

浙江工业大学激光中心又出新成果——重大关键部件现场再制造

大型转子轴是汽轮机的核心部件，技术要求高，附加值高，但运输困难。一旦磨损后，返厂修复运输不便、费用高、费工时。浙江工业大学激光加工技术工程研究中心依托“浙江省高端激光制造装备协同创新中心”，在国家国际科技合作项目的支持下，联合国内外优势力量，最新研制成功国产化可移动大功率高效激光宽带再制造成套装备，实现了全闭环控制的智能化制造，现已为企业完成多个重要转子轴的现场激光修复，解决了传统修复方法材料选用局限性、工艺过程热应力、热变形、加工余量大、材料晶粒粗大、与基体材料结合强度难以保证等难题，适应汽轮机转子的高转速、高应力、高温等工况条件，经检测各项指标均满足要求，修复部位的性能在运行状态下接近或超过修复前转子的性能。该技术还可应用于大型核电装备、水电装备及铸锻件机身等重大装备部件的现场修复，是一项



超临界汽轮机转子轴激光再制造现场

激光再制造后零件表面形貌

蕴藏着巨大社会效益的绿色制造技术。

以下为杭州汽轮机股份有限公司的超临界汽轮机转子轴激光再制造现场。

高端激光制造装备协同创新中心组团参加第十一次全国热处理大会

7月17-20日，由中国机械工程学会热处理分会主办、太原理工大学承办的第十一次全国热处理大会在山西省太原市召开。本次大会的主题是“新材料构件热处理——创新与超越”。浙江省高端激光

研究”的邀请报告。参会期间，姚建华一行还参观了太原理工大学新材料界面科学与工程教育部重点实验室和我国重型机械行业第一家上市公司-太原重工股份有限公司。



姚建华教授做大会特邀报告

刘蓉教授报告现场

胡晓冬副教授报告现场

协同创新中心参会人员合影

制造装备协同创新中心姚建华教授、苏宝蓉教授、刘蓉教授等十余位师生参加了会议，成为参会人数最多的团队之一，展示了协同创新中心作为全国高能束热处理领域著名团队的风貌和实力。姚建华教授做了题为“激光热处理技术及其应用产业化”的大会特邀报告，系统介绍了激光热处理内容、特点及应用，从材料、工艺与装备角度对当今国内外激光热处理技术的研究现状做了系统阐述。同时，通过大量应用案例分析，揭示了技术应用效果、存在的几个难点问题并提出解决途径，在此基础上，剖析了该技术领域的发展趋势与现今所面临的挑战，获得了与会专家与学者的极大关注和广泛好评。刘蓉教授做了“热处理对钴基高温合金微观组织和性能的影响”、胡晓冬副教授做了“温度控制模式下激光相变硬化机理与仿真模型

全国热处理大会每四年举办一次，是我国热处理领域最大、也是最重要的行业盛会之一。国内外热处理领域科研院校的专家学者和热处理上下游企业代表等600余人参加了此次会议。本次大会主要总结和交流近四年材料热处理科研生产新进展，进一步明晰我国热处理技术发展路线图，引导热处理科技事业与行业发展。大会共邀请包括来自北京航空材料研究院赵振业院士、太原钢铁集团有限公司王一德院士、哈尔滨工业大学校长周玉院士、东北大学王国防院士、太原理工大学副校长许并社教授、全国热处理学会副理事长徐跃明、郑州机械研究所原总工程师陈国民、浙江省高端激光制造装备协同创新中心姚建华教授、美国应达集团首席科学家Valery Rudenv博士等9名国内外著名热处理专家做大会特邀报告。

激光专家的中国情—弗拉季米尔·科瓦连柯

【人物名片】弗拉季米尔·科瓦连柯，是乌克兰工程院院士、副院长，浙江工业大学客座教授，入选我国国家“千人计划”。

【科研成果】从上世纪六十年代开始，他就从事激光加工技术研究，是世界上该领域开展研究最早的开创者之一。他编著的《零件的激光表面强化》一书成为我国该领域最早的教科书之一。

【关键词】科研创新

清晨，只要不下雨，在浙江工业大学朝晖校区的操场上，总能看到一位满头白发的老人在跑步。遇到路人，他都会笑容满面地用中文打招呼：“你好。”

这位和蔼可亲、热爱运动的老人就是科瓦连柯。从上世纪九十年代起，他就受聘为联合国开发计划署驻华专家。在我国工作期间，他参与了多个项目研究。

激光制造技术是新一代高端制造技术之一，目前我国在这方面的实力跟国际先进水平相比还有较大差距。中国作为制造业大国，迫切需要这项技术。浙江工业大学尝试走国际合作路线，通过引进技术和智力，实现跨越式发展，满足制造业转型升级的需求。

2007年，在科瓦连柯推动下，“浙江工业大学—乌克兰国立科技大学激光技术联合研究实验室”建立。他每年都会带着乌克兰研究团队来中国工作3个月。如今，他每年在杭州的工作时间增加到半年以上，指导科研人员开展研究。

在浙江工业大学激光加工技术工程研究中心展厅，陈列着一系

列汽轮机叶片。它们是经过激光技术强化过的，其中包括用于目前最大发电机组的百万千瓦等级叶片，这种叶片在国际市场上单价可以卖到3万欧元，而一台发电机组就需要100多只叶片。此前，我国生产的汽轮机叶片防水蚀能力不强，不得不高价从国外购买。通过国际合作，浙江工业大学开发出的这种汽轮机叶片，寿命比国外同类产品更长，成本却只有进口产品的七分之一，制造实现国产化。

通过国际合作，科瓦连柯所在的浙江工业大学高能束绿色制造技术团队经过消化、吸收、再创新，实验室联合开发出激光复合制造工艺技术，解决了激光表面改性中的深度、变形和质量控制等关键问题，目前已经成功设计出适用于激光制造与再制造的专用装备，集成大功率激光柔性成套制造装备，整体技术达到国际先进水平。

现在这些研究成果大量应用于我国工模具、化工装备、泵阀等领域关键部件的制造与再制造，对实现企业转型升级具有重要作用。

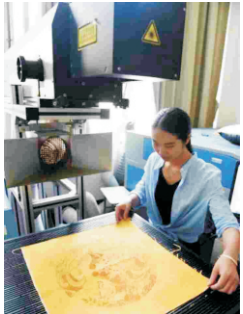
今年开始，科瓦连柯将有一个新头衔：浙江工业大学博士生导师。“他今年70多岁，但仍坚持上班，周末都来办公室悉心指导我们的团队。”张群莉是科瓦连柯在浙江工业大学工作团队成员，每每谈起这位老人，她话语间总是充满敬佩之情。

科瓦连柯对中国充满感情，把杭州当成他的第二个家。“我对中国文化着迷，它凝聚着勤劳的中国人民的智慧、不同领域人们的深层次体验。中国的烹饪艺术也是全世界最独特的。”科瓦连柯说。

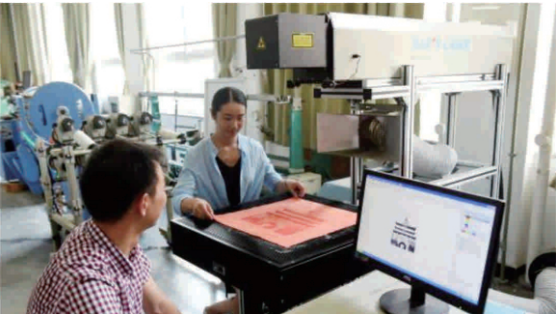
大学生用激光打标进行“私人定制”雕花

激光缓缓转动雕刻，一朵盛放的玫瑰便这样荡漾在布料之上。近日，浙江纺织服装职业技术学院的学生们别出心裁地依靠激光雕刻机，在质地柔软的布料上雕刻出各色花型。激光雕花不仅大大减少了人工和时间成本，精细的工艺和“私人定制”的设计还引来企业青睐，万元订单正借助网店的无限触角纷至沓来。

据了解，目前激光雕刻机一般用于切割有机玻璃、木头等材料，在纺织服装领域，也主要用于裁剪布料。但在浙江纺织服装职业技术学院开设的一门激光雕刻课程里，师生们别出心裁地将激光雕刻机与电脑相连，在布料上进行雕花工艺，并借助独特的图案设计，将设计产品推向课堂外的市场。



学生用激光打标机雕刻图案



学生正在用电脑设计图案

该校激光雕刻指导老师张建辉介绍道，与印花、提花、绣花等传统花型相比，激光雕花有着多种优势。“传统工艺流程复杂，劳动过程长，成本较高；而激光雕刻最短只需5分钟就能完成一件作品，省时省力，成本也低。最重要的是，激光雕刻真正实现了顾客的“私人定制”要求，一两件作品也能立马完成，不像印花、提花等产品需要批量生产。”“学生有在网上开网店，也有在线下为企业提供靠垫雕花等设计，有几笔生意的营业额已经破万元。”该校纺织服装学院副院长竺永志告诉记者，学校不仅为学生创业团队提供设备支持，还穿针引线为其提供商业资源，以期将激光雕花工艺成熟地推向市场。

据了解，目前该校的激光雕刻主要用于抱枕、床罩等家纺产品。第一批抱枕已在网店上进行销售，获得了大连、新疆等地的订单。此外，纺织学院的师生们已为两家家纺企业设计提供“私人定制”的个性化产品，激光雕花正获得市场的青睐。

竺永志表示，虽然学校还在不断摸索改良激光雕花技术，但这—领域的前景十分广阔。“激光雕刻的花型既可以是全部的前景图案，也可以是随机结合绣花、提花工艺，产生浮雕效果。而且学生拥有多项造型专利，可以在短时间内设计生产出个性化的时尚图案，雕花技术结合设计优势，相信一定能碰撞出激情的火花。”

推进的上浮速率和熔池内各元素的浓度起伏；三是均匀化细化组织。

Yunchang Fu, A.Loredano建立了熔覆过程的解析模型，示意图如图5所示。根据给定的束流速度和粉末颗粒速度可计算出温度分布，考虑激光由于传至工件表面而造成的衰减，并且在一些特定的实际情况下获取入射能量分布并绘图。通过模型分析得出结论：粉末颗粒在激光束中运动时，吸收光子后温度升高。由于在激光束中的运动时间不同和沿不同运动轨迹时激光强度也不同颗粒到达工件表面时具有不同的温度。当激光入射角度增大时温度分布将从对称分布转变为阶梯分布，对于小的激光束入射角度结果表明激光衰减是很大的并且导致分布形态与初始时不同。当激光束和粉末气流间的夹

角超过 20° 时，衰减小而且能量分布与垂直入射时的形貌相似。

T. R. Anthony、H. E. Cline等人研究了在激光重熔及合金化过程中，表面波紋形成机理并推导了波紋高度公式： $\Delta h = \frac{3}{2} \frac{1}{\rho g h} \frac{\partial \sigma}{\partial T} \Delta T$ ，其团队通过理论分析，发现高表面张力系数合金元素，高熔点及低密度材料可增加波紋高度。激光工艺参数中，激光扫描速度对波紋高度具有抑制作用如图6所示。

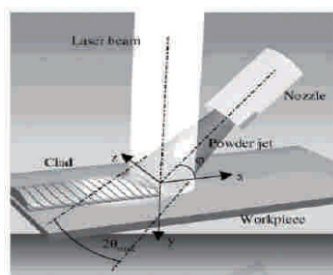


图5激光熔覆示意图

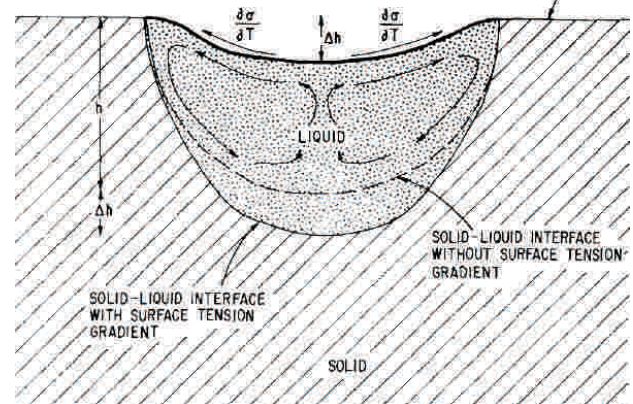


图6激光合金化熔池示意图

3.2熔覆熔池数值模拟研究

熔覆过程相比激光焊接及激光熔凝多了材料增加的过程，因此需对网格进行处理或者采用其他控制方程对物体的材料属性进行控制。将熔覆边界与熔池流动相关联时，这就导致网格畸变严重，收敛性下降。同时网格的实时变化，增加了计算机的计算量。

刘翼、虞钢等学者针对送粉式激光熔覆的特点，基于生死单元

法建立了一种可以同时计算瞬态温度场及熔覆层几何形貌的三维数值模型，模型中考虑了送粉过程中激光能量的衰减和粉末颗粒的升温。使用生死单元法，由每个时间载荷步计算出的瞬态温度场来捕捉熔池界面，根据熔覆材料质量守恒，“微渣”与熔池气液界面接触的单元，参与下一载荷步的温度场计算。基于该模型对送粉式激光熔覆过程中的温度场分布和几何形貌特点进行了分析。结果表明，熔池在熔覆开始后较短的时间内

法建立了一种可以同时计算瞬态温度场及熔覆层几何形貌的三维数值模型，模型中考虑了送粉过程中激光能量的衰减和粉末颗粒的升温。使用生死单元法，由每个时间载荷步计算出的瞬态温度场来捕捉熔池界面，根据熔覆材料质量守恒，“微渣”与熔池气液界面接触的单元，参与下一载荷步的温度场计算。基于该模型对送粉式激光熔覆过程中的温度场分布和几何形貌特点进行了分析。结果表明，熔池在熔覆开始后较短的时间内(0.6s)即进入温度和大小相对稳定的阶段。

