**一、项目名称**：轻质高强铝基纳米复合材料及其在高端载运工具上的应用

**二、完成人**：赵玉涛，陈刚，范同祥，姜巨福，浦俭英，张豪，彭兵阳，殷来大，王坤，怯喜周

**三、完成单位**：江苏大学，上海交通大学，哈尔滨工业大学，亚太轻合金（南通）科技有限公司，江苏豪然喷射成形合金有限公司，江苏苏美达车轮有限公司，丹阳荣嘉精密机械有限公司，扬州戴卡轮毂制造有限公司

**四、成果类别**：应用类

**五、专业评审组**：金属材料

**六、项目简介**：

我国铝合金性能与国外差距大，高端铝基材料依赖进口。原位铝基纳米复合材料具有强度高、塑韧性好、抗疲劳能力强等特点，在航空航天、节能与新能源汽车、国防军事等高技术领域应用前景广阔，是倍受国际关注的高端铝基新材料。美国、英国已掌握其核心关键技术，但对我国实施技术封锁。该项目在国家自然科学基金、国家“863”计划、江苏省科技成果转化资金等10余项课题的资助下，针对原位纳米颗粒增强铝基复合新材料的体系设计、组织调控规律、制备与成形加工技术、复杂关键部件开发等一系列核心难题，通过产学研紧密合作，经过十余年持续攻关，获得主要创新成果如下：

**1. 设计发明了多相纳米协同强化的Al-Si-Zr-B-O新体系及系列轻质高强铝基材料。**研究并揭示了原位多相纳米复合体系的反应热力学和动力学规律，创建了高性能、节能型的Al-Si-Zr-B-O新材料体系，建立多相纳米协同强化理论；针对航空航天、节能与新能源汽车等高技术领域重大需求，开发了系列原位铝基纳米复合新材料，其增强颗粒尺寸在50nm~100nm、体积分数在0.5~5.0%可调。经国家权威机构检测：原位铝基纳米复合材料较基体抗拉强度提高20%，屈服强度提高30%，冲击韧性提高60%，疲劳寿命提高1倍以上。

**2. 揭示了多相纳米强化的组织调控规律并开发了规模制备和成形加工等核心关键技术。**研究并揭示了多相纳米增强复合材料的凝固成型组织和塑性变形组织的调控规律，发明了电磁场和声磁耦合场控制复合材料凝固组织和塑性变形组织技术，研发了电磁气滑铸造、液固增压铸造、慢速多孔挤压和等温变速热挤压等新技术，突破了铝基纳米复合材料规模制备和成形加工中纳米颗粒易团聚等系列难题，研发了多相纳米强化铝基复合材料控织、控形、控性的成套新技术，实现了规模制备和成形加工。

**3. 研发了轻质高强铝基纳米复合材料重要关键部件并在高端载运工具上规模应用。**针对高端载运工具领域对轻质高强抗疲劳重要关键部件的重大需求，研究并揭示了多相纳米增强铝基复合材料的复杂关键部件结构和功能一体化设计和制造规律，成功开发了高档汽车控制臂、重载汽车和特种装备轮毂、发动机减震部件、汽车车身及航空航天关键部件，解决了航空航天、节能汽车、特种装备等高端载运工具的急需。

该项目成果获授权发明专利44件并实施了转让和转化；发表学术论文102篇，其中SCI收录32篇、EI收录56篇；出版《原位合成铝基复合材料》等著作2部；成果已在全国20余家骨干企业应用，原位铝基纳米复合材料汽车控制臂配套于奔驰、宝马、奥迪等品牌，亚洲市场占有率90%以上；8家应用企业近2年累计新增销售达40.4亿元、新增利润达4.3亿元。

同行专家项目验收意见认为：首次成功开发出原位纳米 ZrB2等颗粒强化A356.2-X铝合金重载汽车轮毂，…，技术达国际先进水平，主要出口美国、欧洲等地，…，打破了国外垄断。牵头制定了该领域首个国家标准（GB/T30599-2014），项目获中国产学研合作创新成果奖1项，成果的推广应用有力促进了我国铝基材料行业及航空航天、节能汽车等高端载运工具领域的科技进步。

**七、代表性论文论著情况**（不超过8篇）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文论著名称/刊名/作者 | 影响因子 | 年卷页码（XX年XX卷XX页） | 发表时间（年月日） | 通讯作者 | 第一作者 | SCI他引次数 | 他引总次数 | 是否国内完成 |
| 1 | 原位合成铝基复合材料/科学出版社/赵玉涛 | — | — | 2016年8月 | 赵玉涛 | 赵玉涛 | — | — | 是 |
| 2 | Effects of friction stir processing on the microstructure and superplasticity of in situ nano-ZrB2/2024Al composite/ Progress in Natural Science-Materials International/ Y.T. Zhao, X.Z. Kai, G. Chen, W.L. Lin, C.M. Wang | 2.572 | 2016年26卷69页 | 2016年2月23日 | 赵玉涛 | 赵玉涛 | 11 | 12 | 是 |
| 3 | Hot deformation behavior and optimization of processing parameters of a typical high-strength Al–Mg–Si alloy/ Materials and Design/ X. Kai, C. Chen, X. Sun, C. Wang, Y. Zhao | 4.525 | 2016年90卷1151页 | 2015年11月17日 | 赵玉涛 | 怯喜周 | 22 | 27 | 是 |
| 4 | Effects of ultrasonic vibration on the microstructure and tensile properties of the nano ZrB2/2024Al composites synthesized by direct melt reaction/ Journal of Alloys and Compounds/ X. Kai, K. Tian, C. Wang, L. Jiao, G. Chen, Y. Zhao | 3.779 | 2016年668卷121页 | 2016年1月30日 | 赵玉涛 | 怯喜周 | 22 | 23 | 是 |
| 5 | Effect of multi-pass friction stir processing on microstructure and mechanical properties of Al3Ti/A356 composites/ Materials Characterization/ R. Yang, Z. Zhang, Y. Zhao, G. Chen, Y. Guo, M. Liu, J. Zhang | 2.892 | 2015年106卷62页 | 2015年5月14日 | 陈刚 | 杨睿 | 40 | 40 | 是 |
| 6 | Hot deformation behavior of in situ nano ZrB2 reinforced 2024Al matrix composite/ Composites Science and Technology/ X. Kai, Y. Zhao, A. Wang, C. Wang, Z. Mao | 5.16 | 2015年116卷1页 | 2015年5月13日 | 赵玉涛 | 怯喜周 | 24 | 26 | 是 |
| 7 | Effects of in situ generated ZrB2 nano-particles on microstructure and tensile properties of 2024Al matrix composites/ Journal of Alloys and Compounds/ K. Tian, Y. Zhao, L. Jiao, S. Zhang, Z. Zhang, X. Wu | 3.779 | 2014年594卷1页 | 2014年4月24日 | 赵玉涛 | 田康乐 | 65 | 70 | 是 |
| 8 | Aluminum matrix composites reinforced by in situ Al2O3 and Al3Zr particles fabricated via magnetochemistry reaction/Transactions of Nonferrous Metals Society of China/Y. Zhao, S. Zhang, G. Chen | 1.795 | 2010年20卷2129页 | 2010年12月10日 | 赵玉涛 | 赵玉涛 | 8 | 11 | 是 |

**八、主要知识产权目录**（不超过10项）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 一种纳米ZrB2颗粒增强铝基复合材料的原位制备方法 | 中国 | ZL201410621819.X | 2016年12月7日 | 2309127 | 江苏大学 | 赵玉涛，茅泽民，怯喜周，孙霞飞 |
| 2 | 发明专利 | 一种Al2O3纳米颗粒增强铝基复合材料的制备方法 | 中国 | ZL201010505574.6 | 2012年12月19日 | 1102847 | 江苏大学 | 赵玉涛，李桂荣，王宏明，陈刚，陈登斌 |
| 3 | 发明专利 | 一种纳米颗粒增强铝基复合材料的制备方法及装置 | 中国 | ZL201010505938.0 | 2012年6月20日 | 974187 | 江苏大学 | 赵玉涛，王宏明，李桂荣，陈刚，张松利 |
| 4 | 发明专利 | 高体积分数内生颗粒增强铝基复合材料及其制备方法 | 中国 | ZL200610088369.8 | 2010年5月12日 | 1344626 | 江苏大学 | 赵玉涛，陈刚，程晓农，戴起勋 |
| 5 | 发明专利 | 一种制备超细晶铝合金及其复合材料的方法 |  | ZL201310052332.X | 2015年6月10日 | 1688338 | 江苏大学 | 赵玉涛，陈刚，张松利 |
| 6 | 发明专利 | 多元磁场组合熔体反应合成铝基复合材料的方法 | 中国 | ZL200910235074.2 | 2011年12月21日 | 881268 | 江苏大学 | 赵玉涛，王宏明，陈刚，李桂荣 |
| 7 | 发明专利 | 一种磁场与超声场耦合作用下熔体反应合成金属基复合材料的方法 | 中国 | ZL200810234978.9 | 2010年12月8日 | 710854 | 江苏大学 | 赵玉涛，陈刚，王宏明，李桂荣，张松利 |
| 8 | 发明专利 | 一种汽车控制臂用6X82基复合材料的制备方法 | 中国 | ZL201510253544.3 | 2017年5月3日 | 2472738 | 江苏大学 | 赵玉涛，怯喜周，陈刚，李其荣，浦俭英 |
| 9 | 发明专利 | 一种原位颗粒增强铝基复合材料的重熔方法 | 中国 | ZL201210399265.4 | 2015年2月4日 | 1580670 | 江苏大学 | 陈刚，赵玉涛，徐勇华，刘雪亮 |
| 10 | 发明专利 | 一种节能短流程原位颗粒增强A356基复合材料轮毂制造方法 | 中国 | ZL200910264028.5 | 2011年11月16日 | 862284 | 江苏大学 | 赵玉涛，贾志宏，陈刚，张松利 |