



# 高性能Al/Mg合金及其成型技术与强韧化机理

## Research on high performance Al/Mg alloy, forming technology and strengthening and toughening mechanism

### 方向简介及主要成果

#### 高铁枕梁用新型耐低温铝合金开发及其成型技术

**研究背景**

应用：高速列车枕梁等铸件  
环境：40℃~ -40℃

**合金设计**

Al-7.0Si-0.3Mg合金

**成型工艺**

新型耐低温铸造铝合金设计  
铝合金高铁枕梁成型技术  
耐低温铸造铝合金热处理调控

**成果鉴定**

通过中车集团成果鉴定

**成果应用**

解决了高铁关键零部件国外技术垄断的“卡脖子”问题，设计了具有自主知识产权的铝合金高铁枕梁，并实现了国产化，成功应用于CRH380、CRH300、CRH250等在北车集团获得了广泛应用。

#### 铸铝合金热处理强化机理及短流程热处理技术

时效 Al-Si-Cu-Mg 合金原子的 3DAP 元素图以及团簇内元素分布：  
(a) Mg atoms, (b) Si atoms, (c) Cu atoms, (d) Mg、Si、Cu clusters

Al-Si-Cu-Mg 铸态合金时效 TEM 组织 (a) 2h, (b) 4h, (c) 12h

#### 代表性成果：

- [1] International Journal of Metalcasting, 2022, 16(1), 153-165.
- [2] Surface and Coating technology [J]. Surface and coating technology, 2022, 128621.
- [3] International Journal of Metalcasting, 2021,15, 1483-1498.
- [4] Journal of Materials Science & Technology, 2021, 80, 84-99.
- [5] Materials Science & Engineering A, 2019, 748, 434-440

#### 支持项目

- [1] 高铁轻质枕梁用铸造Al-Si系合金低温断裂行为热处理调控机理研究(51974092)，国家自然科学基金面上项目
- [2] 半固态成形过共晶Al-Si-Cu-Mg合金短流程热处理强化机理研究(51674168)，国家自然科学基金面上项目
- [3] Al-Si-Cu-Mg铸态合金时效强化奇异“双峰”现象形成机理(50971092)，国家自然科学基金面上项目
- [4] 金属材料凝固过程的中子衍射和透射技术应用研究,广东省基础与应用基础研究基金区域联合基金重点项目(2020B1515120065)
- [5] 高性能铝/镁轻合金在重点工程中的应用研究,广东省重点领域研发计划项目(2020B010186002)
- [6] 东莞市社会发展(重点)项目,新型可降解生物医用镁合金(2020507140148)

#### 科研奖励

- [1] 高压开关罐体整体低压铸造用铝合金及成型工艺: 2005年获辽宁省科技进步二等奖
- [2] 低压铸造高压开关铝合金罐体用合金材料及成型工艺: 2005年沈阳市重大科技攻关专项

#### 生物医用Mg-Zn系合金研发及其超细薄壁管材制备工艺

**生物医用Mg-Zn系合金及其成型工艺研发**

Mg-4Zn-0.3Zr-1.0Y合金力学性能	Mg-4Zn-0.3Zr-1.5Y管坯力学性能
合金	合金状态
自然凝固Mg-4Zn-0.3Zr	电磁搅拌
电磁搅拌Mg-4Zn-0.3Zr	Mg-4Zn-0.3Zr-1.5Y
自然凝固Mg-4Zn-0.3Zr-1.0Y	热挤压管坯
电磁搅拌Mg-4Zn-0.3Zr-1.0Y	Mg-4Zn-0.3Zr-1.5Y
抗拉强度/MPa	抗拉强度/MPa
屈服强度/MPa	屈服强度/MPa
伸长率/%	伸长率/%
188	218
95	164
15.00	13.65
193	270
117	196
18.25	18.32
204	
128	
14.19	
213	
157	
16.55	

挤压比：25；挤压温度：430℃

**重力铸造**      **电磁搅拌**

**Mg-Zn系合金心脏支架用超细薄壁管材制备工艺**

热挤压 → 多道次旋锻

电磁搅拌制坯      Φ6.9mm × 0.8mm      Φ2.4mm × 0.2-0.4mm

#### 基于中子技术的金属材料凝固过程原位研究

晶体材料中子衍射和布拉格透射的工作示意图

175 时效不同时间后 Al-Si-Cu-Mg 合金显微组织及中子小角散射、中子衍射

### 研究基础及主要成员

- **铸铝合金热处理强化机理及短流程热处理技术**：发现并揭示了Al-Si-Cu-Mg铸态合金时效强化“双峰”现象及其形成本质，丰富了铸造铝合金时效强化理论；针对铝合金压铸件不能热处理进一步提高合金性能的技术瓶颈，系统研究压力压成形铝合金铸件的组织特点与形成规律，通过充分发挥压力下成形铝合金件的组织特性和优势，开发了短流程热处理工艺，解决了制约高性能低成本铝合金压铸件热处理强化的技术难题。
- **高铁枕梁用新型耐低温铝合金开发及其成型技术**：高寒地区高速铁路运行，对高铁枕梁等关键零部件用铸造Al-Si系合金的低温性能提出了更高要求。结合固态相变、位错和断裂理论，通过中子衍射及小角散射技术进行合金内应力测定和微观组织表征，系统开展热处理调控低温断裂行为研究，获得了合金低温断裂行为热处理调控机理，提高了合金的低温塑性，解决了制约该类合金低温下应用的技术瓶颈。
- **生物医用Mg-Zn系合金、超细薄壁管材制备工艺及强韧化机理**：开发了Mg-Zn-Zr/Sr-Y系合金，从生物安全性、强韧性和降解可控性出发，开展了生物医用镁合金材料制备及成型工艺研究；通过挤压铸造、电磁铸造及热挤压、旋锻等变形工艺手段，制备了壁厚均匀的超细薄壁镁合金管材，为镁合金合金心脏支架提供了管材。
- **基于中子技术的金属材料凝固过程原位研究**：在CSNS的工程应力谱仪，将中子衍射和中子透射技术相结合，开展工业典型铝/镁合金凝固过程的原位研究。采用SANS与TEM结果分析表明，随着时效时间和时效温度增加，Al-Si-Cu-Mg合金中的析出相的数量和尺寸逐渐增加，为高强高导铝合金的强韧化和导热机理提供强有力的分析手段。

团队指导：王 彪 教授

团队成员：李润霞教授、陈斌博士、吴惠舒博士、陶瑶博士、郝建飞博士、卞健从博士、孔昭阳博士

合作者：胡春明 研究员

合作单位：东莞中子科学中心、沈阳工业大学