

# 特种铝合金技术白皮书

## 一、引言

铝及铝合金凭借其密度低、比强度高、导电性与导热性良好、耐蚀性强以及可回收利用等诸多优势，在航空航天、汽车制造、电子设备、建筑等领域获得了广泛应用。随着各行业对材料性能要求的不断攀升，特种铝材料应运而生。特种铝通过独特的合金化设计、先进的制备工艺以及精确的热处理调控，具备了常规铝材难以企及的高性能，有力推动了各应用领域的技术革新与产业升级。本白皮书旨在深入剖析特种铝技术，涵盖其定义、分类、关键技术、应用领域、发展趋势以及面临的挑战，为行业从业者、科研人员以及相关决策者提供全面且深入的参考依据。

## 二、特种铝的定义与分类

### （一）定义

特种铝是指在普通铝及铝合金基础上，通过特殊的合金元素添加、工艺优化或微观结构调控，使其具备特殊性能（如超高强度、高韧性、耐高温、耐低温、高耐蚀性、高导电性等），以满足特定高端应用场景需求的铝基材料。

### （二）分类

**超高强度铝合金：**通过添加锌、镁、铜等合金元素，并配合特定的加工与热处理工艺，大幅提高铝合金的强度，广泛应用于航空航天结构件，如飞机大梁、机翼、各种高强度要求机械零部件如机械臂、称重感应器、液压油缸、电缸、运动器材等。

**耐高温铝合金：**加入镍、铁、钛等元素，优化合金组织，使其在较高温度下仍能保持良好的力学性能，常用于航空发动机热端部件、汽车发动机零部件等。

**耐蚀铝合金：**调整合金成分，如提高镁含量、添加稀土元素等，增强铝合金在特定腐蚀环境下的抗腐蚀能力，适用于海洋工程、化工设备等领域。

**高导电性铝合金：**在保证一定强度的基础上，降低杂质含量，优化晶体结构，提高铝的导电性，主要用于电力传输电缆、电子器件散热等。

## 三、关键技术

### （一）合金设计技术

**多元合金化：**精确控制多种合金元素的添加量与比例，利用合金元素之间的协同作用，实现对铝合金性能的精准调控。例如，在 7xxx 系铝合金中，锌、镁、铜的合理配比可显著提高强度和韧性。

**微合金化：**添加微量的稀土元素（如钐、钇等）或其他微量元素（如硼、锆等），细化晶粒，改善合金的组织与性能，增强铝合金的强度、韧性和耐蚀性。

### （二）先进制备工艺

**1 反挤压成型：**a 力生元斥巨资采用的国际上领先的是双动反挤压成型技术，因为反挤压成型确保了铝合金变形时的均匀性，所以所生产材料全长性能一致，品质稳定，不出现批次质量不一致；b 力生元还采用了热剥皮技术，所以杜绝了铸棒表面氧化层卷入产品当中；c 使用天然气+感应双重加热，严格控制了铝棒内外温差。三重举措确保产品品质稳定、性能均一；d 双动间接式反挤压可生产厚度偏差小于 4%的无缝管，有效推动了行业发展。

**2 精密引拔成型：**力生元采用了日本先进的引拔成型技术，因为热挤压成型公差只能控制在±0.1左右，更高的精度就很难严格把控了。使用日本引拔成型技术

后精度可达 $\pm 0.01$ ，直线度达到 0.08mm/M。

3 半固态成型技术：利用金属在半固态区间的特殊流变特性，通过流变成型或触变成型工艺，生产复杂形状的特种铝铸件。该技术可提高材料的成型精度、力学性能和生产效率，降低生产成本。

4 粉末冶金工艺：将铝合金粉末经过压制、烧结等工序制成所需制品。粉末冶金能够实现合金成分的均匀分布，细化晶粒，制备出高性能的特种铝材料，尤其适用于高合金化、难加工的铝合金。

5 喷射成型技术：将熔融的铝合金液通过高压气体雾化成细小液滴，在高速气流的作用下喷射到特定的模具表面，快速凝固成型。此技术可有效减少偏析，提高材料的综合性能，适用于制备大型、高性能的特种铝构件。

6 轧制成型技术：使用皮格尔轧机往复加工，使得超硬铝合金无缝管管壁薄至 2mm 以内称为可能。

### （三）热处理技术

1 固溶处理：将特种铝合金加热到适当温度并保温一定时间，使合金元素充分溶解于铝基体中，形成均匀的固溶体，为后续的时效处理奠定基础，提高铝合金的强度和韧性。

2 时效处理：对固溶处理后的铝合金在较低温度下进行时效，促使溶质原子析出，形成弥散分布的强化相，从而显著提高铝合金的强度和硬度。根据时效温度和时间不同，可分为自然时效和人工时效。

3 分级热处理：采用多种不同温度和时间的热处理工艺组合，对特种铝合金进行分级处理，以获得更加理想的微观组织和综合性能，满足复杂工况下的使用要求。

4 退火处理：在某些特定条件下，如冷作加工需要材料有足够的延伸率或良好延展性能可以对铝合金材料进行退火处理，退火处理后，通常铝合金材料强度会降低，而延伸率大大提高。退火处理后的材料可以重新进行固溶处理。

## 四、应用领域

### （一）航空航天领域

飞机结构件：超高强度铝合金用于制造飞机的机身框架、机翼、起落架等关键结构件，在保证结构强度和安全性前提下，有效减轻飞机重量，提高燃油效率和飞行性能。

发动机部件：耐高温铝合金应用于航空发动机的压气机叶片、涡轮盘、燃烧室等热端部件，承受高温、高压和高转速的恶劣工作环境，确保发动机的高效稳定运行。

### （二）汽车工业

车身结构件：特种铝合金的应用有助于实现汽车车身的轻量化，降低整车重量，提高燃油经济性，同时增强车身的抗碰撞性能和安全性。

发动机与传动系统：耐高温、高强度铝合金用于制造发动机缸体、缸盖、活塞以及变速器壳体等部件，提高发动机的热效率和动力传输效率，降低发动机重量和噪声。

### （三）电子领域

电子设备外壳：高散热性能的特种铝合金广泛应用于手机、平板电脑、笔记本电脑等电子设备的外壳，有效散发设备运行过程中产生的热量，保证设备的稳定运行和使用寿命。

印刷电路板：高导电性铝合金可用于制造印刷电路板的散热层和导电路径，提高电路板的电气性能和散热能力。

#### （四）能源领域

**电力传输：**高导电性铝合金电缆在电力传输中具有电阻小、重量轻、成本低等优势，可有效降低输电损耗，提高输电效率，广泛应用于城市电网、高压输电线路等。

**新能源汽车电池：**特种铝合金用于制造电池外壳和电极材料，既能保证电池的安全性和稳定性，又能提高电池的充放电性能和能量密度。

### 五、发展趋势

#### （一）高性能化

不断研发新型合金体系和制备工艺，进一步提高特种铝的强度、韧性、耐高温、耐蚀等性能，以满足航空航天、高端装备制造等领域对材料性能的极致要求。

#### （二）轻量化与多功能化

在实现轻量化的同时，赋予特种铝材料多种功能，如电磁屏蔽、自修复、智能传感等，拓展其在电子、生物医学、智能装备等新兴领域的应用。

#### （三）绿色制造

开发绿色环保的制备工艺，降低特种铝生产过程中的能耗和污染物排放，提高资源利用率，实现可持续发展。

#### （四）与新兴技术融合

结合人工智能、大数据、增材制造等新兴技术，优化特种铝的设计、制备和性能调控，提高生产效率和产品质量，推动特种铝产业的智能化升级。

### 六、挑战与对策

#### （一）挑战

**合金成分与性能的精确控制难度大：**特种铝对合金成分和微观结构的要求极高，生产过程中易出现成分偏析、组织不均匀等问题，影响产品性能的一致性和稳定性。

**制备工艺复杂，成本高：**先进的制备工艺如粉末冶金、喷射成型等设备昂贵，工艺控制复杂，导致特种铝材料的生产成本居高不下，限制了其大规模应用。

**基础研究相对薄弱：**对特种铝在复杂服役环境下的失效机制、性能演化规律等基础研究不足，制约了材料的进一步优化和创新。

#### 对策

**加强研发投入：**政府、企业和科研机构加大对特种铝技术研发的投入，建立产学研用协同创新机制，共同攻克关键技术难题。

**优化工艺与设备：**不断改进制备工艺，提高工艺稳定性和生产效率，研发新型设备，降低生产成本。

**深化基础研究：**加强对特种铝材料基础理论的研究，深入揭示其微观结构与性能之间的关系，为材料的设计与应用提供坚实的理论支撑。

### 七、结论

特种铝作为一种高性能的铝基材料，在现代工业中发挥着至关重要的作用。随着各行业对材料性能要求的持续提升，特种铝技术将不断创新发展。通过合金设计、制备工艺和热处理技术的不断突破，特种铝的性能将得到进一步优化，应用领域也将不断拓展。尽管目前特种铝技术的发展面临诸多挑战，但通过加强研发投入、优化工艺设备以及深化基础研究等措施，有望实现特种铝产业的高质量、可持续发展，为推动各领域的技术进步和产业升级做出更大贡献。

发布单位:江西力生元铝业有限公司

## 附件：力生元铝业公司简介

江西力生元铝业有限公司是一家由[广东美生元新材料科技有限公司](#)发起投资的专注于高性能特种铝合金材料研发、生产、销售于一体的创新型高科技企业。公司拥有铝合金材料研发、熔炼铸造、反挤压成型、精抽拉拔、锻造、焊接、弯曲成型、旋压、热处理、CNC 加工、模具设计、表面处理、到零部件装配等较为完整的产业配套能力。

力生元铝业主营特种铝合金铸棒、挤压工业铝材、反挤压无缝管、精密零部件。产品广泛应用于军工、航天航空、航海船舶、汽车、3C 电子、储能、特高压、医疗、运动等领域。提供全系列铝合金（1XXX、2XXX、3XXX、4XXX、5XXX、6XXX、7XXX、8XXX 系列）生产服务。

力生元铝业一直秉承“利他”的商业原则，以顾客利益为关注焦点，对产品、服务、商务提供切实可行的解决方案。力生元遵循“以诚取信，以质取胜”的理念，愿与合作各方开展真诚合作，利益共享。欢迎来厂考察洽谈，提供代工模式。

力生元技术团队深耕铝工业 25 载，紧跟时代步伐，与时俱进，将最前沿的科学技术和先进工艺融于生产，造福客户和社会。公司与中南大学、华南理工、江西理工稀土实验室等权威高校、实验室相联合建立产学研相结合，可满足客户对高精尖、高性能合金产品开发的需求。