

青年人才项目申报书

项 目 名 称：船用甲醇燃料发动机铸铁活塞耐
高温耐腐蚀涂层构建及性能研究

申 报 人 姓 名：孙长飞

所 属 行 业：制造业

铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业

船舶及相关装置制造

所 属 一 级 学 科：船舶与海洋工程

设区市（牵头部门）：省教育厅

用人单位（县市区）：江苏海事职业技术学院

中共江苏省委人才工作领导小组办公室制

二〇二二年

真实性承诺书

本人声明：

在此次第六期“333 工程”青年人才项目申报中，所提交的申报材料真实、合法。申报中所涉及成果不存在违反学术规范情形，不存在知识产权争议；不泄露原单位商业秘密，不违反国家相关兼职取酬和科研经费管理规定。如有不实之处，愿负相应的法律责任，并承担由此产生的一切后果。

特此声明！

本人签字：

申报单位：(盖章)

年 月 日

填表须知

1. 填表前须认真阅读有关说明，有疑问可向有关设区市或部门咨询。
2. 填写内容应实事求是、内容翔实、文字精炼。有字数限制的，应严格控制在限定字数以内。
3. 表中栏目没有内容一律填“无”。
4. 涉密内容不得在推荐材料中体现。
5. 第一至四项内容由申报人填写，第五项内容由用人单位填写，第六项内容由设区市委人才办或省有关牵头部门填写。
6. 本申报书一式两份，与其他附件证明材料分开装订成册。
7. 附件证明材料主要包括能反映创新水平的佐证材料。

一、基本信息

研究项目	名称	船用甲醇燃料发动机铸铁活塞耐高温耐腐蚀涂层构建及性能研究						
	项目类型	√ 基础研究 应用研究						
	所属行业	制造业 铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业 船舶及相关装置制造						
	申报金额	50	万元	起止年月	2022-06-01 至 2024-05-30			
申报人简况	姓名	孙长飞	出生日期	1979-08-01	学历	本科	学位	硕士
	单位职务	教师		专业技术职务/职业技能等级	副教授		联系电话	02586176915
	已入选的人才计划	第六期“333工程”第三层次						
项目组	总人数	高级职称	中级职称	初级职称	博士生	硕士生	本科生	参加单位数
	5	3	2	无	2	3	无	2
研究内容	<p>本项目拟采用微弧氧化技术在铸铁 HT250 试样表面探索构建微弧氧化微纳米晶复合陶瓷层（外层主要为纳米晶 SiO₂；以下简称为复合陶瓷层），用于发动机活塞顶部防护，解决甲醇燃料带来的船舶中速发动机活塞顶部高温甲酸腐蚀的问题，一方面可为船舶与海洋工程关键钢铁零部件绿色耐腐表面技术的探索提供参考，同时也可进一步促进微弧氧化技术在钢铁表面处理领域中的应用。</p> <p>具体研究内容为：（1）复合陶瓷层微观组织形成、生长和变化的过程与机理；（2）复合陶瓷层微观组织结构对其线膨胀系数、韧性的影响；（3）复合陶瓷层耐高温甲酸腐蚀和抗热冲击性能的研究。</p>							
意义								

二、立项依据

研究意义：解决钢铁表面 SiO_2 涂层与基体线膨胀系数差异较大和韧性较差的问题，应对船用新型低碳燃料——甲醇燃料对船舶中速发动机活塞顶部高温甲酸腐蚀的挑战，降低船用中速发动机维护与管理成本，助力海洋强国、交通强国战略。

国内外研究现状：在船用钢铁表面耐腐措施中，仅有微弧氧化技术有望满足耐高温甲酸腐蚀需求，但目前仍停留在实验室研究阶段，涂层的成膜质量和性能尚不能满足实际需求；陶瓷层微纳米晶化有助于改善微弧氧化陶瓷层韧性、硬度及其与基体间线膨胀系数的差异，并提高其耐腐蚀性能[1]；稀土氧化物对玻璃陶瓷的结晶、成膜质量及耐腐蚀性能具有显著的促进作用，有望最终实现耐高温甲酸腐蚀的性能目标。电解液添加剂在镁合金表面耐腐涂层的制备中可增加陶瓷层厚度，降低起弧电压，提高陶瓷层的致密性，并提升涂层的耐腐蚀性能[2]。

[1]孙腾腾, $\text{MoO}_3\text{-SiO}_2$ 纳米晶复合涂层模拟海洋环境的抗菌及耐腐蚀性能研究
南京航空航天大学, 南京, 2018.

[2] 孙鑫, AZ91D 表面含 Ce 微弧氧化涂层的制备及耐蚀性研究, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 2019.

三、研究方案

1. 研究目标、研究内容和拟解决的关键问题。

研究目标： 铸铁 HT250 表面微弧氧化微纳米晶复合陶瓷层构建机理及其微观组织结构对目标性能的影响机制，获得成膜质量优、耐高温甲酸腐蚀性能好的复合陶瓷层制备方法。

研究内容： 选用纳米 SiO_2 粒子、 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 作为电解液添加剂，改造现有实验装置使试样在微弧氧化处理中处于高频振动状态，控制微弧氧化电参数在铸铁 HT250 表面构建微弧氧化微纳米晶复合陶瓷层。通过微纳米晶材料特性和其微观组织结构对线膨胀系数、韧性的微观调控，改善微弧氧化陶瓷层的成膜质量和性能。

关键问题： 复合陶瓷层线膨胀系数、韧性、耐高温甲酸腐蚀和抗热冲击等性能。

2. 本项目创新之处。

将亚稳态材料基础理论、研究成果与微弧氧化技术有机结合在一起，创新地提出利用微弧氧化技术在铸铁 HT250 表面构建微纳米晶复合陶瓷层。

将试样由静止状态改变为高频振动状态；在电解液中引入结晶促进剂纳米 SiO_2 粒子、 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ；通过微纳米晶组织的特性和调控来改善陶瓷层的目标性能。

微弧放电时间较短，制备方法污染小、无危害、操作简单、成本较低。

3. 年度研究计划、预期研究成果。

2022 年 6 月-2022 年 12 月：

- 改造现有实验装置，加装试样高频振动装置；
- 微弧氧化电参数对复合陶瓷层微纳米晶组织生成的影响；
- 试样高频振动频率对复合陶瓷层微纳米晶组织生成的影响；

2023 年 1 月-2023 年 12 月：

- $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 电解液添加剂对复合陶瓷层微纳米晶组织生成的影响；
- $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 电解液添加剂对复合陶瓷层微纳米晶组织生成的影响；
- 纳米 SiO_2 粒子电解液添加剂对复合陶瓷层微纳米晶组织生成的影响；
- 微弧氧化电参数、试样高频振动频率以及三种电解液添加剂对微纳米晶组织生成的耦合作用；

2024 年 1 月-2024 年 5 月：

- 复合陶瓷层微观组织结构对其线膨胀系数和韧性的影响；
- 复合陶瓷层微观组织结构对耐高温甲酸腐蚀和抗热冲击性能的影响。

预期研究成果：

- 建立微弧氧化微纳米晶复合陶瓷层的生成机理体系；
- 得到复合陶瓷层线膨胀系数和韧性的受控机制；
- 获得复合陶瓷层微观组织结构耐高温甲酸腐蚀和抗热冲击性能的影响机制；
- 优化得到适用于本工作所用试样的复合陶瓷层制备方法；
- 在国内外期刊发表论文 2~3 篇（其中核心论文 2 篇）。

四、研究基础

1. 与本项目有关的研究工作基础和已取得的研究工作成绩。已具备的研究条件，尚缺少的研究条件和拟解决的途径（包括利用国家重点实验室和部门开放实验室的计划与落实情况）。

工作基础：前期实验中，在普通低碳钢试样表面得到外层为非晶态 SiO_2 ，过渡层主要为 Fe_3O_4 的陶瓷层。因过渡层改善了 SiO_2 与基体间线膨胀系数的差异，故陶瓷层的致密性和结合状态相对较好。在电化学测试中，腐蚀电流密度较基体降低了 78%。因主要是基体中的 Fe 元素参与陶瓷层的形成，故在铸铁 HT250 表面可以得到上述复合陶瓷层，其外层 SiO_2 为耐高温甲酸腐蚀奠定了重要的基础。

研究条件：依托江苏海事职业技术学院船舶智能化机舱实训基地和交通运输部大连海事大学船机修造工程重点实验室等研究平台，拥有完成本课题所需的大部分条件和设备。申请人及项目组成员可熟练操作实验所需设备，并进行相关数据和理论的分析。

2.申报者和项目组主要成员的学历和研究工作经历，近期已发表与本项目有关的主要论著目录*和获得学术奖励情况及在本项目中承担的任务。

姓名	学位	职称	承担任务	研究工作经历	获得奖励
孙长飞	硕士	副教授	实验操作 数据分析	江苏海院科创基金项目	国家教学成果 二等奖
马春生	博士	副教授		交通运输部应用基础研究 项目	
惠节	硕士	讲师	实验操作	江苏省高校自然科学基金 面上项目	
刘昭亮	硕士	讲师			
赵春生	硕士	副教授			

主要论著目录：

孙长飞等.电参数和反应时间对微弧氧化热障陶瓷层制备的影响[J].大连海事大学学报,2021,47(01):119-125.

马春生等.ZL109 铝合金微弧氧化耐磨陶瓷层的工艺优化[J].材料热处理学报,2017,38(07):160-166.

惠节等.镀镍石墨磁性纳米粒子对 ZL109 微弧氧化反应过程及膜层耐磨性能影响[J].润滑与密封,2022,47(02):75-81.

赵春生等.碳纳米管添加剂对 ZL109 铝合金微弧氧化陶瓷层的生长及耐磨性能影响[J].润滑与密封,2021,46(12):93-98.

* 论文：作者·题目·刊名·年份·卷（期）·页码；专著：作者·书名·出版者·年份

五、申报者所在单位意见

申报者所在单位的审查意见与保证：

已按填报说明对申报人进行了资格审查，对申报书内容审核同意，并保证在项目获得资助后做到以下几点：

(1) 保证对研究计划实施所需的人力、物力和工作时间等条件给予支持。

(2) 严格遵守有关资助项目管理、财务等各项规定。

(3) 督促项目负责人和本单位项目管理部门按规定及时报送有关报表和材料。

需要说明的其它问题：

单位（盖章）

年 月 日

六、设区市委人才办或省有关部门意见

(盖章)

年 月 日

七、省委人才办审批意见

(盖章)

年 月 日