

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	浙江启尔机电技术有限公司	
实践单位地点	浙江省杭州市临安区青山湖街道励新路 99 号	
实践岗位名称	机械工程师	
专业实践训练时间	分段进行	2021 年 08 月 23 日开始 至 2022 年 05 月 27 日结束
		专业实践训练累计 277 天（单位考核前），其中项目研究天数 180 天（单位考核前）
<p>(1) 基本概况（含实践单位简介、实习实践内容等）</p> <p>浙江启尔机电技术有限公司成立于 2013 年，公司主要研发、生产和销售高端半导体装备超洁净流控系统及其关键零部件。启尔机电前身是浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室启尔团队，先后承担国家 863 计划和国家科技重大专项等科研项目 30 余项，总投资约 10 亿元，已获授权发明专利 100 余项。公司员工 130 余人，其中：高级职称 7 人，博士 10 人，在职博士 6 人。本项目主要内容是开发适用于不锈钢材料超洁净流控部件的低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术，解决不锈钢薄壁孔板的焊接热变形问题。</p>		
<p>(2) 项目研究概述（含项目名称、项目来源、项目经费、主要研究目标和技术难点等）</p> <p>项目名称：低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术 项目来源：浙江启尔机电技术有限公司 项目经费：5 万元 主要研究目标与技术难点： 硕士课题所涉及的 CO₂ 气刀孔板需要利用超洁净激光焊接技术进行焊接，从而实现课题研究所需要的气刀结构的制造，由于气刀孔板厚度较薄，在实际激光焊接过程中会引起焊接热变形，严重影响薄壁孔板的平面度及小孔的位置精度。本项目主要目标是研发适用于不锈钢材料超洁净流控部件的低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术，解决不锈钢薄壁孔板的焊接热变形问题。主要技术难点是提高焊缝熔深、降低焊缝宽度、保证焊接质量的同时，降低焊接热变形。</p>		

(3) 项目开展情况 (含项目研究内容、研究方案及技术路线, 研究团队分工、本人承担任务及完成情况, 存在问题与改进建议等, 不少于 500 字。)

(1) 主要研究内容: 本项目主要目标是解决不锈钢薄壁孔板的焊接热变形问题。通过分析激光焊接热变形的产生机理, 来寻找焊接变形量的主要影响因素, 进而利用结构设计仿真的手段寻找工程化的解决方案, 研发适用于不锈钢材料超洁净流控部件的低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术, 解决不锈钢薄壁孔板的焊接热变形问题。

(2) 方案及技术路线: 本项目技术路线主要包括 6 个阶段, 分别包括: 激光焊接热变形分析—方案设计—仿真分析—实验验证—迭代改进与方案优化—工艺定型。

(3) 人员分工情况: 本项目主要由两位成员完成, 分别侧重方案设计与工艺验证。其中本人主要负责热变形的原因分析、方案设计与仿真分析, 并与另一名项目成员共同进行实验验证。

(4) 本人主要承担的任务及完成情况: 在项目实施过程中, 本人参与了激光焊接热变形影响因素的分析, 提出利用在被焊接工件下方布置水冷板来加速焊接过程中焊缝周围热量消散, 从而降低焊接热变形的解决方案, 并负责水冷板的方案设计与流体及传热仿真分析, 并辅助另一位项目成员进行工艺验证, 通过对比实际焊接形变量来进行方案优化, 最终确定较优的具体实现方案。

(5) 问题与改进建议: 当前的水冷方案主要是从工件底部实现加速散热、降低热聚集的设计目的, 在后续的方案中, 可进一步通过在工件表面焊缝周围辅助喷射控温后的冷却气体进行辅助散热, 可进一步提升效率。

二、专业实践训练收获

(一) 围绕考核评价指标体系，举例说明以下收获（不少于 800 字）

本项目与研究生学位论文选题内容联系紧密，硕士学位论文的推进过程中，需要开发并利用低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术，实现具体孔板喷射方案的实验验证与工程化应用。在企业实际实习的阶段，参与了项目从“需求分析-方案调研-提出假设-方案设计与仿真分析-样件试制与实验-迭代优化设计-方案定型”整个流程，从问题的产生到最终的方案定型，整个过程经历下来对自己在解决工程技术问题的思路上有了解很好的启示，在对工程技术问题的理解更为深入。

首先，在水冷换热结构的方案设计过程中，将流体仿真技术与传热学相关的理论知识作为基础，并在技术方案调研的阶段，借鉴了管壳式换热器及翅片式换热器的技术方案，最终设计了圆盘式水冷换热结构。完成生产试制后，在实验阶段发现，圆盘式的水冷换热结构对工件的焊接热变形具有一定的抑制作用，但未达到设计预期，有提升的空间。在分析可能存在的优化方向后，创新性的提出了仿形换热结构，即根据工件的具体结构形态、焊缝的分布情况以及焊接后热量分布情况，优化设计了水冷流道的排布与结构形态，旨在提升换热效率。在完成方案设计后，进行了初步的仿真分析，优化效果明显。之后发起了第二轮的样件试制与实验测试，本次实验测试结果表明，应用仿形式水冷换热结构焊接后的工件表面平面度明显优于无换热结构焊接后的平面度，平面度约提升 50%，具有较高的可行性，并且可应用于实际生产过程中。

整个项目过程收获最大的主要有三个方面。一方面将流体仿真技术与工程实际相结合，加深了对于理论知识的理解。另一方面，通过实际参与了项目推进的具体工作，对于解决工程问题的能力有了提升，需求来源于生产一线，最终验证方案、优化方案也同样需要借助生产实践。此外，从负责焊接工艺验证的另一位项目成员身上，也学到了很多来源于生产一线的宝贵经验，对日常设计开发工作有一定的启示，丰富了自身的工程设计能力。

最后，感谢实践单位对我实践期间的工作大力支持，感谢项目成员之间的互帮互助，感谢校内导师与企业导师的悉心指导。

(二) 取得成效

硕士课题的研究内容是关于浸没流场 CO₂ 密封的机理及工程化应用，其中用于 CO₂ 供给与 CO₂ 回收的微观结构属于不锈钢薄壁孔板结构，该薄壁孔板与浸没流场密封结构本体采用激光焊接的加工工艺进行焊接与组装。由于孔板壁厚太薄，在实际生产加工过程中，往往在激光焊接工序过后出现较大变形，焊接后变形量在 0.15mm 左右，会直接影响微孔的尺寸精度与位置精度，造成局部 CO₂ 气体喷射的压力与流量不均匀，对 CO₂ 气体密封造成影响。因此，解决不锈钢薄壁板的激光焊接问题，是硕士课题得以推进的重要一环，也是硕士课题研究成果进行工程化应用必须解决的关键问题之一。

在项目实施过程中，通过与另一位项目成员一起分析具体问题并查阅文献，初步

分析几种影响因素，并基本锁定热变形是焊接变形的主要影响因素。利用相关的工作经验及技术积累，提出了在焊接工件下方增加水冷换热结构来加速焊接后的热量消散，从而降低焊缝周边的热量积聚，进而缓解焊接变形。

利用水冷换热循环的方式，设计换热方案，根据实际的换热需求分别设计了圆形换热流道与仿形换热流道，通过仿真分析来调整具体布局，并通过技术方案评审，进行试制。最终，经过实验测试、优化迭代、方案定型后，焊接后变形量降低了50%，该水冷方案应用在了实际生产过程中。

应用本方案为基础，配套开发的低变形量高深宽比超洁净激光焊接技术，对实际生产环节中遇到的不锈钢薄壁板焊接变形问题改善效果显著，并且方案具有较强的通用性，即可根据不同的被焊接结构，可以设计对应的仿形水冷换热结构。其中仿形换热流道的设计是本方案的主要创新点之一，该换热流道的设计可以针对不同位置的热变形区域，调整不同的对应方案，在简化流道结构的同时，提升热传递效率，针对性的解决局部热变形这一实际生产过程中的工艺难题。

此外，在硕士课题的推进过程中，该工艺技术方案的具体实施是课题研究推进和研究成果工程化应用过程中的关键一环。由于焊接变形量的控制，使得课题实验部门工作得以推进，并且提升了实验样件的加工精度，对课题方案的迭代设计提供支撑与保障。

3. 在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】

成果名称	类别[含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	学校排名/总参与单位数
------	--	---------------	----------------	----------	-------------

本人承诺



在专业实践训练及考核报告撰写过程中，如实提供材料，严守学术道德、遵循学术规范。

签字：

李元

2022年6月2日

三、考核评价

<p>校外合作 导师(或现 场导师) 评价</p>	<p>重点对研究生项目研究开展情况、职业素养、行业知识掌握、环境和岗位适应能力、工程实践能力、团队协作能力，以及通过技术创新、成果转化、解决工程实际问题等取得的经济和社会效益等方面的评价：</p> <p>李元同志综合素质好，业务能力强，勤于钻研，注重理论和实践相结合，企业效益明显。全面掌握不锈钢超纯净焊接工艺并集中推进热变形技术研发工作。较强的沟通能力，积极推进项目建设，团队效益显著，队伍建设蓬勃发展。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：  年 6 月 3 日 2022</p>
<p>校内导师 评价</p>	<p>重点对研究生科学素质、基础及专业知识掌握、技术应用创新能力、取得的研究成果、项目研究与学位论文撰写的相关程度等方面的评价：</p> <p>李元在企也参加了大量科研和工艺技术攻关，成效显著。</p> <p>校内导师签字：  2022年6月6日</p>

四、相关支撑材料

在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】证明材料原件扫描件，具体提交要求如下：

1. 产品与样机扫描件包含企业证明材料（含产品与样机功能及创新性介绍、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。
2. 授权专利扫描件包含专利证书授权页；未授权专利扫描件包含专利受理书扫描件和专利请求书扫描件。
3. 著作扫描件包含封面、封底和版权页。
4. 软件著作权扫描件包含著作权证书和登记申请表。
5. 论文扫描件包含封面、封底、目录和论文全文（含收录证明）。
6. 标准扫描件包含封面、版权页、发布公告、前言和目次。
7. 获奖扫描件包含显示单位和个人排名的获奖证书。
8. 成果转化扫描件包含企业证明材料（含成果技术说明、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。