝复合的实现途径

- 机械结合
螺栓、螺钉、铆钉，弹性夹紧，折叠咬合
- 机械/冶金结合
挤压-焊接、挤压-滚压、铸造-冷轧
- 冶金结合
液态热压接、铸造-复合挤压、共同挤压



a) 复合良好的钢头



b) 复合不良的钢圈和轮毂

图4 钢-铝结合分开面照片

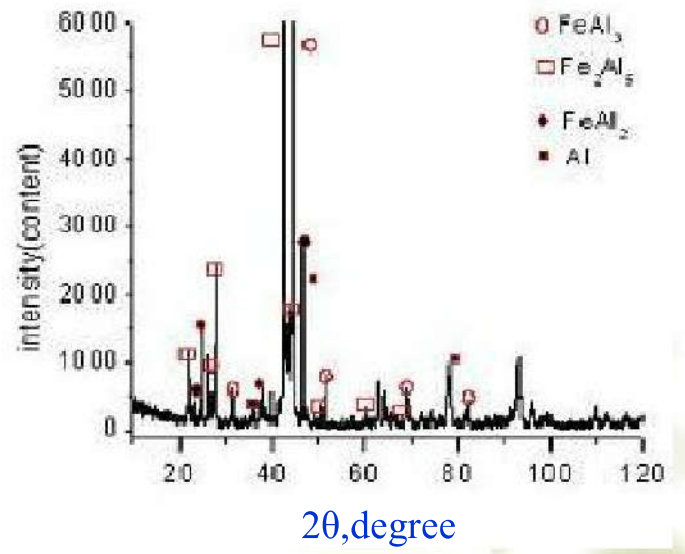
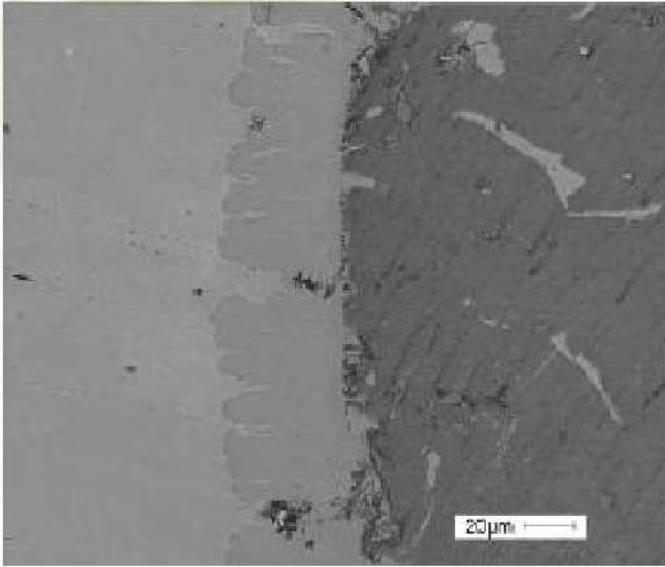


图5 钢-铝复合界面的SEM照片及界面的XRD谱

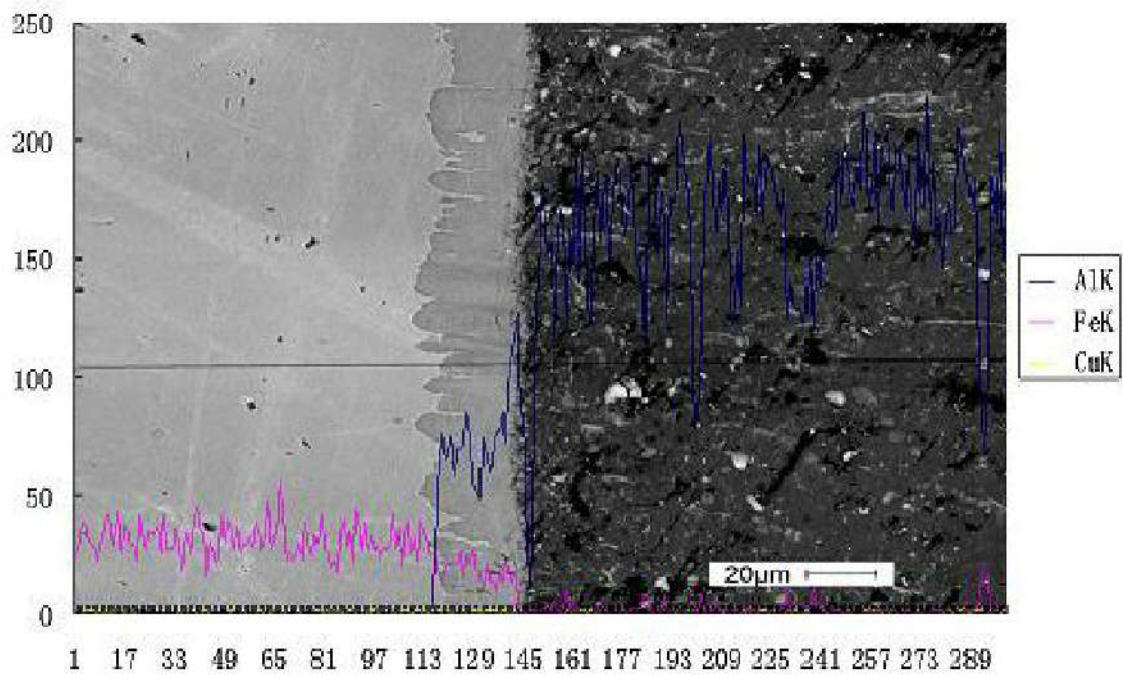


图 钢/铝复合界面电子扫描成分分析

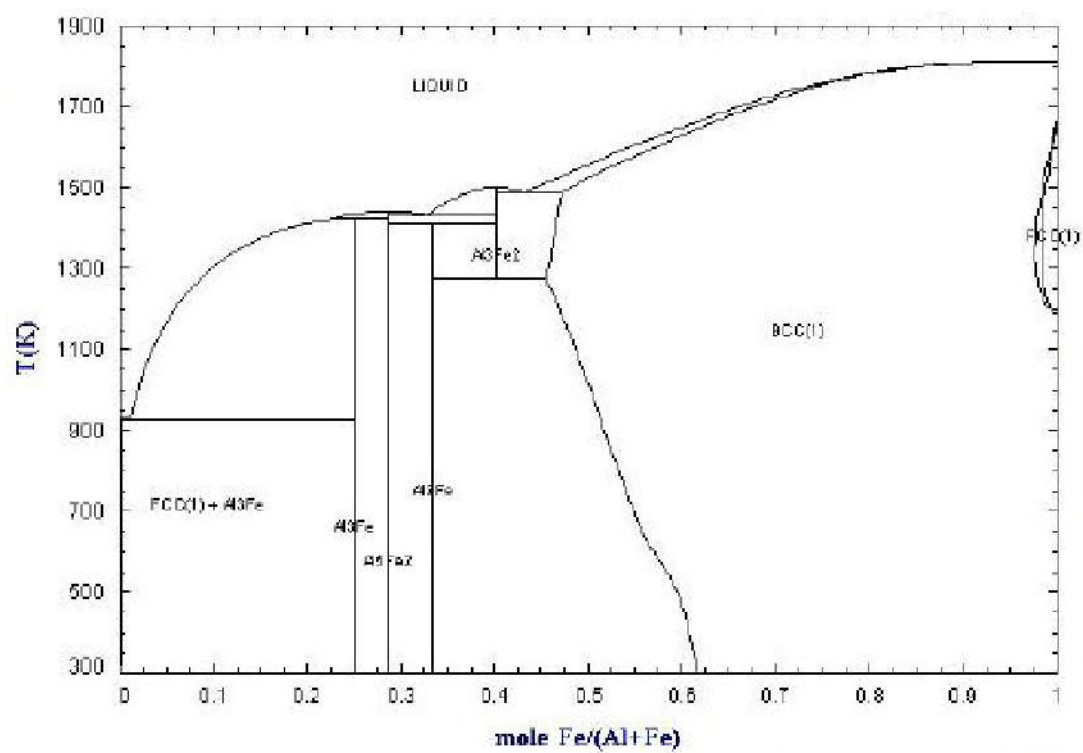
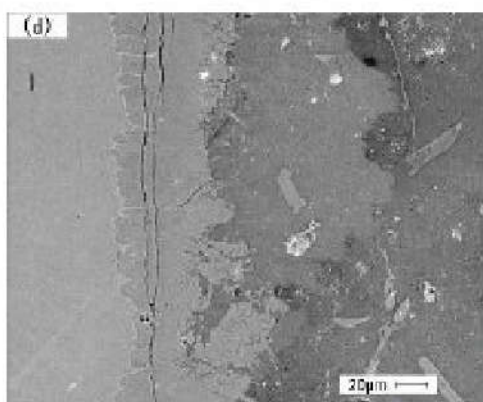
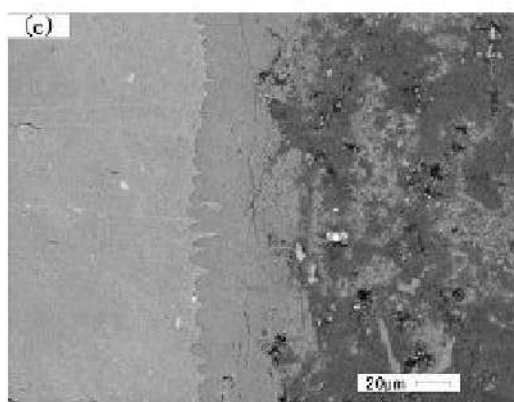
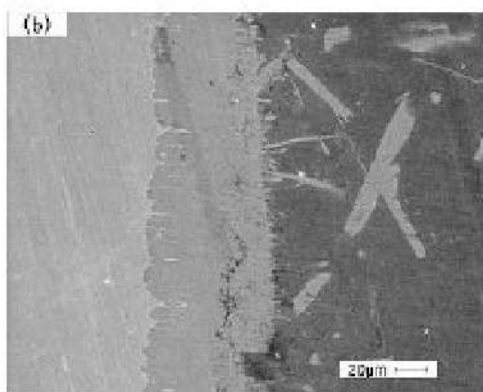
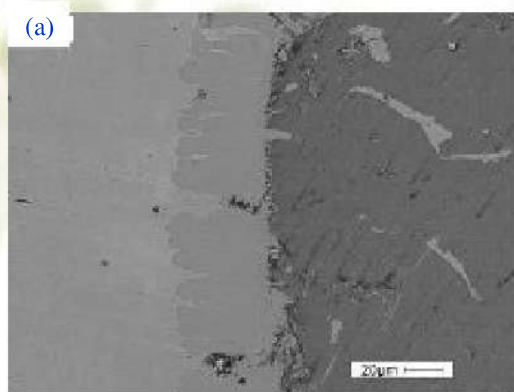


图6 Al-Fe二元相图



- (a) 原始试样
- (b) $400^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$
-空冷, 10次
- (c) $500^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$
-空冷, 4次
- (d) $500^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$
-空冷, 5次

图7 不同试样的扫描电镜照片

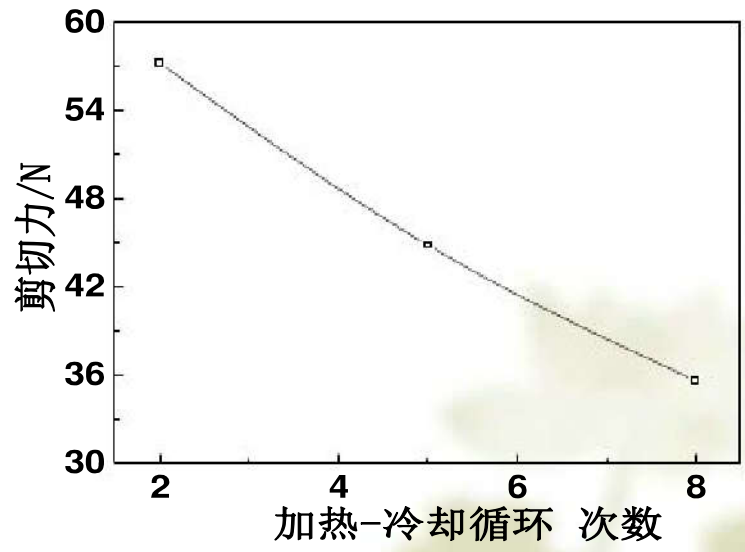
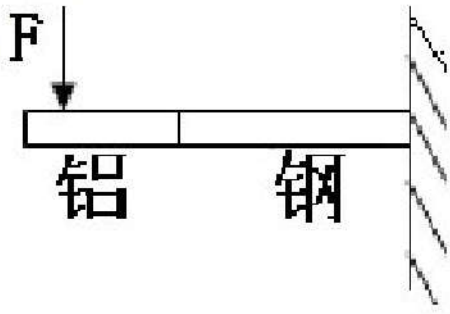


图8 抗弯特性随 $500^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ -空冷循环次数的变化

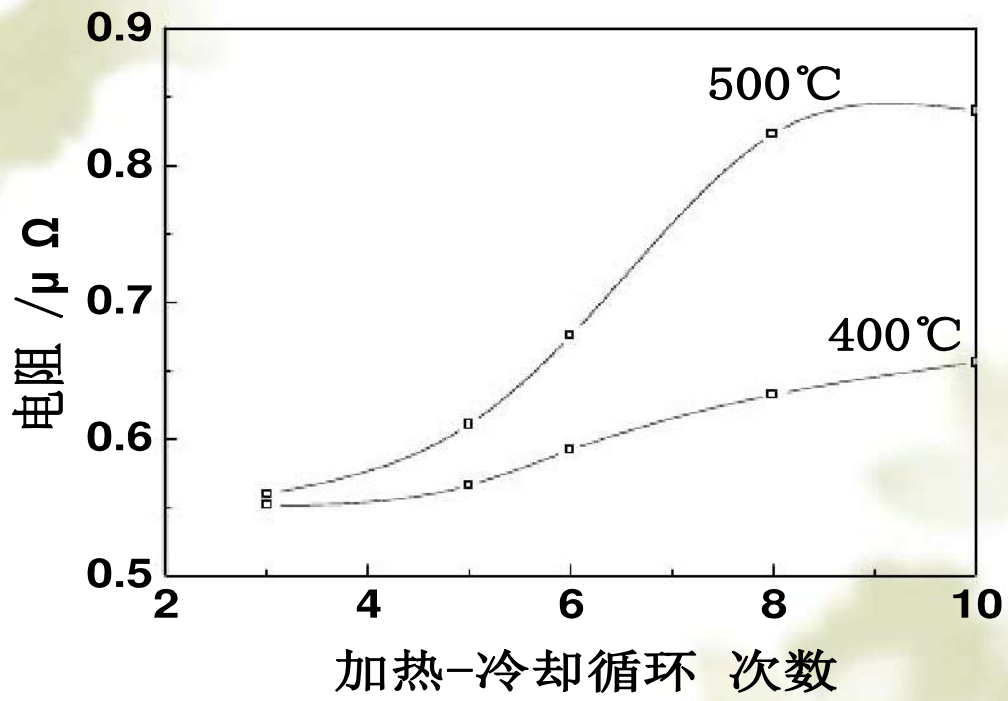


图9 界面电阻与温度、热-冷循环次数的关系

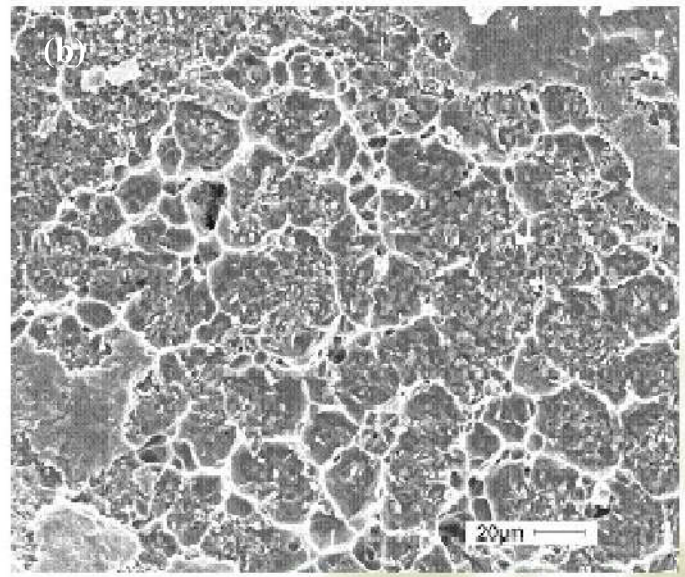
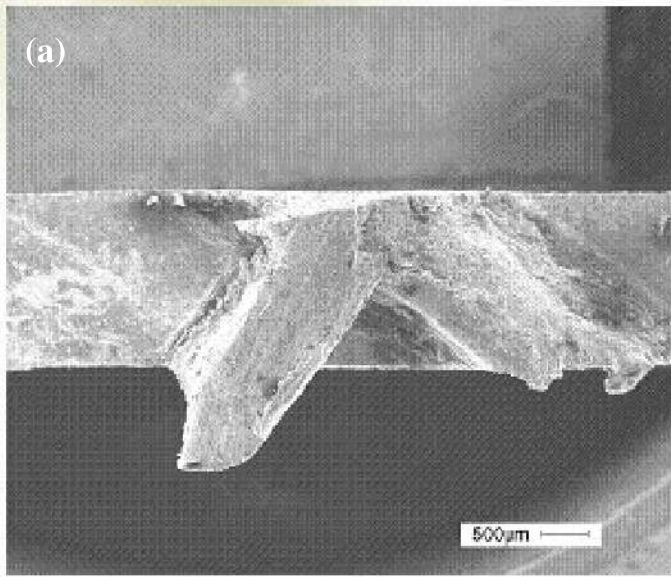


图10 钢-铝复合界面断口的SEM照片

存在的问题

- 1、Fe-Al金属间化合物的形成；
- 2、钢、铝热膨胀系数的差异；
- 3、生产过程中工艺参数的严格控制；
- 4、实际使用中的加热-冷却循环。

二、铜-铝复合材料界面



图11 铜包铝材料照片

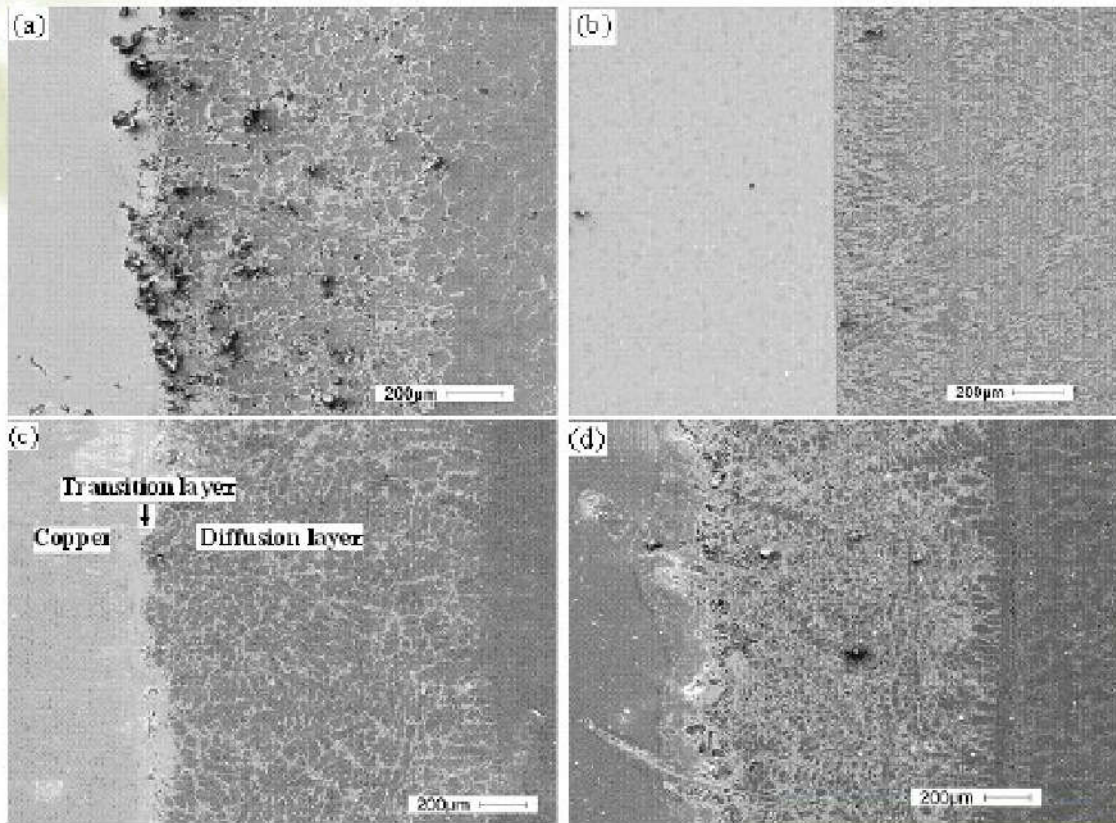


图12 不同试样的扫描电镜照片

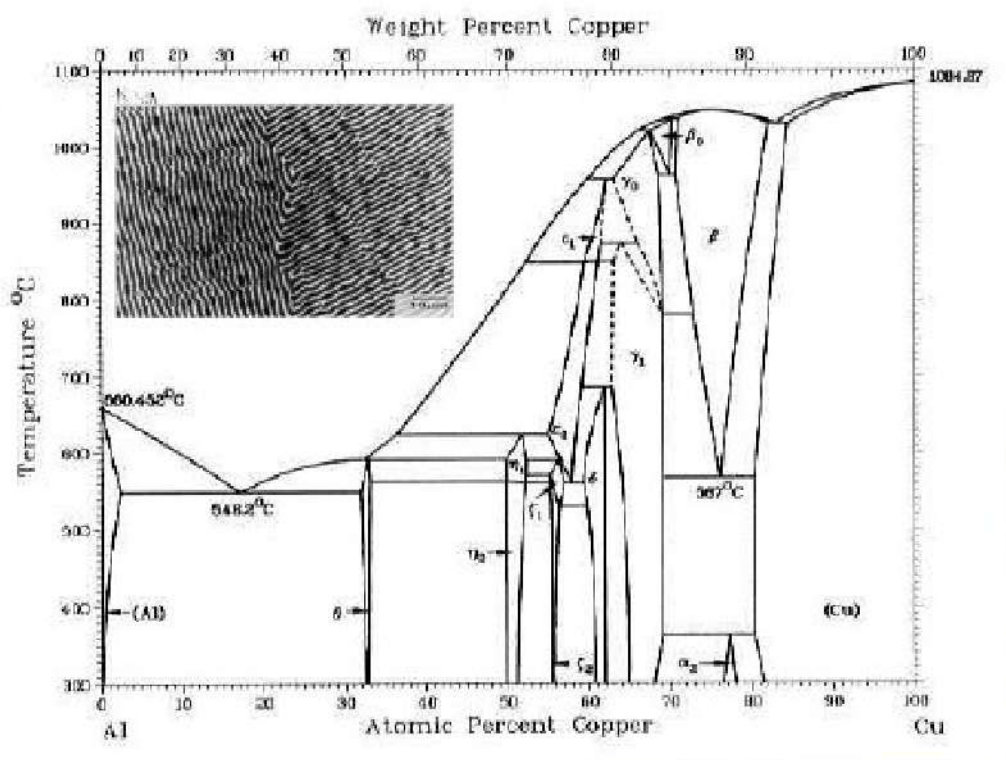
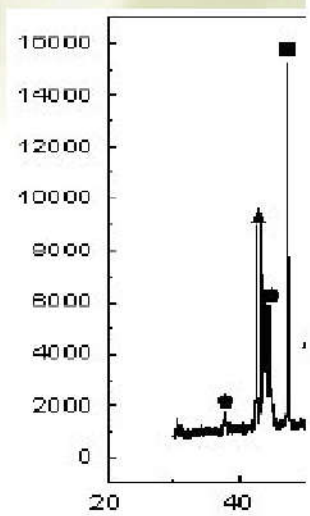


图13 铜侧XRD分析结果

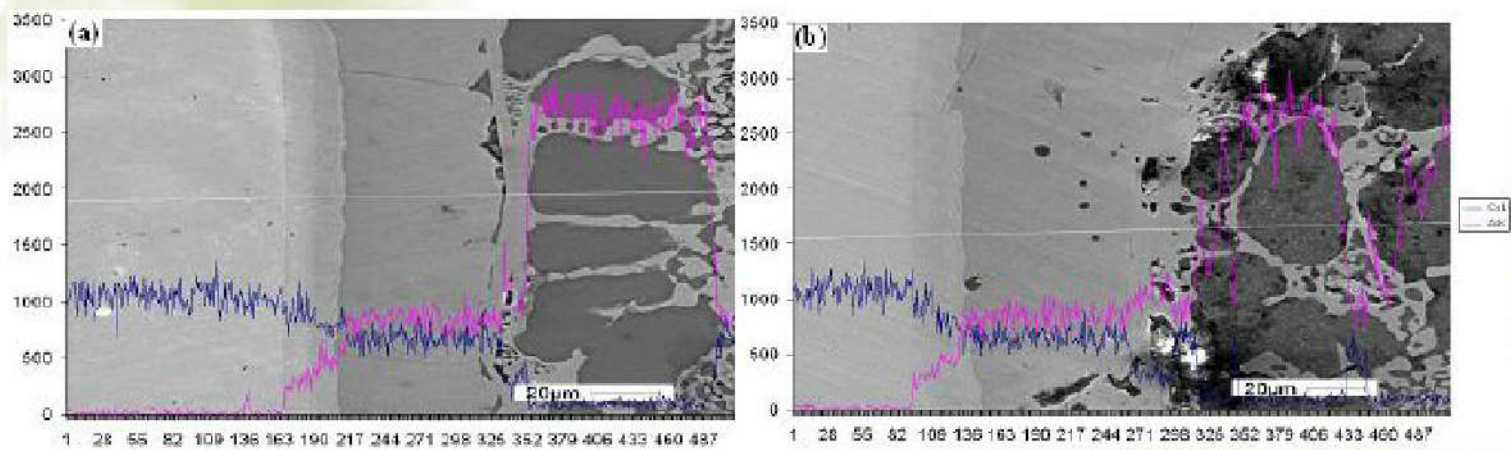


图14 不同试样界面附近的电镜扫描成分分析

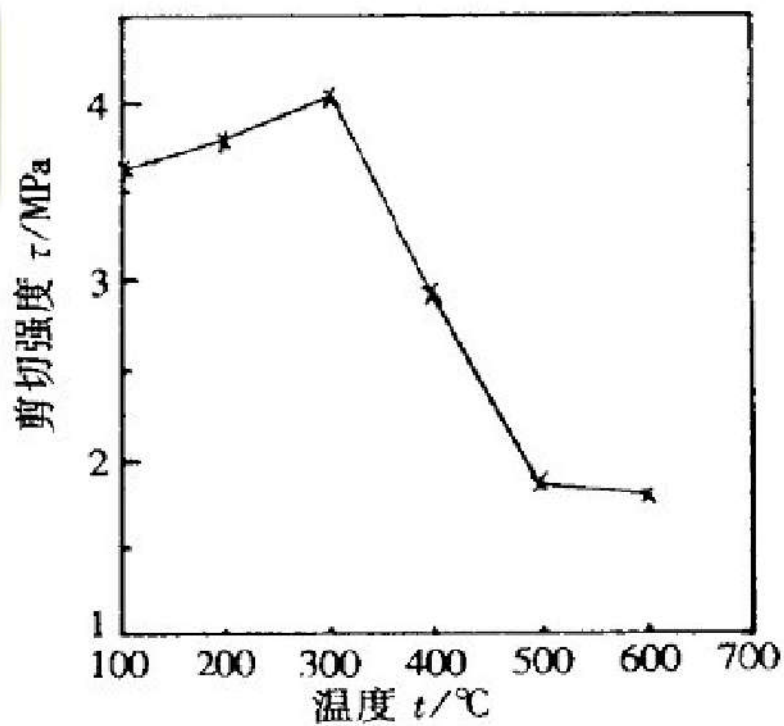


图15 热扩散处理温度与界面强度之间的关系

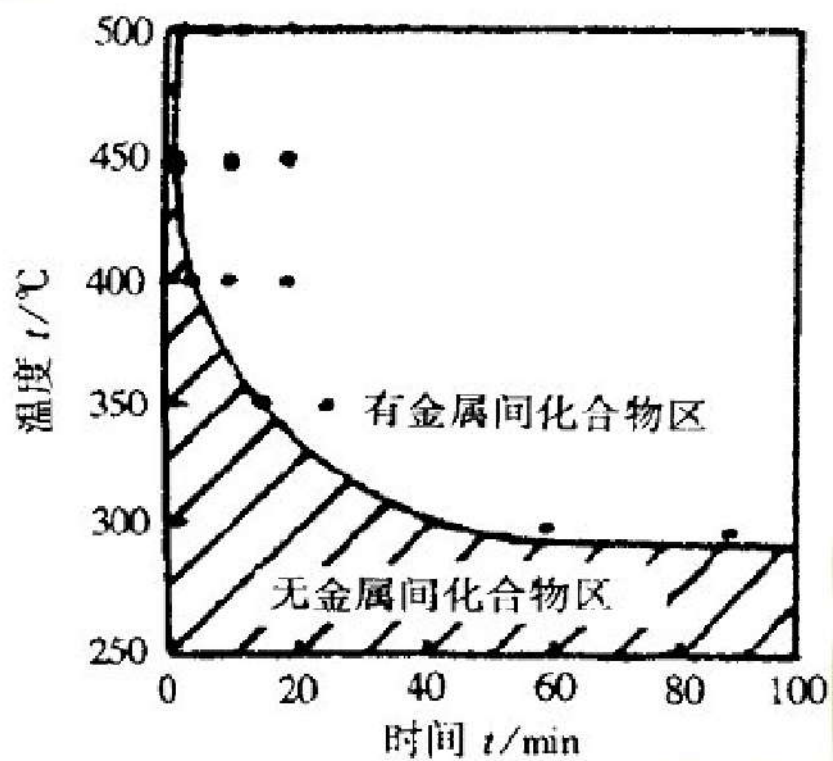


图16 铜-铝出现金属间化合物的温度-时间关系

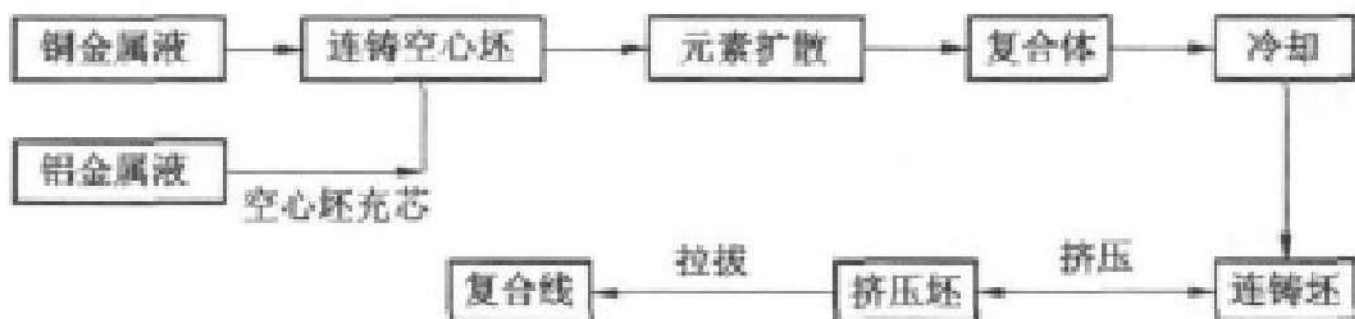


图17 铜包铝复合线工艺流程



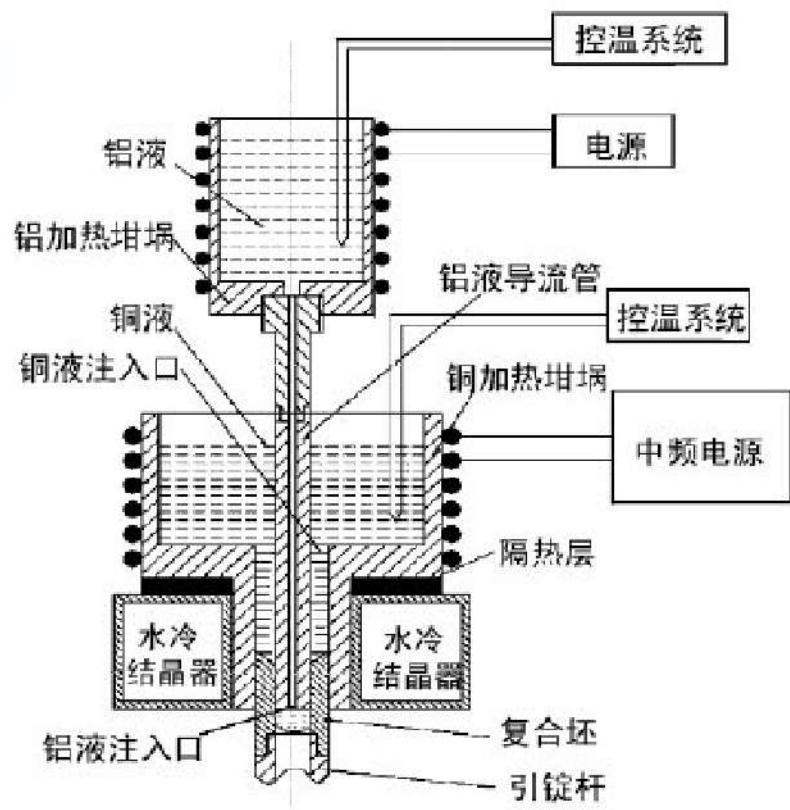


图1 充芯连铸工艺原理图

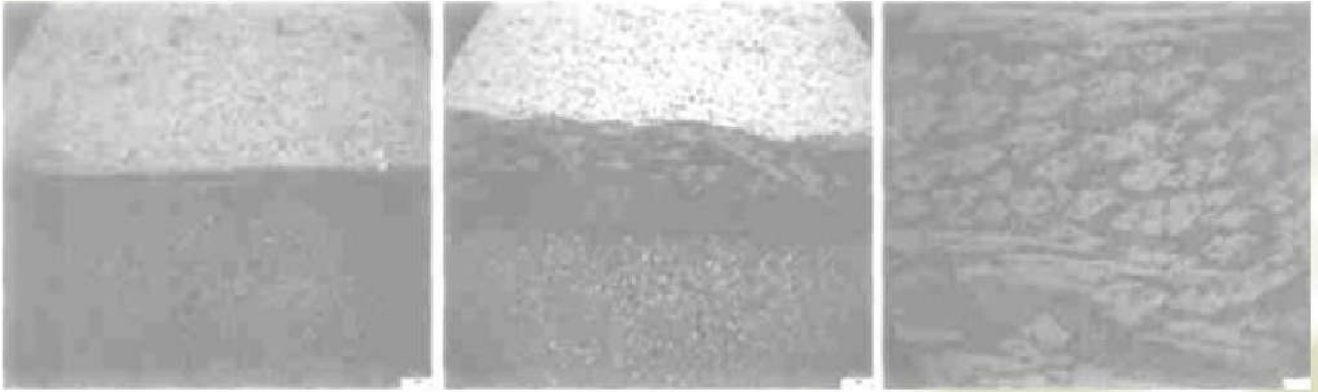
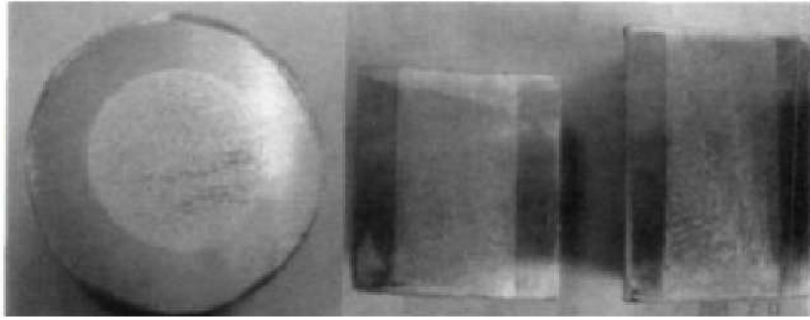


图18 充芯连铸铜包铝复合材料及其界面组织

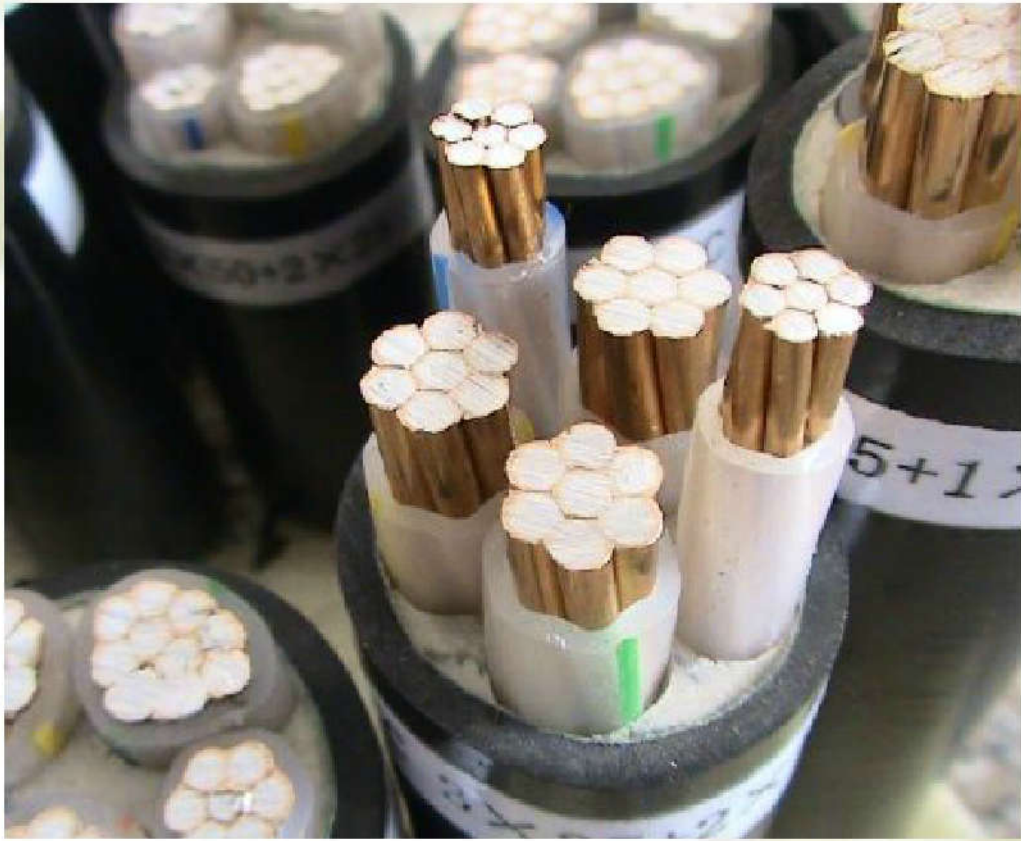


图19 铜包铝电力线缆

石墨与六方 BN 部分性能的比较

性能	石墨	h-BN (白石墨)
热膨胀系数 (k)	$2-3 \times 10^{-6}$	$5-7 \times 10^{-6}$
导热系数 [$\text{cal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]	80-180	48.96
电阻率 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	800	1.7×10^{17}
密度 (g/cm^3)	2.26	2.27

- ❖ 高温下 C/BN 复合材料的界面热稳定性和耐热冲击性，这种复合体系具有优良的界面稳定性，同时在 1800℃ 仍可保持良好的结构，说明该材料具有优良的热匹配性。
- ❖ 石墨和氮化硼均为难烧结材料，制备这种 C/BN 层状复合材料是相当困难的，通常采用 CVD 法在石墨基体上镀一层 BN。

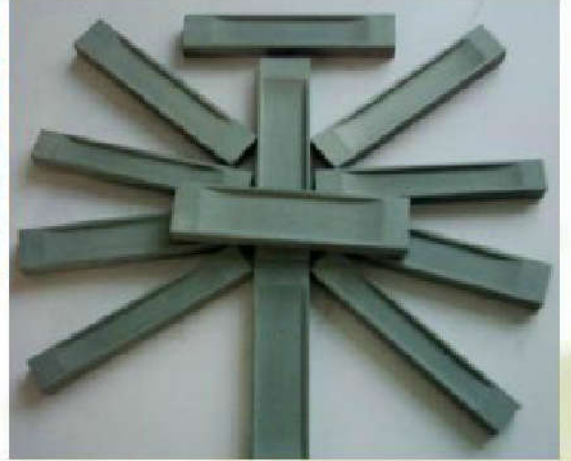
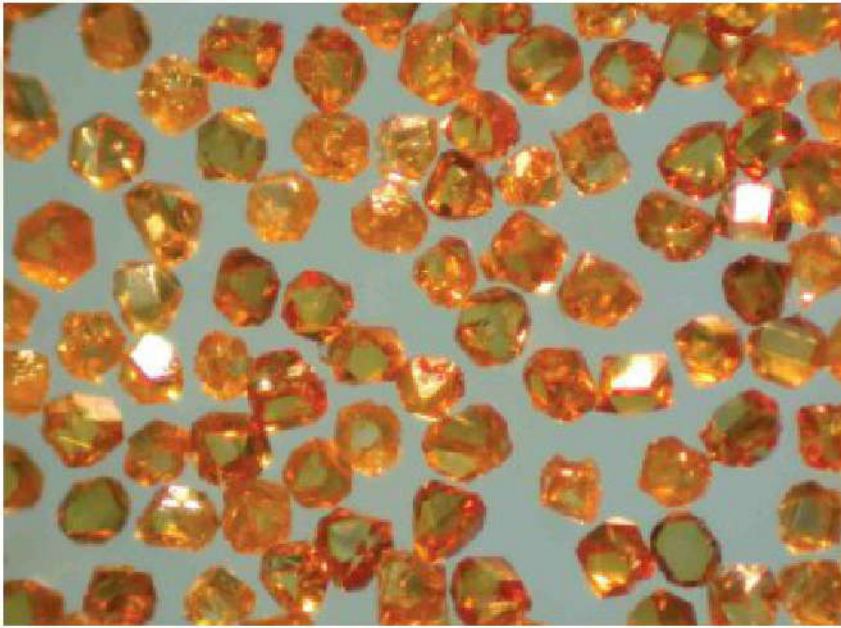


图20 立方氮化硼及蒸发舟

铝塑复合板的特性

- 1、耐候性佳、强度高、易保养；
- 2、施工便捷、工期缩短；
- 3、优秀的加工性、断热性、遮音性和绝佳的防火性能；
- 4、可塑性高、耐撞击、可减轻建筑物负荷，防震性佳、平整性佳、轻而坚、美而廉；
- 5、颜色多，可供选择（特殊颜色可供定做）
- 6、价格合理，快速供货。

无毒性塑料芯材

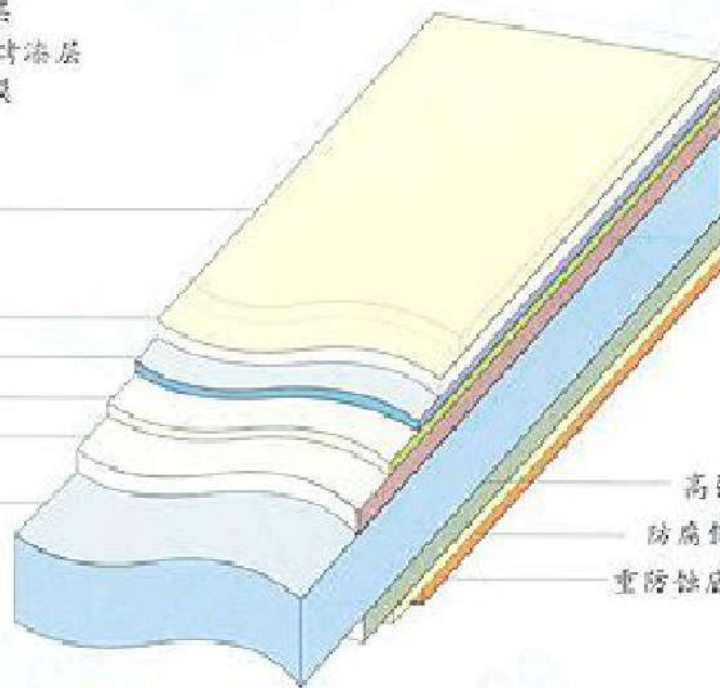
高强度铝板

防腐保护膜处理

重防蚀底涂层

氟碳树脂漆涂层

保护膜



高强度铝板

防腐保护膜处理

重防蚀底涂层

图21 铝塑复合板及其结构

层状复合材料的界面

- ❖ 钢-铝复合材料界面
- ❖ 铜-铝复合材料界面
- ❖ 陶瓷层状复合材料界面

思考题

- 1、你认为铜-铝复合材料的界面结合存在哪些问题，如何加以解决？
- 2、陶瓷层状复合材料应用的最大障碍是什么，通过哪些技术途径可以推动该类材料的应用？



思考题

- 1、你认为铜-铝复合材料的界面结合存在哪些问题，如何加以解决？
- 2、陶瓷层状复合材料应用的最大障碍是什么，通过哪些技术途径可以推动该类材料的应用？

界面金属间化合物、氧化，复合温度控制、气体保护等。

制备工艺复杂（烧结难）、成本高，烧结助剂、纳米粉体、开发新工艺等。