

拟提名国家技术发明二等奖项目 公示材料

提名者	陕西省科技厅	
项目名称	项目名称	轻金属表面梯度涂层的界面结构调控技术与关键设备
	公布名	轻金属表面梯度涂层的界面结构调控技术与关键设备
主要完成人	蒋百灵, 葛延峰, 王亚明, 刘东杰, 曹政, 时惠英	

一、项目简介

本项目属轻金属表面处理领域。

针对轻金属应用于登陆艇、舰载机、高铁及电动汽车等装备而必须满足处海洋环境、遭乱石冲击等不被腐蚀的涂层制备难题, 本成果首次提出了阳极表面 OH^- 析氧离化的等离子体诱发理论, 实现了阳极表面氧等离子体强度的可控调制; 首次利用氧等离子体对陶瓷层致密增厚与表面盲性微孔结构的调控功能, 开发出电泳涂料先向陶瓷层微孔涌入嵌合、再对后续喷涂物料紧密包裹的梯度涂层复合技术; 采用自主开发的 DSP 控制核心+光通信技术, 研制出使单位面积电耗从 $70\text{kW}/\text{m}^2$ 降至 $30\text{kW}/\text{m}^2$ 的等离子体诱发电控系统。本成果的主要发明点和应用情况如下:

1. 等离子体诱发的理论创新: 首次提出阳极表面 OH^- 高速率析氧、氧气膜高比例离化的等离子体诱发理论; 开发出只有 OH^- 参与阳极反应的电解液体系; 建立起氧气膜可控离化的等离子体诱发物理模型。与传统的依靠 OH^- 化合反应形成高阻抗层的诱发等离子体理论相比, 析氧离化理论不仅可满足非晶质氧化物晶化转变、陶瓷生长及表面微孔结构调控的不同等离子体强度要求, 还避免了胶体属性的阳极氧化膜层为高密度聚缩 OH^- 通量而发生的无功电耗。

2. 设备研制的设计创新: 以满足 OH^- 高速率析氧、氧气膜高比例离化为目标, 结合外电路电流强度和阳极反应的 OH^- 数量之间存在 $1\text{A}=6.25\times 10^{18}(\text{OH}^-)/\text{s}$ 的表征关系, 首次以电流波形矩形规整作为电控系统设计的指导思想; 开发出由 10 个以上大功率 IGBT 模块并联、结构为二极管全波整流+高频升压+DSP 控制核心+光通信传输的氧等离子体强度调控系统, 使脉宽小于 100 微秒、强度大于 5000A 的电流波形的矩形度, 由传统的工频升压+可控硅整流+PLC 控制的不足 30% 提高到 70% 以上; 在此基础上, 研制出目前国际上处理面积最大、单位面积电耗最低的 240kW 处理 8m^2 的等离子体电化学电源。

3. 涂层制备的技术创新: 依据 OH^- 化合与析氧两种反应机制的可调控性, 首次构建出 OH^- 先化合反应后析氧离化、以离化热和空化力引发化合反应所得的非晶质阳极氧化涂层晶化致密化转变的等离子体电化学体系, 于轻金属表面生长出

50 微米无层内空化缺陷的致密陶瓷层，填补了微弧氧化陶瓷层厚必空化的工艺缺憾。在此基础上，利用氧等离子体对陶瓷层增厚和表面盲性微孔结构的调控功能、及电泳涂料对陶瓷层微孔的电致涌入特点，开发出可分别满足弹射冲击、乱石飞溅、异金属连接等不同服役环境的轻金属表面梯度涂层制备技术。

4.成果应用的社会经济效益：由于本成果取得了梯度涂层性能与制备成本的双瓶颈突破，到目前为止已有一百余台（套）设备被铝镁合金制造企业选用。部分应用单位近三年的使用结果表明，新增产值 30 多亿元，新增利润近 3 亿元。同时，该成果已被海军装备部列为《XX 型号防腐蚀技术要求》，已有 30 余艘（架）国防装备列装；被中车集团列入高铁驱动系统铸铝代钢的表面处理规范，累计装备 32000 台驱动电机；与美国 GM 汽车合作开发出唯一通过美国第三方检测机构认证的镁合金轮毂梯度复合涂层，并联合申请两项国际专利。成果累计授权发明专利授权 17 项，发表 SCI 检索论文 56 篇（它引 152 次，ESI 高被引论文 1 篇）。

二、客观评价

针对制约轻量化发展的表面处理设备与涂层制备工艺缺憾，在科技部国家科技支撑计划、国际合作计划、国家自然科学基金等项目支持下，本成果面向汽车、机械、国防、航空航天及电子工业等国民经济支柱产业及装备再制造等循环经济新兴产业需求，从阳极 OH⁻析氧离化的边界条件确定切入，以轻金属表面梯度涂层界面结构调控技术与关键设备为成果形态，开发出可满国防装备与民用产品轻金属构件服役于苛刻环境的梯度涂层复合技术，研制出兼备陶瓷层致密增厚和表面盲性微孔结构进行精准调制的、当前国际上处理能力最大和电能消耗最低的等离子体电控系统，解决了铝、镁合金结构件服役于不同环境的防护涂层制备难题。

（1）验收意见

2014 年 4 月 29 日，中国有色金属工业协会组织有关专家在济南市对“镁合金防护、连接与可靠性研究及评价”课题（项目编号：2011BAE22B05）进行了验收，专家组验收意见如下：发展了镁合金的微弧电泳、微弧喷涂、微弧无机封孔和自封孔陶瓷膜、微弧氧化纳米自组装复合涂层等表面制备技术，建立了复合涂层、连接腐蚀以及面涂层结合力和寿命模型的评估和评价方法；新型复合涂层制备技术已成功应用于航空、航天、汽车和 3C 等领域。

中国有色金属工业协会组织有关专家 2011 年 4 月 12 日在山西省广灵县对“原镁伴生物循环利用技术师范”课题（项目编号：2008BAE63B03）进行了验收，专家组验收意见如下：开发出低能耗微弧氧化工艺及装备，电流转化效率提高到 85%以上；开发出基于 AE Pinnacle 技开关技术的高转换效率镁合金微弧氧化设备，并建成设备制造基地。

（2）检测报告

团队开发的镁合金壳体类产品表面防护技术通过国家实验室（CNAS）和国际实验室（ILAC-MRA）双重认证，其中镁合金表面微弧梯度涂层的附着力测试

结果为 1 级(GB/T9286-1998),经过 1000 小时的 NSS 盐雾试验评级标准为 9/9sG (GB/T10125-2012 和 GB/T6461-2002), 铅笔硬度测试结果为 $\geq 2H$ (ASTM D 3363-05), 满足消费电子壳体类部件的表面性能要求。

在科技部“中美加”国际合作项目支持下,团队与通用汽车全球技术中心合作,参考铝合金轮毂表面性能测试标准,委托 RELIABLE ANALYSIS (Shanghai)按照通用汽车公司全球工程标准测试镁合金表面微弧梯度复合涂层的耐蚀性(GMW14458)、抗飞石冲击性能(GMW14700)、抗热冲击性能(GMW15919)和结合力(GMW14729/GMW14829),结果显示镁合金表面微弧梯度防护涂层通过所有测试,说明微弧梯度涂层具有优异的耐蚀性、抗飞石冲击、结合力及热冲击性能,满足镁合金轮毂的表面性能的需求。

(3) 重要奖励

低能耗铝镁合金微弧复合处理关键设备研制与工艺开发,陕西省教育厅,2018 年陕西省高等学校科学技术奖,一等奖。

成果第一完成人蒋百灵教授依托本成果在政产学研协同创新工作中的突出贡献,获得 2015 年中国产学研合作创新奖(科技部和国家奖励办批准)。成果完成单位西安理工大学和南京浩穰环保科技有限公司之间的产学研合作,获得 2017 年陕西省产学研合作优秀成果案例(陕西省委高教工委批准)。南京浩穰环保科技有限公司 2014 年及 2017 年连续荣获江苏省高新技术称号,2014 年荣获江苏省民营科技企业称号,2015 年开发的“镁合金 MCC 处理示范线”获得南京市新兴产业重点推广应用新产品。

(4) 应用证明

中国人民解放军九二五三七部队的应用证明:低能耗环保型微弧氧化处理设备及其工艺已成功应用于海军多型号螺旋桨叶、风机叶轮、空气滤清器等铝合金零部件的表面防护处理。同时《XX 型号防腐蚀技术要求》已将微弧氧化技术作为一项关键技术列入铝合金部件的验收大纲。

北京有色金属研究总院技术研究院的应用证明:低能耗环保型微弧梯度涂层制备工艺已成功应用于多型号国防军工镁合金零部件的表面防护处理,满足用户对镁合金零部件的表面性能要求。

株洲中车天力锻业有限公司的应用证明:低能耗环保型微弧梯度涂层制备工艺及装备应用于高铁用铸造铝合金零部件表面处理生产中,以满足不同地理环境及气候条件下的表面性能需求,截止 2016 年底已累计装备 32000 台高铁列车驱动电机。

东莞宜安科技股份有限公司的应用证明:压铸镁合金零部件表面微弧电泳梯度涂层综合性能优异,低能耗微弧等离子体电控系统运行稳定,同时无污染物排放,并以“镁合金压铸侧门内板”项目获得 2017 国际镁协汽车类铸造产品优秀奖。

嘉瑞科技(惠州)有限公司、常州华晨铸造有限公司和西安福莱特热处理有限公司的应用证明:微弧梯度涂层防护性能优异,微弧等离子体电控系统功率效

能从传统的 350KW 输出 2500A 有效峰值降低到 160KW 输出 3200A 有效峰值的低能耗水平,不仅生产成本与传统工艺相比下降 35%,而且根除了污染物之排放。

深圳市粤辉煌自动化设备有限公司的应用证明:已成功将微弧氧化处理应用于铝、镁合金零部件电泳前处理工序,截止 2017 年累计完成销售微弧电泳复合生产线 18 套。经市场及客户验证,微弧氧化处理与传统电泳前处理过程相比工艺简单,基本无废水排放,处理成本降低 40%。

南京浩穰环保科技有限公司的应用证明:截止 2017 年底公司已累计完成低能耗环保型微弧梯度涂层复合处理产线推广 20 余条,获得国家发明专利授权 2 项,与通用汽车联合申请国际专利两项(PCT/CN2014/074884 和 PCT/CN2015/075998),同时通用汽车已将微弧梯度涂层制备技术和装备列入车用镁合金轮毂表面处理规范。

(5) 专利、论文及人才培养。

研究成果累计获得发明专利授权 17 项,联合通用汽车申请国际专利 2 项,出版英文专著 2 章节,发表论文 SCI 检索论文 56 篇(SCI 它引 152 次, ESI 高被引论文 1 篇),培养博士、硕士研究生 26 名,为铝镁合金制造行业的进步、材料科技人才的培养做出了重要贡献。

三、应用情况和效果

1. 应用情况

本成果以轻金属表面梯度涂层界面结构调控技术与关键设备为成果形态，开发出可满足国防装备与民用产品轻金属构件服役于苛刻环境的梯度涂层复合技术，研制出兼备陶瓷层致密增厚和表面盲性微孔结构进行精准调制的、当前国际上处理能力最大和电能消耗最低的等离子体电控系统，解决了铝、镁合金结构件服役于不同环境的防护涂层制备难题。研究成果已写入了艇上铝制设备、舰载机镁质构件防腐处理验收大纲，解决了镁合金用于军机吊舱、发射架等部件时需解决的耐蚀抗冲击与减磨等多性能兼顾的涂层制备难题；因本成果系唯一通过国际第三方检测机构（RELIABLE ANALYSIS, INC.）镁合金轮毂表面防护性能综合检测的表面处理技术，美国通用汽车公司要求与项目组联合申请了两项镁合金轮毂防腐抗冲击复合涂层制备的国际专利，具体应用情况如下：

（1）复杂工况条件国防军工铝镁合金部件微弧梯度防护涂层开发

针对铝镁合金零部件在海陆过度地带等恶劣环境的服役要求，项目组开发具有耐蚀和局部冲击磨损的微弧梯度防护涂层，已经在面积大于 10 平方米的铝制螺旋桨叶和风机叶轮及长度 2 米的某型号镁合金内埋式发射装置外壳得到应用。经认证测试，微弧梯度复合处理零部件表面性能优异，梯度涂层盐雾试验大于 1000 小时（GJB150.11A-2009），结合力 \leq 1 级（GB/T9286-1998），局部膜层摩擦 500 次无脱落，满足用户对铝镁合金零部件的表面性能要求。

（2）高铁、汽车用铝镁合金结构件的应用

项目组在科技部“中美加”国际合作项目支持下与通用汽车全球技术中心合作，参考铝合金轮毂表面性能测试标准，委托 RELIABLE ANALYSIS, INC.按照通用汽车公司全球工程标准测试镁合金表面微弧梯度涂层的耐蚀性、耐磨性、抗飞石冲击性能、抗热冲击性能和结合力，结果显示微弧梯度复合处理镁合金样片和轮毂通过所有测试，说明微弧梯度涂层满足镁合金轮毂对表面性能的需求。同时项目完成人联合美国通用汽车申请了镁合金轮毂防腐抗冲击梯度复合涂层制备的国际专利“Method of Making Enhanced Surface Coating for Light Metal Workpiece（2015 年申请）”和“A Light Metal Or Alloy Matrix Workpiece Having Tailor Coated Corrosion Resistant layers And Methods For Making The Same（2016 年申请）”（已公开），并将低能耗微弧梯度涂层制备技术和装备列入车用镁合金轮毂表面处理规范。东莞宜安科技股份有限公司已将微弧梯度涂层制备技术成功应用于压铸镁合金车门，并以“镁合金压铸侧门内板”项目获得 2017 国际镁协汽车类铸造产品优秀奖。

项目组与株洲中车天力锻业有限公司合作，成功将低能耗环保型微弧梯度复合处理设备及工艺应用于高铁用铸造铝合金零部件表面处理生产中，产品涉及高铁传动端端盖、非传动端端盖、接线盒、传感器盖等铝合金零部件表面防护处理，以满足不同地理环境及气候条件下的表面性能需求。截止 2016 年底已累计装备

32000 台高铁列车驱动电机，经应用验证低能耗环保型微弧梯度涂层处理工艺可靠，设备运行稳定，驱动电机的铝制零部件表面综合性能优异。

(3) 电子壳体类铝镁合金外观件应用

2012 年香港嘉瑞集团委托项目组研制出月处理笔记本外观件 30 万件、集微弧氧化和电泳等涂装工序于一体的微弧梯度复合处理生产线，不仅彻底根除了酸洗碱洗化学钝化的废水产生源头，微弧梯度复合处理优异的耐蚀抗擦伤性能也为公司争取到 LENOVO、HUAWEI、GM、JBL 等公司订单。经生产验证，通过微弧梯度复合处理的产品表面性能优异，微弧等离子体电控系统功率效能从传统的 350KW 输出 2500A 有效峰值降低到 160KW 输出 3200A 有效峰值的低能耗水平，不仅生产成本与传统工艺相比下降 35%，而且根除了污染物之排放。常州华晨铸造有限公司 2012 年开始采用低能耗微弧梯度复合处理技术替代过去化学氧化加喷涂工艺，不仅解决了预处理的酸洗碱洗及化学转化膜形成过程中污水排放这一老大难问题，五年来累计减少污水处理等各项环保费用一亿多元。而且经微弧梯度复合处理的铝合金压铸件，漆膜和基体的良好结合也为华晨公司争取到了诸如日本牧田、瑞士托利多等国际品牌公司的订单，公司累计增加营运收入超过五亿元。

(4) 低能耗铝镁合金微弧梯度涂层复合处理装备

项目组与南京浩穰环保科技有限公司及深圳粤辉煌自动化设备有限公司合作，累计销售低能耗铝镁合金微弧梯度涂层复合处理生产线及电源一百余条(套)。经市场及客户验证，微弧氧化处理与传统涂装前处理过程相比工艺简单，基本无废水排放，综合处理成本降低 25-40%。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/ 电话
1	中国人民解放军九二五三七部队	海装铝合金部件微弧复合处理	海军多型号铝制部件	2006-2018	无
2	北京有色金属研究总院技术研究院	空装镁合金部件微弧复合处理	空军多型号镁制部件	2006-2018	李兴刚 /13911279987
3	株洲中车天力锻业有限公司	铸造铝合金部件微弧复合处理	微弧复合处理铸造铝合金部件累计装备 32000 台高铁驱动电机	2009-2018	郑业方 /073128441754
4	东莞宜安科技股份有限公司	压铸镁合金微弧复合处理	压铸镁合金车门及铝镁合金部件	2011-2018	孙丽娟 /13751455320
5	嘉瑞科技(惠州)有限公司	压铸镁合金微弧复合处理	压铸镁合金笔记本外壳	2006-2018	宋卓能 /15018961280
6	常州华晨铸造有限公司	压铸铝合金微弧复合处理	压铸铝合金电动工具外壳	2012-2018	钱慧静 /13915307772

7	西安福莱特 热处理有限 公司	铝镁合金部件微 弧复合处理	铝镁合金国防军 工零部件	2006-2018	杨祯 /13572188957
8	深圳市粤辉 煌自动化设 备有限公司	低能耗微弧等离 子体电控系统	微弧电泳复合处 理装备销售	2009-2018	潘力 /075589488820

2. 应用效果（限 2 页）

本项目研究成果面向汽车、机械、国防、航空航天及电子工业等国民经济支柱产业及装备再制造等循环经济新兴产业需求，以基于轻量化绿色表面处理技术及装备发展为目标，围绕轻金属表面梯度涂层界面结构调控技术与关键设备研制和工程化技术，开发出一批具有典型创新性和示范性的产品、工艺和重点装备，实施应用工程和产业示范。应用效果在以下四个方面：

（1）提高国防能力及保障国家和社会安全

针对铝镁合金零部件在海陆过度地带等恶劣环境的服役要求，开发具有耐蚀和局部冲击磨损的微弧梯度防护涂层，已经在长度 2 米的某型号舰载机内埋式发射装置（图 1a）及登陆艇铝制螺旋桨叶（图 1b）和风机叶轮（图 1c）得到应用。经认证测试，微弧梯度复合处理零部件表面性能优异，梯度涂层中性盐雾试验大于 1000 小时（执行 GJB150.11A-2009），结合力 \leq 1 级（GB/T9286-1998），局部膜层摩擦 500 次无脱落，满足国防军工装备对铝镁合金零部件的表面性能要求。经过微弧梯度涂层制备技术处理的铝镁合金部件使用寿命明显增加，能够有效提高武器装备的服役周期，为提高国防能力及保障国家和社会安全提供重要保证。

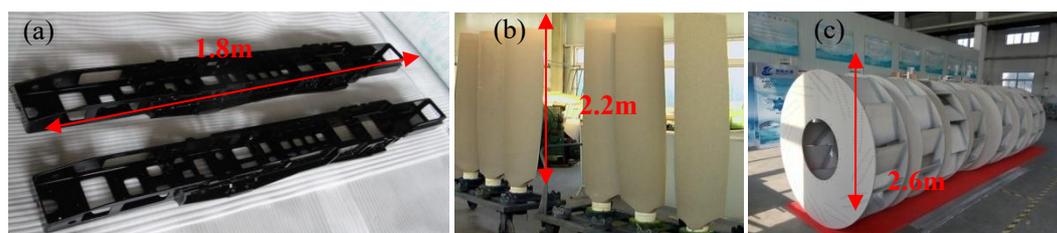


图 1 微弧复合处理国防军工铝镁合金零部件

(a) 镁合金内埋式发射装置(b)铝合金登陆艇桨叶(c)铝合金登陆艇叶轮

（2）解决行业技术问题及推动科学技术进步

高铁、汽车用铝镁合金结构件均处于裸露运动服役环境，除需考虑“乱石飞溅”的随机擦伤及各类气候环境的腐蚀防护外，还要满足与正电极电位的异金属连接时不发生电偶腐蚀。对此类结构件，项目在科技部“中美加”国际合作项目支持下，研究团队与通用汽车全球技术中心合作，参考铝合金轮毂表面性能测试标准，委托 RELIABLE ANALYSIS (Shanghai)按照通用汽车公司全球工程标准测试镁合金表面微弧梯度涂层耐蚀性、耐磨性、抗飞石冲击性能、抗热冲击性能和结合力，结果显示微弧梯度复合处理镁合金样片和轮毂通过所有测试，说明微弧梯度涂层满足镁合金轮毂对表面性能的需求。同时通用汽车邀请团队成员去底特律研发中心协助进行镁合金轮毂表面防护工艺开发以及可用性评价，并将微弧梯度涂层制备技术和装备列入车用镁合金轮毂表面处理规范。东莞宜安科技股份有限公司已将微弧梯度涂层制备技术成功应用于压铸镁合金车门，并以“镁合金压铸侧门内板”项目获得 2017 国际镁协汽车类铸造产品优秀奖。

团队与株洲中车天力锻业有限公司合作，成功将低能耗环保型微弧梯度涂层复合处理设备及工艺应用于高铁用铸造铝合金零部件表面处理生产中，产品涉及高铁传动端端盖、非传动端端盖、接线盒、传感器盖等铝合金零部件表面

防护处理（图 21），以满足不同地理环境及气候条件下的表面性能需求。截止 2016 年底已累计装备 32000 台高铁列车驱动电机，经应用验证低能耗环保型微弧梯度复合处理设备运行稳定，工艺可靠，驱动电机的铝制零部件表面综合性能优异。



图 2 微弧梯度复合处理高铁列车铝制驱动电机部件

（3）保护自然资源和生态环境

由于微弧梯度涂层制备技术的环保优点和性能特点，2012 年香港嘉瑞集团委托团队研制出月处理笔记本外观件 30 万件、集微弧氧化和电泳等涂装工序于一体的微弧梯度涂层复合处理生产线，不仅彻底根除了酸洗碱洗化学钝化的废水产生源头，微弧复合处理优异的耐蚀抗擦伤性能也为公司争取到 LENOVO、HUAWEI、GM、JBL 等公司订单。经生产验证，通过微弧复合处理的产品表面性能优异，微弧氧化电源功率效能从传统的 350KW 输出 2500A 有效峰值降低到 160KW 输出 4000A 有效峰值的低能耗水平，不仅生产成本与传统工艺相比下降 35%，而且根除了污染物之排放。常州华晨铸造有限公司是生产电动工具用铝合金压铸件的专业企业，2012 年开始采用低能耗微弧复合处理技术，替代过去化学氧化加喷涂工艺，不仅解决了预处理的酸洗碱洗及化学转化膜形成过程中污水排放这一老大难问题，五年来累计解决污水处理等各项环保费用一亿多元。

以节能减排、循环经济及可持续发展为目标，东莞宜安科技股份有限公司、嘉瑞科技（惠州）有限公司、常州华晨铸造有限公司及西安福莱特热处理有限公司应用本成果的关键技术及装备，使铝镁合金表面防护的处理成本降低、废水排放减少，既改善了区域生态环境又推动国家轻量化绿色表面处理技术发展。

（4）经济效益

完成单位新增销售额为西安理工大学和哈尔滨工业大学应用该技术的科研到款及南京浩穰环保科技有限公司应用该技术新增的销售额，新增利润为南京浩穰环保科技有限公司应用该技术新增的销售利润及西安理工大学和哈尔滨工业大学技术开发服务项目的结余经费，完成单位合计新增销售额 7527.3 万元，新增利润 874.1 万元。

其他应用单位如嘉瑞科技（惠州）有限公司、东莞宜安科技股份有限公司、常州华晨铸造有限公司、西安福莱特热处理有限公司的新增销售额为直接采用低能耗铝镁合金微弧复合处理技术完成铝、镁合金零部件表面防护处理的产值，新增利润为直接应用本成果的收益。深圳市日欣工业设备有限公司、深圳市粤辉煌

自动化设备有限公司新增销售额为采用本成果制造销售低能耗微弧氧化电源及微弧复合处理装备的产值，新增利润为电源及装备销售所产生的收益。应用单位合计新增销售额 313928.62 万元，新增利润 23893.56 万元。

四、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	一种峰值电流输出模式下的微弧氧化电参量控制方法	中国	ZL201110128612.5	20130213	1138104	西安理工大学	蒋百灵, 葛延峰, 李均明, 高翔	有效
发明专利	一种带有复合梯度层的镁或镁合金材料及其制备方法	中国	ZL200810064123.6	20111130	869898	哈尔滨工业大学	王亚明, 欧阳家虎, 郭立新, 贾德昌, 周玉	失效
发明专利	镁合金微弧电泳复合表面处理方法	中国	ZL200610104404.0	20100210	598226	西安理工大学	蒋百灵, 时惠英, 李均明, 杨巍	有效
发明专利	一种适用于铝及铝合金微弧氧化制备陶瓷膜的电解液	中国	ZL201310365242.6	20151209	1878557	南京浩穰环保科技有限公司	房爱存, 蒋百铃, 赵健, 房昊炜	有效
发明专利	微弧离子镀方法	中国	ZL201310368295.3	20150527	1679334	南京浩穰环保科技有限公司	蒋百铃, 曹政, 李洪涛, 赵健	有效

发明专利	镁合金表面处理工艺	中国	ZL01106741.1	20060517	264814	西安理工大学	蒋百灵, 张淑芬, 郝建民, 孙骏图, 白力静, 李均明	失效
发明专利	掺杂铬的非晶态石墨减摩镀层及其制备方法	中国	ZL200710017202.7	20090722	526997	西安理工大学	蒋百灵, 张国君	失效
发明专利	镁金属表面微-纳米复合多级孔材料的模板-3D 刻蚀制备方法	中国	ZL201510907086.7	20180130	2800104	哈尔滨工业大学	王亚明, 吴云峰, 郭立新, 贾德昌, 周玉	有效
发明专利	一种在轻合金表面制备防腐隔热抗烧蚀复合涂层的方法	中国	ZL2008100064585.8	20120606	968952	哈尔滨工业大学	王亚明, 崔艳芹, 欧阳家虎, 郭立新, 周玉, 贾德昌	失效
发明专利	一种提高轻合金微弧氧化涂层疲劳寿命的方法	中国	ZL200710144831.6	20101201	704886	哈尔滨工业大学	王亚明, 文磊, 郭立新, 雷廷权, 贾德昌, 周玉	失效

承诺: 上述知识产权和标准规范等用于提名国家技术发明奖的情况, 已征得未列入项目主要完成人的权利人(发明专利指发明人)的同意。

第一完成人签名:

五、完成人合作关系说明

成果完成人蒋百灵、葛延峰、刘东杰和时惠英均为西安理工大学“陕西省镁合金工程技术研究中心”项目组成员。蒋百灵既为本成果完成过程中的总负责人，又是 2018 年陕西高等学校科学技术一等奖项目“低能耗铝镁合金微弧复合处理关键设备研制与工艺开发”的第一完成人，及支撑本成果的国家科技支撑计划、国际合作计划及国家自然科学基金等项目的第一完成人，对项目实施进行了系统设计、深入研究及广泛的应用推广。葛延峰为本成果的第二完成人，项目中负责低能耗微弧等离子体诱发系统设计和微弧梯度涂层制备工艺开发，并将研究成果在汽车及国防等行业进行转化应用。刘东杰在本成果中主要负责微弧梯度涂层制备工艺开发及性能测试，时惠英主要负责阳极表面 OH⁻反应竞争机制的演变规律研究，都是多篇论文的主要作者。西安理工大学项目组在本成果完成过程中合作发表 SCI 论文 42 篇，授权发明专利 10 项。

完成人王亚明为本成果第二完成单位哈尔滨工业大学的项目负责人，授权发明专利 5 项，与西安理工大学蒋百灵科研团队有密切合作，联合西安理工大学出版专著 1 本，发表论文 14 篇。曹政为本成果第三完成单位南京浩穰环保科技有限公司的项目负责人，通过联合科技攻关共同完成了低能耗微弧氧化电源开发与集成及通用汽车委托的“车用镁合金轮毂表面微弧复合防护膜层设计及评价”项目，并推动低能耗微弧复合处理技术在国防军工行业的应用。南京浩穰环保科技有限公司联合西安理工大学项目组成员获得发明专利授权 2 项，申请国际发明专利 2 项。西安理工大学和南京浩穰环保科技有限公司之间的产学研合作获得 2017 年陕西省产学研合作优秀成果案例（陕西省委高教工委批准）。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：