

铜基自润滑复合材料界面结合差 形成原因及改进措施

案例制作：甘雪萍 教授
中南大学粉末冶金研究院



内容提纲



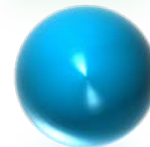
1、案例来源与背景



2、界面结构分析



3、工艺改进



4、总结与思考



1、案例来源与背景

➤案例来源：北京市某科技有限公司

➤案例背景：

铜基自润滑复合材料是兼备铜及铜合金良好的物理力学性能以及固体润滑剂优异的耐磨减摩性能的一类复合材料，因其高耐磨性、低摩擦系数、高耐蚀性、较高的机械性能等优势，在机械制造业应用广泛。然而随着航空工业的快速发展及滑动轴承实际工况的日益苛严，传统的航空发动机用燃油调节器中滑动轴承在使用时存在涂层脱落、磨损异常等可靠性不稳定问题。因此，采用铜基自润滑复合材料制备的滑动轴承要求高强度、高耐磨及低摩擦系数，以满足燃油调节器的高可靠性及长寿命要求。



► 案例背景：

本案例采用粉末冶金工艺生产燃油调节器中滑动轴承用铜基自润滑复合材料产品。

本案例采用的主要制备工艺流程如图1所示：

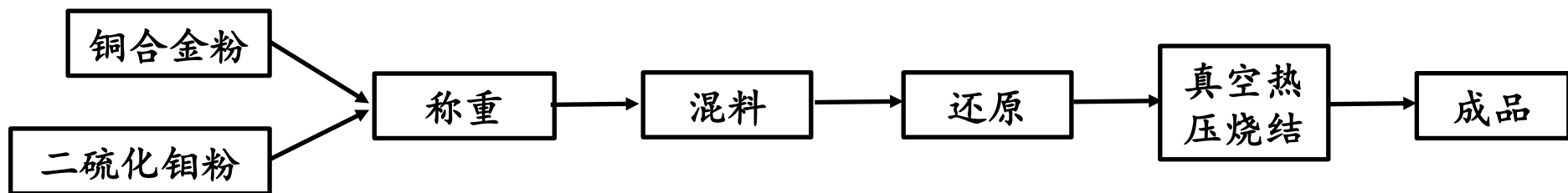


图1 制备工艺流程图

根据铜基自润滑复合材料产品的使用要求和生产技术，通常采用粉末冶金法进行制备，但制备出产品容易出现致密性差、二硫化钼易脱落和性能不达标等问题，严重地影响了铜基自润滑复合材料的服役性能。铜基体和二硫化钼之间的界面结合问题一直是铜基自润滑复合材料生产上的一大难题。



►界面结构分析:

实际生产过程中发现，铜基自润滑复合材料**致密性差**，材料中的**二硫化钼易从基体中脱落**，严重地影响了铜基自润滑复合材料的力学性能及服役性能。

本案例首先针对二硫化钼与铜基体的界面结合情况进行分析，分析其界面结合的特征；然后依据分析结果提出改进措施并实现产业化应用。



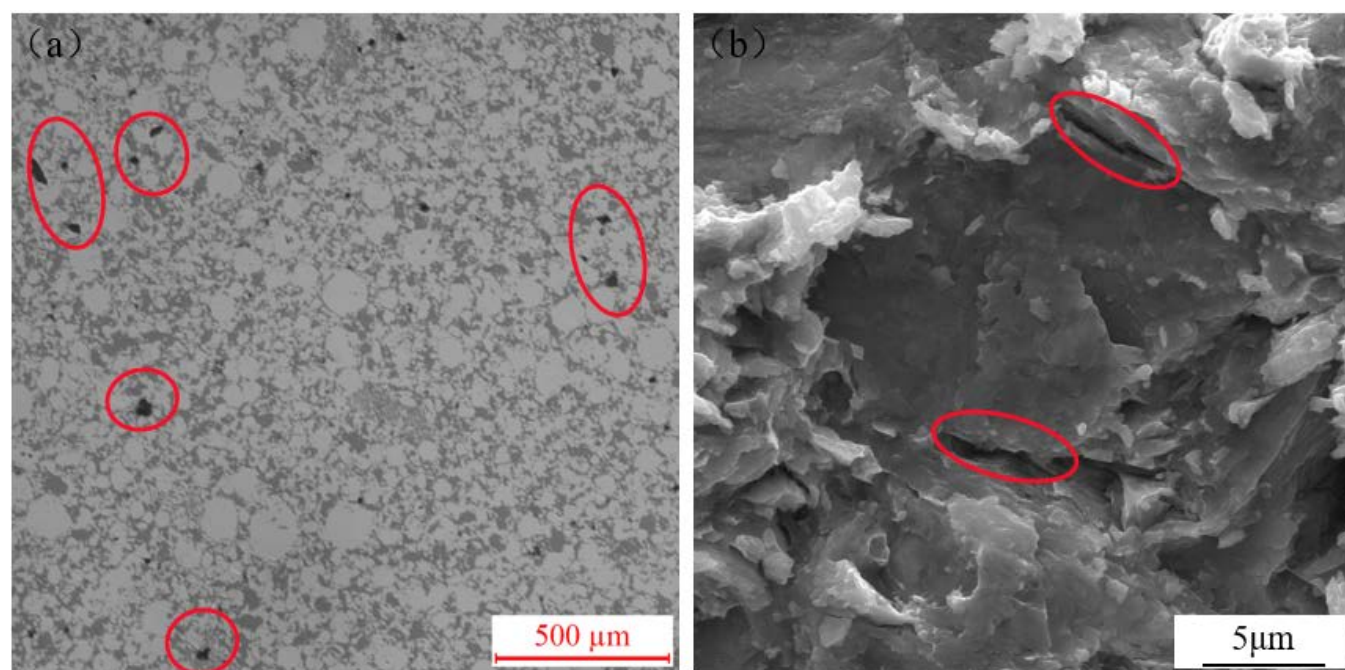


图2 铜基自润滑复合材料的光学显微形貌及其拉伸断口形貌
(a) 光学显微形貌照片； (b) 拉伸断口形貌照片

在光学显微形貌中可以看到，由于磨抛过程中二硫化钨颗粒极易脱落，在材料表面留下凹坑，而磨抛过程中的杂质则会嵌入凹坑中，在光学显微镜下表现为黑色块体。在拉伸断口形貌中可明显看见二硫化钨与基体间存在的裂纹和空隙，导致复合材料在拉伸时，二硫化钨极易从基体中脱落。



3、工艺改进

3.1 二硫化钼粉末表面改性

本案例从操作简单、效率高、成本低等方面考虑，提出用**化学镀**工艺对二硫化钼粉末进行表面改性处理来改善其与基体的润湿性。具体措施如下：

(1) 除油：采用强碱性溶液对二硫化钼颗粒进行除油处理，去除表面污物达到亲水化效果；

(2) 粗化：采用强氧化剂对除油后的二硫化钼颗粒进行粗化处理，增加其表面粗糙度；

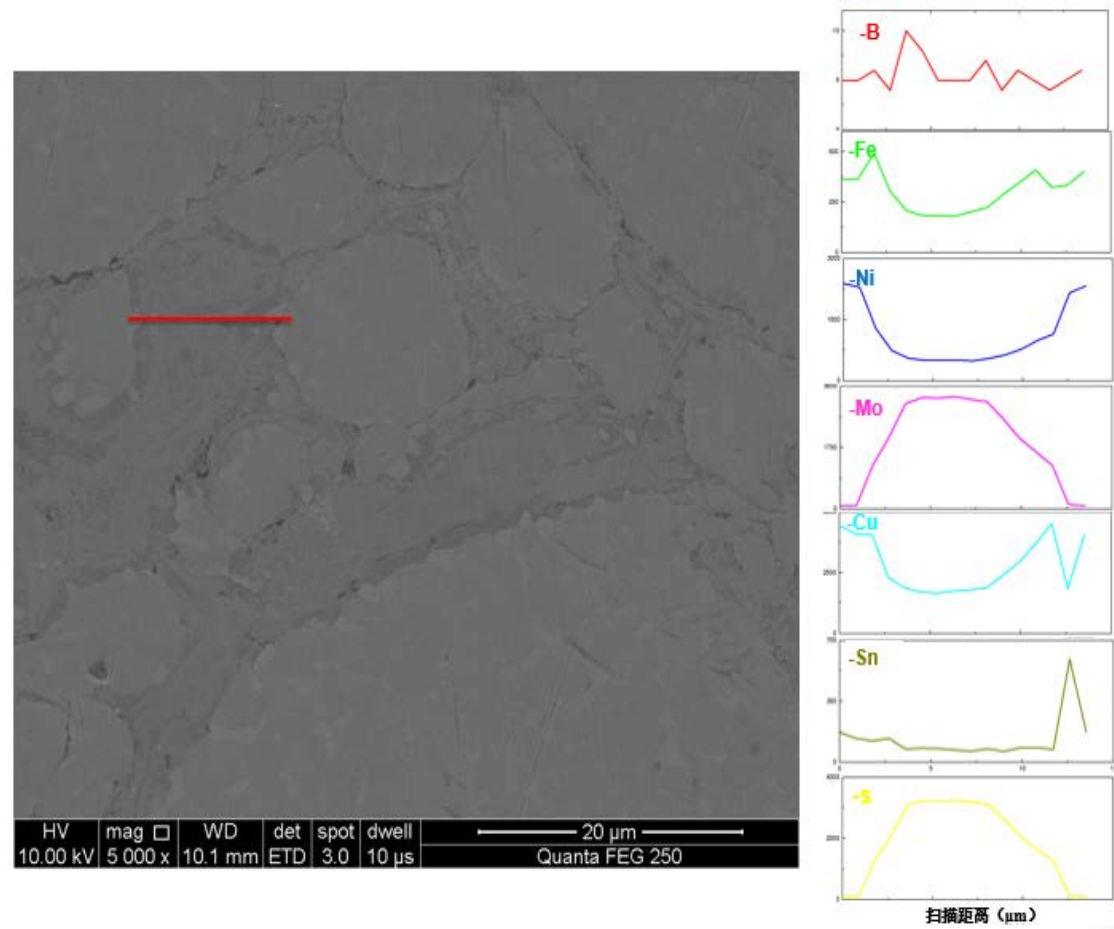
(3) 敏化：采用一定浓度的氯化亚锡溶液对粗化后的二硫化钼颗粒进行敏化处理，使得颗粒表面吸附一层具有还原能力的物质；

(4) 活化：采用一定浓度的氯化钯溶液对敏化后的二硫化钼颗粒进行活化处理，从而在颗粒表面形成一层催化晶核，后续化学镀即可在活化后的表面进行；

(5) **化学镀**：将活化后的二硫化钼颗粒置于含镀层金属离子的镀液中，在金属钯的催化下，通过氧化还原反应使得镀层金属沉积在二硫化钼颗粒表面，形成致密而均匀的金属镀层。



3.2 改进结果



二硫化钼和基体间有一层**改性镀层**。对红线位置进行EDS线扫分析，可见镀层中的镍、铁元素一部分**向基体中扩散**，一部分保留在镀层中，少量镍铁**扩散到二硫化钼**，**镍铁元素的扩散能够改善铜基体与二硫化钼的界面结合**，**减少界面处的空隙**；同时，镀层的存在不仅缩小了基体与二硫化钼的密度差距，有效防止二硫化钼颗粒的团聚，减少二硫化钼彼此之间的弱界面结合，并改善了二硫化钼在基体中的分布。

图5 含改性二硫化钼粉的铜基自润滑复合材料表面SEM照片及EDS分析



铜基自润滑复合材料中基体与二硫化钼的界面结合差的主要形成原因是由两者间差的润湿性引起的，从而在界面处易形成裂纹和空隙，在使用过程中二硫化钼易从基体中脱落，严重地影响了铜基自润滑复合材料的力学性能及服役性能。

针对基体与二硫化钼的界面结合差的主要形成原因，提出改善基体与二硫化钼间润湿性的措施，具体为：对二硫化钼颗粒表面进行除油、粗化、敏化及活化的预处理步骤，再对预处理后的二硫化钼颗粒表面进行化学镀，从而在二硫化钼颗粒表面包覆致密而均匀的金属镀层。金属镀层的存在缩小了基体与二硫化钼的密度差距，改善了二硫化钼在基体中的分布，增强了基体与二硫化钼间的界面结合强度，并在摩擦磨损过程中形成的润滑层有着更高的粘着强度，大大提高了减摩润滑性能。

思考：

- 1、哪些因素会影响润湿性？
- 2、还有哪些办法可以改善复合材料的界面结合情况？



谢谢！

