



项目批准号	51901179
申请代码	E010101
归口管理部门	
依托单位代码	71006508A1001-1896



519011791002488

国家自然科学基金委员会 资助项目计划书

资助类别: 青年科学基金项目

亚类说明:

附注说明:

项目名称: 基于高通量制备技术探究铈对镍基单晶高温合金热腐蚀行为的影响机理

直接费用: 23万元 执行年限: 2020.01-2022.12

负责人: 常剑秀

通讯地址: 陕西省西安市电子二路东段18号

邮政编码: 710065 电 话: 029-88382536

电子邮件: jxchang11s@alum.imr.ac.cn

依托单位: 西安石油大学

联系人: 丁昌峰 电 话: 029-88382398

填表日期: 2019年09月04日

国家自然科学基金委员会制

国家自然科学基金委员会资助项目计划书填报说明

- 一、项目负责人收到《关于国家自然科学基金资助项目批准及有关事项的通知》（以下简称《批准通知》）后，请认真阅读本填报说明，参照国家自然科学基金相关项目管理办法及《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》（请查阅国家自然科学基金委员会官方网站首页“政策法规”栏目），按《批准通知》的要求认真填写和提交《国家自然科学基金委员会资助项目计划书》（以下简称《计划书》）。
- 二、填写《计划书》时要求科学严谨、实事求是、表述清晰、准确。《计划书》经国家自然科学基金委员会相关项目管理部门审核批准后，将作为项目研究计划执行和检查、验收的依据。
- 三、《计划书》各部分填写要求如下：
 - （一）简表：由系统自动生成。
 - （二）摘要及关键词：各类获资助项目都必须填写中、英文摘要及关键词。
 - （三）项目组主要成员：计划书中列出姓名的项目组主要成员由系统自动生成，与申请书原成员保持一致，不可随意调整。如果批准通知中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目有调整项目组成员相关要求的，待项目开始执行后，按照项目成员变更程序另行办理。
 - （四）资金预算表：根据批准资助的直接费用，按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》填报资金预算表和预算说明书。国家重大科研仪器研制项目、重大项目还应按照预算评审后批复的直接费用各科目金额填报资金预算表、预算说明书及相应的预算明细表。
 - （五）正文：
 1. 面上项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目：如果《批准通知》中没有修改要求的，只需选择“研究内容和研究目标按照申请书执行”即可；如果《批准通知》中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目明确要求调整研究期限和研究内容等的，须选择“根据研究方案修改意见更改”并填报相关修改内容。
 2. 重点项目、重点国际（地区）合作研究项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，根据《批准通知》的要求填写研究（研制）内容，不得自行降低、更改研究目标（或仪器研制的技术性能与主要技术指标以及验收技术指标）或缩减研究（研制）内容。此外，还要突出以下几点：
 - （1）研究的难点和在实施过程中可能遇到的问题（或仪器研制风险），拟采用的研究（研制）方案和技术路线；
 - （2）项目主要参与者分工，合作研究单位之间的关系与分工，重大项目还需说明课题之间的关联；
 - （3）详细的年度研究（研制）计划。



3. 国家杰出青年科学基金、优秀青年科学基金和海外及港澳学者合作研究基金项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，按下列提纲撰写：
 - （1）研究方向；
 - （2）结合国内外研究现状，说明研究工作的学术思想和科学意义（限两个页面）；
 - （3）研究内容、研究方案及预期目标（限两个页面）；
 - （4）年度研究计划；
 - （5）研究队伍的组成情况。
4. 国家自然科学基金基础科学中心项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，应当根据评审委员会和现场考察专家组的意见和建议，进一步完善并细化研究计划，作为评估和验收的依据。按下列提纲撰写：
 - （1）五年拟开展的研究工作（包括主要研究方向、关键科学问题与研究内容）；
 - （2）研究方案（包括骨干成员之间的分工及合作方式、学科交叉融合研究计划等）；
 - （3）年度研究计划；
 - （4）五年预期目标和可能取得的重大突破等；
 - （5）研究队伍的组成情况。
5. 对于其他类型项目，参照面上项目的方式进行选择和填写。

简表

申请者信息	姓 名	常剑秀	性 别	女	出生年月	1989年03月	民 族	汉族
	学 位	博士			职称	讲师		
	是否在站博士后	否			电子邮件	jxchanglls@alum.imr.ac.cn		
	电 话	029-88382536			个人网页			
	工 作 单 位	西安石油大学						
	所 在 院 系 所	材料科学与工程学院						
依托单位信息	名 称	西安石油大学					代码	71006508A1001
	联 系 人	丁昌峰			电子邮件	kjcdef@xsyu.edu.cn		
	电 话	029-88382398			网站地址	www.xsyu.edu.cn		
合作单位信息	单 位 名 称							
项目基本信息	项 目 名 称	基于高通量制备技术探究铈对镍基单晶高温合金热腐蚀行为的影响机理						
	资 助 类 别	青年科学基金项目				亚 类 说 明		
	附 注 说 明							
	申 请 代 码	E010101:新型金属材料				E011102:金属高温腐蚀与防护		
	基 地 类 别							
	执 行 年 限	2020.01-2022.12						
	直 接 费 用	23万元						



项目摘要

中文摘要:

近年来燃气轮机进气温度的不断提高,对燃机涡轮叶片材料—抗热腐蚀高温合金的高温强度提出了更高的要求,但传统抗热腐蚀合金高铬(Cr)的特点,致使优异高温强度和抗热腐蚀性能难以兼得。申请人近期研究发现,采用铼(Re)元素合金化可实现二者兼得,然而Re对热腐蚀行为的影响机理仍不清晰,限制了合金成分及性能的进一步优化。本项目采用高通量制备技术制备的Re含量连续梯度分布单晶样品为实验载体,探究Re对Cr元素扩散、Cr₂O₃膜生长行为和高温损伤机制的影响,以期在具有成分连续梯度分布的样品上快速、高效、准确的获得成分-性能的关系,同时快速发现对比效应并结合微区取样分析精准探究其机制。本项目的完成将揭示Re对热腐蚀行为的影响机理,为发展低成本高强度抗热腐蚀单晶合金提供科学依据。

Abstract:

The continuous increase of the inlet temperature of the industrial gas turbines has put forward higher requirements on the high temperature strength of the gas turbine blade material - hot corrosion resistant superalloys. However, for traditional hot corrosion resistant superalloys, excellent high temperature strength and hot corrosion resistance might come into conflict, because of their high content of chromium (Cr). The application has recently found that alloying with rhenium (Re) can achieve both, but the mechanism of Re on hot corrosion behavior is still unclear, which limits the further optimization of alloy composition and properties. In this project, the single crystal samples with continuous gradient distribution of Re element prepared by high-throughput fabrication method will be used to investigate the effect of Re on Cr diffusion, Cr₂O₃ film growth behavior and high temperature damage mechanism. This method enables the quick, efficient and accurate obtain of the correspondence between composition and performance. Furthermore, samples with continuous gradient distribution of Re allows more efficient observations and extractions of contrast effect. This project will reveal the influence mechanism of Re on the hot corrosion behavior, and give a new perspective on the development of low-cost high strength hot corrosion resistant single crystal superalloys.

关键词(用分号分开): 镍基高温合金; 热腐蚀; 高通量制备

Keywords(用分号分开): nickel-base superalloy; hot corrosion; high throughput fabrication



项目组主要成员

编号	姓名	出生年月	性别	职称	学位	单位名称	电话	证件号码	项目分工	每年工作 时间 (月)
1	常剑秀	1989.03	女	讲师	博士	西安石油大学	029-88382536	61052319890321 3042	项目负责人	8
总人数				高级	中级	初级		博士后	博士生	硕士生



国家自然科学基金项目直接费用预算表（定额补助）

项目批准号：51901179

项目负责人：常剑秀

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
1	项目直接费用合计	23.0000
2	1、设备费	0.0000
3	(1)设备购置费	0.00
4	(2)设备试制费	0.00
5	(3)设备升级改造与租赁费	0.00
6	2、材料费	5.10
7	3、测试化验加工费	11.94
8	4、燃料动力费	0.3600
9	5、差旅/会议/国际合作与交流费	2.00
10	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.20
11	7、劳务费	2.40
12	8、专家咨询费	0.00
13	9、其他支出	0.00

预算说明书（定额补助）

（请按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》的有关要求，对各项支出的主要用途和测算理由，以及合作研究外拨资金、单价 ≥ 10 万元的设备费等内容进行必要说明。）

项目直接费用23万元，具体预算说明如下。

1. 设备费

本申请无设备费预算支出。

2. 材料费：5.1万元

项目需要进行单晶试棒制备、热扩散实验、热腐蚀/氧化实验，材料费预算如下：

(1) 给合作单位外拨资金3.6万元用于单晶棒原料购买及制备，详见合作单位预算。

(2) 进行氧化/热腐蚀实验需要使用坩埚，每个坩埚0.005万元。

① Re/Cr多成分热腐蚀实验。共1个实验条件，12组样品，每组5个平行样品，共需： $1 \times 12 \text{组} \times 5 \text{个/组} \times 0.005 \text{万元/个} = 0.3 \text{万元}$ 。

② 优选合金氧化/热腐蚀实验。共2个实验条件，3个温度，每个温度5个平行样品，共需： $2 \times 3 \times 5 \text{个/组} \times 0.005 \text{万元/个} = 0.15 \text{万元}$ 。

③ 中断实验需坩埚50个，共需： $50 \text{个} \times 0.005 \text{万元/个} = 0.25 \text{万元}$ 。

综上，坩埚共需： $0.3 + 0.15 + 0.25 = 0.7 \text{万元}$ 。

(3) 药品、砂纸、冷镶剂、煤油等低值易耗品以及材料采购运输费用约需0.8万元。

材料费共计： $3.6 + 0.7 + 0.8 = 5.1 \text{万元}$ 。

3. 测试化验加工费：11.94万元

项目需要进行热扩散夹具加工、片状腐蚀试样加工以及单晶试棒成分分析、氧化腐蚀试样组织分析及扩散样品成分分析，具体预算如下：

(1) 给合作单位外拨资金1.44万元用于试棒化学成分分析，详见合作单位预算。

(2) 试样加工费：

① 热扩散夹具加工，每套0.05万元。热扩散实验共4组样品，每组3个平行样品，在3个温度下进行热扩散，共需： $4 \text{组} \times 3 \text{个} \times 3 \times 0.05 \text{万元/套} = 1.8 \text{万元}$ 。

② 片状腐蚀试样加工，每片0.005万元。按材料费中给出的实验设计，共需片状腐蚀试样： $12 \text{组} \times 5 \text{个/组} + 2 \times 3 \times 5 \text{个/组} + 50 \text{个} = 140 \text{个}$ ，需： $0.005 \text{万元/个} \times 140 \text{个} = 0.7 \text{万元}$ 。

综上，试样加工费共计： $1.8 + 0.7 = 2.5 \text{万元}$ 。

- (3) XRD分析费, 按每个试样0.02万元。共需: $0.02 \text{ 万元/个} \times 140 \text{ 个} = 2.8 \text{ 万元}$ 。
- (4) SEM分析费, 按每小时0.03万元。共需: $0.03 \text{ 万元/小时} \times 80 \text{ 小时} = 2.4 \text{ 万元}$ 。
- (5) TEM分析费, 按每小时0.04万元。共需: $0.04 \text{ 万元/小时} \times 20 \text{ 小时} = 0.8 \text{ 万元}$ 。
- (6) EPMA分析费, 按每小时0.04万元。共需: $0.04 \text{ 万元/小时} \times 50 \text{ 小时} = 2.0 \text{ 万元}$ 。
- 测试化验加工费共计: $1.44 + 2.5 + 2.8 + 2.4 + 0.8 + 2.0 = 11.94 \text{ 万元}$ 。

4. 燃料动力费: 0.36万元

热处理、氧化/热腐蚀、热扩散实验过程的电力消耗。

5. 差旅费: 2.0万元

- (1) 与合作单位项目交流按每年2人次计算, 每人次每年0.2万元, 其中交通费0.1万元, 住宿费0.1万元。共需: $0.2 \text{ 万元/人次/年} \times 2 \text{ 人次} \times 3 \text{ 年} = 1.2 \text{ 万元}$ 。
- (2) 参加国内国际会议费用按2人次计算, 每人次0.4万元, 其中注册费0.2万元, 交通费0.1万元, 住宿费0.1万元。共需: $0.4 \text{ 万元/人次} \times 2 \text{ 人次} = 0.8 \text{ 万元}$ 。

差旅费共计: $1.2 + 0.8 = 2.0 \text{ 万元}$ 。

6. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费: 1.2万元

资料检索、复印费、论文打印费0.2万元; 论文版面费用1.0万。

出版/文献/信息传播/知识产权事务费共计: $0.2 + 1.0 = 1.2 \text{ 万元}$ 。

7. 劳务费: 2.4万元

研究生劳务费: $0.05 \text{ 万元/人/月} \times 2 \text{ 人} \times 24 \text{ 月} = 2.4 \text{ 万元}$ 。

8. 合作单位外拨资金情况及详细预算如下:

合作单位: 中国科学院金属研究所

单位类型: 部属科研单位

任务分工: 单晶试棒制备(熔炼、成分测定)、第一性原理计算

承担资金总额: 5.04万元

承担资金占总资助额直接费用的比例: 21.7%

是否已签订合作协议: 是

详细预算如下:

(一) 材料费: 3.6万元

项目计划以DD413合金为研究对象, 课题进行过程中需要熔炼母合金, 并添加不同含量的Re进行定向凝固, 制备单晶试棒。合金制备需要纯合金元素, 其中Re为贵重元素。

(1) 熔炼8种成分合金，采用高通量制备技术，两两成分为一组，每组定向凝固一炉(4根)，共需凝固4炉16根单晶棒。每炉选用DD413母合金2 kg，共需8 kg母合金，考虑到在合金冶炼、试棒制备、切割等工序的损耗，所需实际母合金质量为10 kg，每吨母合金100万，所需资金： $10\text{kg} \times 100\text{万元/吨} = 1.0\text{万元}$ 。

(2) 添加Re元素共需 $2\text{kg} \times (0+1+2+3) \text{ wt.\%} = 0.12\text{kg}$ ，考虑到损耗，需准备Re元素0.15kg，每公斤Re按4万元，共需Re为： $0.15\text{kg} \times 4\text{万元/kg} = 0.6\text{万元}$ 。

(3) 模壳制备过程中需要蜡模、型砂、过滤网、石墨纸等耗材。每炉0.5万元，所需资金： $0.5\text{万元/炉} \times 4\text{炉} = 2.0\text{万元}$ 。

材料费共计： $1.0+0.6+2.0=3.6\text{万元}$ 。

(二) 测试化验加工费：1.44万元

试棒化学分析费：8种成分单晶试棒，每种9个元素，需：

$0.02\text{万元/元素} \times 9\text{个元素} \times 8 = 1.44\text{万元}$ 。

项目负责人签字：常剑亮





报告正文

研究内容和研究目标按照申请书执行。

国家自然科学基金资助项目签批审核表

<p>我接受国家自然科学基金的资助，将按照申请书、项目批准意见和计划书负责实施本项目（批准号：51901179），严格遵守国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、财务等各项规定，切实保证研究工作时间，认真开展研究工作，按时报送有关材料，及时报告重大情况变动，对资助项目发表的论著和取得的研究成果按规定进行标注。</p> <p>项目负责人（签章）：常剑秀 2019年09月17日</p>	<p>我单位同意承担上述国家自然科学基金项目，将保证项目负责人及其研究队伍的稳定和研究项目实施所需的条件，严格遵守国家自然科学基金委员会有关资助项目管理、财务等各项规定，并督促实施。</p> <p>依托单位（公章） 2019年9月25日</p>														
<p>本栏目由基金委填写</p>	<p>科学处审查意见：</p> <p>同意按计划执行</p> <p>建议年度拨款计划（本栏目为自动生成，单位：万元）：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>年度</th> <th>总额</th> <th>第一年</th> <th>第二年</th> <th>第三年</th> <th>第四年</th> <th>第五年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金额</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>负责人（签章）： 2019年11月1日</p>	年度	总额	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	金额						
	年度	总额	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年								
金额															
<p>科学部审查意见：</p> <p>同意按计划执行</p> <p>负责人（签章）： 2019年11月1日</p>															
<p>本栏目主要用于重大项目等</p>	<p>相关局室审核意见：</p> <p>负责人（签章）： 年 月 日</p>														
	<p>委领导审批意见：</p> <p>委领导（签章）： 年 月 日</p>														