

搅拌摩擦焊技术在中国的发展和推广应用

Development and Application of Friction Stir Welding Technology in China

中航工业北京航空制造工程研究所 栾国红 郭德伦

过去 10 多年,搅拌摩擦焊对工业制造领域产生了巨大的影响。在中国,发展和推广搅拌摩擦焊是一项国家使命和一份社会责任。中航工业北京赛福斯特技术有限公司(中国搅拌摩擦焊中心)是中国地区搅拌摩擦焊技术工程化、工业化及产业化的先锋和推动者,是在以关桥院士为首席专家的专业化搅拌摩擦焊技术团队努力下建立的、具有世界先进水平的综合性搅拌摩擦焊发展平台。中心成立 12 年来,坚持技术和装备共同发展,迄今已经向航空、航天、船舶、兵器、电力、电子等行业交付了 100 余台套专业化数控搅拌摩擦焊装备,促进了搅拌摩擦焊技术在中国军工武器装备系统和民用产品制造领域的推广应用,直接提升了我国轻量化交通运输工具焊接的技术水平。

中国坚持了 30 多年“改革、开放”的发展模式,取得了举世瞩目的发展成就,到 2013 年,中国的国民生产总值(GDP)已经超越德国、日本等发达国家,位列世界第二,仅次于美国。但是,依靠资源消耗和投资拉动的经济发展模式已经略显疲势,并且还带来了资源浪费、环境污染等诸多负面影响,所以必须转变经济增长模式,以技术创新来促进中国经济的再发展。

搅拌摩擦焊是一种“革命性”的新型焊接技术。这种焊接技术从根本上解决了轻合金材料的焊接方法问题,可以实现铝、镁、钛等轻质合金材料的高效、优质、绿色、小变形的固

相(非熔化)连接。自 1991 年发明以来,尽管搅拌摩擦焊在世界范围内得到了知识产权保护,并在低熔点轻金属材料连接领域具有诸多优点,但是近 10 年来才得到了深入的研究和快速发展,具有诸多工业领域得到工程化应用,成为新世纪最先进的热点焊接技术。

世界范围内的交通运输工具正趋向于轻量化,中国的交通运输产业也正以前所未有的速度蓬勃发展,并成为铝合金材料用量最多的国家。搅拌摩擦焊在铝合金的焊接方面具有优质、高效、节材和绿色节能等诸多优点,能够提升接头质量和降低制造成本,全面提高我国铝合金产品的

国际竞争力。中国发展和推广搅拌摩擦焊是时代的召唤,是我们这一代人应该承担的使命和责任。

中国搅拌摩擦焊中心的成立

早在 10 多年以前,中国著名焊接专家、中国工程院关桥院士就预见到这种新型焊接技术对铝合金等材料的连接带来的革命性的影响。2002 年,中航工业北京航空制造工程研究所(625 所)和英国焊接研究所(TWI)在北京共同签署搅拌摩擦焊专利许可和合作协议,并且在技术合作基础上共同成立了中国地区搅拌摩擦焊技术发展和应用推广中心——中国搅拌摩擦焊中心。

“中国搅拌摩擦焊中心”是英国焊接研究所在中国地区(包括香港、澳门和台湾)唯一授权的搅拌摩擦焊技术合作伙伴。搅拌摩擦焊中心主要负责搅拌摩擦焊技术在中国地区的技术开发、工程应用以及搅拌摩擦焊设备的研发、制造及销售;同时还全权代表英国焊接研究所在中国地区发授和管理搅拌摩擦焊专利许可,并负责中国市场搅拌摩擦焊技术的应用和监督。

中国搅拌摩擦焊中心的成立是北京航空制造工程研究所和英国焊接研究所搅拌摩擦焊技术方面全面合作、共同发展的开端,也标志着搅拌摩擦焊技术在中国的启动和发展,是中国焊接技术发展史上新的里程碑。

中航工业北京航空制造工程研究所发展和推广搅拌摩擦焊为使命,不断适应新技术的市场化和产业化发展潮流,适时提出了“小核心、大产业”的发展战略。在发展搅拌摩擦焊技术的同时,还积极寻求和促进搅拌摩擦焊在工业制造领域的工程化应用。2003年,以中国搅拌摩擦焊中心为依托,成立了中国第一家专业化的搅拌摩擦焊工程化应用公司——“北京赛福斯特技术有限公司”,以期通过市场化的公司运营平台推进搅拌摩擦焊技术在中国的产业化发展。

作为中国地区搅拌摩擦焊技术的工程化、工业化以及产业化的先锋和推动者,中航工业北京赛福斯特技术有限公司的经营业务涉及整个搅拌摩擦焊技术相关产业链,具体包括:搅拌摩擦焊技术与搅拌摩擦焊工具的研究和开发、搅拌摩擦焊设备的开发和研制、搅拌摩擦焊产品的加工和制造、搅拌摩擦焊技术的培训和服务等。基于这种专业化的技术和能力,该公司为中国工业制造领域市场提供“交钥匙”工程和服务,直接帮助客户降低了搅拌摩擦焊技术应

用的门槛和难度,加速了该技术在工程化、工业化以及产业化方面的发展进程。

建立国家级的搅拌摩擦焊技术团队

在中国,发展和推广应用搅拌摩擦焊不是某个人或者某个公司能够独立完成的使命,而必须成为每一位焊接工程技术人员和每一个企业积极参与和勇于奋斗的事业。

中航工业北京赛福斯特技术有限公司(中国搅拌摩擦焊中心)自2003年起就被认定为北京市高新技术企业。公司始终将人才优势定为公司持续、快速发展的企业战略优势,在致力于搅拌摩擦焊技术创新的同时,更加注重高级人才的培养,始终把人才培养作为企业发展的第一要务。在面对市场化发展需要方面,积极探索人才队伍建设的新途径,已经建成了一支以中国工程院关桥院士为首席专家的专业化搅拌摩擦焊技术团队,其中包括3名研究员、7名博士以及24名硕士研究生。这支专业化的技术团队针对搅拌摩擦焊进行了全面的技术研究和开发,为众多中国企业客户提供技术、工程化、产品、设备、质量、标准等系列化服务和全套解决方案。

尽管中航工业北京赛福斯特技术有限公司在搅拌摩擦焊方法研究、工程化开发、设备研制和工业化应用方面取得了令人瞩目的成就,但是,相对于中国巨大的技术需求和应用市场,仅仅依靠某个公司和中心的力量是远远不够的,应该鼓励国内各大高校的研究机构和人员参与到这项新技术的研究开发中来,组成国家级的研究团队,共同促进搅拌摩擦焊技术的快速发展。

基于以上考虑,中航工业北京赛福斯特技术有限公司首先针对国内具有焊接、冶金学和材料学专业的大专院所发放了搅拌摩擦焊研究

许可,从知识产权方面鼓励这些院所进行技术与开发。这些高校院所分布于祖国的大江南北,既有航空、航天、船舶、列车等领域专业性较强的大学,如北京航空航天大学、西北工业大学、华东船舶工程学院、大连交通大学等,也有国内著名的综合性大学,如清华大学、甘肃工业大学、天津大学、燕山大学等,更有培养专业技术工人的专科学校,如湖南高级技工学校、湖北汽车工业学校等。到目前为止,已有近30家机构得到了搅拌摩擦焊专利使用许可授权,能够开展搅拌摩擦焊技术研究。这样可以将先进的研究测试软硬件条件和优秀的师资队伍充分结合起来,通过课题合作、技术攻关等方式,整合国内各个研究机构的优势资源,协调各个研究机构之间的分工协作,解决了搅拌摩擦焊基础研究薄弱的问题。

同时,通过这种合作,一方面有助于搅拌摩擦焊技术基础研究的发展;另一方面还为工业企业培养了大批专业化的搅拌摩擦焊技术应用人才,促进了搅拌摩擦焊技术的推广应用。这两方面相互影响、相互促进,共同推动了搅拌摩擦焊技术在国内的快速发展。

世界先进水平的搅拌摩擦焊技术发展平台

技术开发是企业的核心能力所在,技术创新是企业保持持久生命力的源泉,是企业持续发展的关键。在中国,以中航工业北京赛福斯特技术有限公司为核心的研发团队,十分重视搅拌摩擦焊基础技术的创新性发展及技术发展平台的建设。

中航工业北京赛福斯特技术有限公司是中航工业航空连接重点实验室成员单位,是国防工业特种焊接技术工程应用中心技术依托单位。在科研方面,公司承担和完成了国防预研项目、科技部863项目及工信部

04 数控重大专项等多项国家级搅拌摩擦焊技术和装备的研究课题。通过航空基金项目以及型号攻关项目的开发,使搅拌摩擦焊技术的发展能够与国家级别的型号和项目需求相一致,为搅拌摩擦焊技术的发展注入了不竭动力,保持了搅拌摩擦焊技术的新颖性、先进性和创新性发展能力。

同时,公司还利用我国武器型号装备搅拌摩擦焊技术工程化应用开发的契机,投资 5200 万元国家技术改造和研究保障经费以及 2500 万元企业自有资金,建立了由 20 多台各种先进搅拌摩擦焊设备组成的技术研发中心,如图 1 所示。这个搅拌摩擦焊研发中心拥有多台世界级别的搅拌摩擦焊装备,所涉及的搅拌摩擦焊技术包括普通搅拌摩擦焊、双轴肩搅拌摩擦焊、静轴肩搅拌摩擦焊、搅拌摩擦点焊等。2013 年,公司还研制成功了我国首台机器人搅拌摩擦焊接系统,成立了“机器人搅拌摩擦焊工程中心”。迄今,公司已经建成了具有世界先进水平的综合性搅拌摩擦焊技术开发平台。

通过这个具有世界先进水平的搅拌摩擦焊技术平台,能够直接将新型的搅拌摩擦焊技术推广到中国的尖端工业制造领域,目前已经取得了 18 项搅拌摩擦焊专利、4 项搅拌摩擦焊技术标准、9 项各级技术成果奖励,大力促进了搅拌摩擦焊技术在中国的再发展。

大力提升我国交通运输工具焊接技术水平

在技术创新发展的同时,积极开发先进的工艺装备研制工作,将“技术优势”转化为“制造能力”,才能实现新技术的价值。所以,自 2003 年以来,在中国搅拌摩擦焊技术中心的指引下,中航工业北京赛福斯特技术有限公司特别注重专业化的搅拌摩擦焊技术装备的开发。到 2014 年,

公司已经自主开发并向客户交付了 126 台套的个性化数控搅拌摩擦焊装备系统,填补了国内大型尖端自动化焊接装备的空白,满足了中国航空、航天、舰船、电子、兵器等工业制造的需求,大力促进了搅拌摩擦焊技术在中国军工武器系统的推广应用,直接提升了我国先进交通运输工具焊接技术水平。

目前,中航工业北京赛福斯特技术有限公司正在针对搅拌摩擦焊技术在航天大直径运载火箭筒体结构、大飞机机身结构、货舱地板结构、新一代战斗机舱体和机翼结构、新型舰体结构等进行进一步的搅拌摩擦焊工程化应用开发和技术攻关研究。可以预见,随着中国搅拌摩擦焊技术的研究开发、工程化应用和装备制造快速发展,搅拌摩擦焊技术在国家级的航空、航天重大项目中的应用将会越来越广泛,发挥的作用也会越来越大。

在航天制造领域,搅拌摩擦焊技术在空间运载工具和导弹类产品的生产装配、制造成本、重量和质量中同样具有诸多的优越性,并且首先在美国的波音和洛克希德·马丁等公司得到成功应用。近几年,在中国搅拌摩擦焊中心的大力宣传和努力下,

搅拌摩擦焊在中国航天制造领域也得到了普遍的认同和接受,并且逐渐取代传统的熔焊工艺,成为航天产品的主导连接技术。截至 2014 年 6 月,赛福斯特公司已针对航天工业需求,开发了 6 个系列近 20 多台套的大型搅拌摩擦焊设备;所焊接的筒体直径范围从 300~5000mm 不等,厚度范围为 3~40mm;合作客户包括湖北三江航天集团红阳机械厂、南京晨光集团、上海航天设备制造总厂、上海航天精密机械研究所、首都航天机械公司、航天科技集团长征机械厂等。迄今,北京赛福斯特技术有限公司已为航天客户提供了系统的搅拌摩擦焊工艺技术、专业化的焊接装备以及完整的质量控制等解决方案,直接促进了中国航天企业焊接技术的更新换代和焊接能力的发展。

图 2 为中航工业北京赛福斯特技术有限公司 2014 年为航天科工集团 283 厂研制的中国焊接能力最大的重型搅拌摩擦焊装备,该装备可以实现单面 50mm、双面 100mm 厚度的高强度铝合金产品搅拌摩擦焊接,可以实现焊接轴肩和搅拌针的旋转速度、方向和载荷的独立控制,从而保证了铝合金厚板结构产品的焊接温度的梯度和焊接压力的均匀。该设



图1 具有国际先进水平的搅拌摩擦焊技术开发平台
(左1: 机器人搅拌摩擦焊系统; 中: 动龙门搅拌摩擦点焊设备;
右1: 高精度空间曲线搅拌摩擦焊设备)

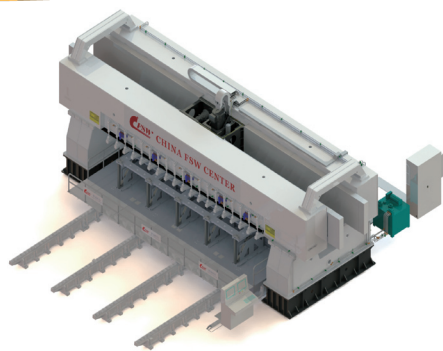


图2 中国焊接能力最大的重型搅拌摩擦焊设备

备是目前世界上最先进的搅拌摩擦焊装备之一。

在航空制造领域,搅拌摩擦焊技术可以应用于飞机机身、机翼、地板、口盖等结构中。自2008年开始,中航工业北京赛福斯特技术有限公司开展了一系列针对飞机结构和材料的搅拌摩擦焊技术攻关。在预先进制造技术预先研究课题中,承担了飞机薄壁结构产品搅拌摩擦焊技术研究;在工信部04数控重大专项中,承担了“搅拌摩擦点焊技术和装备”项目的研发。通过系列化的研究开发,目前已经掌握了飞机高强铝合金材料、飞机薄壁带筋加强搭接结构、复杂型面飞机地板结构、飞机空间3D结构的搅拌摩擦焊工艺技术。这些新技术为我国新型飞机研制、实现飞机整体化制造提供了新的途径。

在船舶制造领域,随着中国海洋领土意识的增强,海军舰船装备也得到了很好地发展,并且很多先进的舰船都采用了轻质铝合金材料。2006年,中航工业北京赛福斯特技术有限公司自主研发成功了中国第一台船舶带筋壁板搅拌摩擦焊设备,该设备可以焊接长度12m、宽度6m、厚度12mm的铝合金带筋壁板,满足了中国海军新型导弹快艇的研制需求(如图3所示),并且还在后续的新型海军型号产品中推广应用了搅拌摩擦焊船舶带筋壁板产品,目前已经累计生产使用1600余

吨铝合金结构件。

在轨道交通领域,北京赛福斯特技术有限公司在国内率先与北车长客厂、南车青岛四方车辆厂、南车株洲电力机车有限公司等公司合作,针对地铁、轻轨以及高铁等铝合金列车结构产品进行了搅拌摩擦焊工艺技术研发。自2009年开始,赛福斯特公司先后为多家列车制造企业提供了10多套专业化的搅拌摩擦焊设备。其中,为南车株洲电力机车有限公司研制的搅拌摩擦焊设备焊接长度达到52m(国内最长),并建立了列车侧墙、地板结构中空的铝合金产品搅拌摩擦焊生产线,直接促进了搅拌摩擦焊技术在列车行业的应用,使中国轨道列车产品的焊接技术达到了国际先进水平。2013年,北京赛福斯特技术有限公司

为重庆SAPA公司研制了13m长的运煤货车车体结构搅拌摩擦焊产品。图4为2013年中航工业赛福斯特公司为南车浦镇车辆厂制造的焊接长度为26m的列车结构产品搅拌摩擦焊设备。

在汽车制造领域,搅拌摩擦焊应用起步较晚。中航工业赛福斯特公司从2006年开始将搅拌摩擦焊技术应用于铝合金汽车轮毂、空调压缩机、铝合金车体等结构产品上,并为客户研制了专业化的搅拌摩擦焊装备,如2010年为德国客户开发了汽车电池托盘搅拌摩擦焊设备。2013年,赛福斯特公司与国内富士康公司合作,成功开发了电动汽车电池壳体的搅拌摩擦焊产品(如图5所示),2014年又研发成功奔驰电动汽车地板的搅拌摩擦焊产品。



图3 中国最先进的022新型穿浪隐身导弹快艇



图4 26m长的列车地板搅拌摩擦焊设备



图5 搅拌摩擦焊接的电动汽车电池壳体

搅拌摩擦焊的发展要融入国际市场

搅拌摩擦焊技术发明于英国,目前已在多个国家的制造领域得到广泛关注,因而它在中国的发展必然要走国际化的道路,并要融入国际市场。鉴于搅拌摩擦焊技术的特点及发展情况,并结合公司目前的发展规模及战略定位,必须确保发挥中国搅拌摩擦焊先锋的作用,在国际化发展方面继续加强在国际媒体和平台上对赛福斯特品牌的宣传,进一步加强国际学术交流与技术合作,提高搅拌摩擦焊技术水平,借助国内人力、材料和制造成本优势及公司具有的独特的搅拌摩擦焊技术优势,依靠具有竞争力的高技术装备产品快速进入国际市场;同时还要加强与国外知名制造企业的合作,整合技术和制造资源,实现优势互补,共同服务于全球工业制造业。

2007年,北京赛福斯特技术有限公司在国内首先实现零的突破,成功为新加坡某客户完成了首台搅拌摩擦焊设备的出口交付。该出口设备是一台用于船舶及列车制造行业

的铝合金型材搅拌摩擦焊设备,可以拼接长度12m、宽度6m的带筋铝合金型材板。设备交付前,国外客户公司派员到北京对搅拌摩擦焊设备进行了出厂验收。客户对中国能够研制出如此先进的搅拌摩擦焊接设备非常惊奇,并从设计造型、功能、控制先进性和可靠性等方面给予了高度评价。该设备完全可以和欧美公司的同类设备产品相媲美。

为了进一步开拓国际市场,北京赛福斯特技术有限公司积极与英国、法国、德国等国外公司合作,建立搅拌摩擦焊设备销售网络,迄今已经为欧洲的斯洛伐克、法国、英国、德国等国外公司生产了多台数控搅拌摩擦焊装备,如2009年为斯洛伐克交付了钢合金搅拌摩擦焊设备,2010年为德国本特勒公司交付了两台全自动化的电动汽车托盘搅拌摩擦焊设备(如图6所示),该设备取得了欧盟CE认证,在性能、质量和自动化程度上达到了德国工厂的要求,是中国首台自主知识产权的出口欧洲的全自动化焊接装备,为“中国制造”赢得了荣誉。

在设备走出国门的同时,中国研制的搅拌摩擦焊工具也达到了世界先进水平。自2009年开始,北京赛福斯特技术有限公司研制的系列化的搅拌摩擦焊工具已经远销英国、法

国、德国、韩国、印度、西班牙、南非、美国和巴西等国家,其中对欧洲国家的出口已经达到百万元级别。

利用科学发展观继续推进搅拌摩擦焊的发展

搅拌摩擦焊技术在国内已经得到迅速发展,并且在工业制造领域得到了广泛应用。但是,我们必须认识到,越是基本的制造方法对制造业的影响范围越大、持续时间越长、作用力越强。搅拌摩擦焊作为一种基本的、新型的轻合金连接方法,将会对现代制造业领域产生革命性的影响。但是要使这种连接新方法在中国得到进一步的发展和广泛的应用,并使之转化为市场化的工业产品的制造能力,提升中国制造产品的品质,还需要以科学发展观来引领和推动搅拌摩擦焊技术的进一步研究与发展。

首先,搅拌摩擦焊的发展要适应中国国情,并把握技术内在发展趋势,在尊重搅拌摩擦焊发明专利知识产权的基础上,加强基础技术的探索性研究,加强专业化技术人才的培养。搅拌摩擦焊在世界舞台上亮相已经有近20年的时间,并且逐渐由方法研究、机理探索、工程化开发等阶段进入工业化应用阶段。现阶段我国制造业对搅拌摩擦焊



图6 出口德国的全自动化搅拌摩擦焊设备

技术需求强烈,但是能够支持搅拌摩擦焊在国家级重大工程项目中应用的性能数据、技术条件、标准、装备和人才极其缺乏。尽管北京赛福斯特技术有限公司(中国搅拌摩擦焊中心)一枝独秀,在搅拌摩擦焊技术的研究、工程化开发、装备制造等方面全面发展,但是毕竟在资金、人力、研究条件等方面资源有限。面对一项革命性的技术,还需要发挥国家和社会的力量,鼓励和支持国内科研院所共同参与搅拌摩擦焊的基础技术和方法研究,促进搅拌摩擦焊基础技术的了解和掌握,并且培养出一定数量的专业化研究人员和工程技术人员。

第二,搅拌摩擦焊的发展要加强核心技术的创新性发展。搅拌摩擦焊是一种多学科集成的新技术,涉及摩擦学、材料学、工程学、金属冶金、塑性加工和焊接等基础科学和工程科学。搅拌摩擦焊作为一种多学科交汇的新方法,可以发展出纵缝焊、环缝焊、无钥孔焊接、变截面焊接、自支撑双面焊接、空间3D曲线焊、搅拌摩擦点焊、回填式点焊、搅拌摩擦焊表面改性处理、搅拌摩擦焊超塑性材料加工等多种连接和加工方法和技术。这些新方法的发明和发展都需要研究人员和技术人员具有创新性和突破式的思维与观念。

国家提出在未来20年内建立创新性国家的发展战略,但是一个国家和民族的创新性不仅仅表现在几个标志性的重大工程上,更重要地体现在原创性方法的发明和创造中。中国搅拌摩擦焊中心肩负着引领搅拌摩擦焊技术在中国发展的责任,因此一定要重视搅拌摩擦焊核心技术的开发和研究,加大新技术的研发力度。

第三,要重视搅拌摩擦焊装备的发展。装备是技术的载体,也是实现技术价值和转化为生产力的手段和途径。要利用新的技术提升产品的

质量和生产效率,就必须研发和制造先进的装备。

在中国搅拌摩擦焊中心,搅拌摩擦焊技术的研究和搅拌摩擦焊设备的开发一直以来都受到重视。依靠北京航空制造工程研究所50年来在中国航空航天工业领域制造技术和装备的技术积累和底蕴,中国搅拌摩擦焊中心有信心为中国企业提供先进可靠的搅拌摩擦焊装备。迄今已经开发成功适合应用于不同工业领域的龙门式、悬臂式、台式、卧式等多个系列的搅拌摩擦焊专机设备,具有数控、柔性、可靠等特点。在装备方面,中国搅拌摩擦焊中心还针对搅拌摩擦焊的民用工业领域,推广研发了低成本的通用型搅拌摩擦焊设备,针对船舶、列车研制了宽幅型材壁板搅拌摩擦焊设备,针对汽车工业正在开发机器人搅拌摩擦焊设备等。

第四,搅拌摩擦焊的发展要以市场为导向,以国家重大项目为突破口,广开合作之门,联合国内外优势科研院所,全面实现搅拌摩擦焊技术的工程化应用。经过近几年的工程化开发,中国搅拌摩擦焊技术日渐成熟,对该技术的宣传和认识也越来越深。能够在国家级的重大项目中得到工程化应用是搅拌摩擦焊技术标志性的发展。中国搅拌摩擦焊中心与国内的科研院所,尤其是设计院所和主机厂紧密合作,参与和承担了国家大飞机项目、新一代运载火箭项目、新型舰艇项目的技术开发和部分装机零部件的研制任务。这些重大项目的需求牵引,提升了搅拌摩擦焊技术的水平,推进了搅拌摩擦焊技术的工程化发展。

第五,搅拌摩擦焊的发展要以批量化生产制造为手段,以产业化和工业化为目标,结合鼓励性政策支持,全力推进搅拌摩擦焊在轻金属材料连接领域的应用,提升我国铝、镁、

铜、钛合金等金属材料的制造技术水平和质量。

作为制造大国,对铝、镁、铜、钛等轻合金材料需求旺盛,搅拌摩擦焊作为针对这些轻合金材料最先进的连接技术,可以提升产品的质量和生产效率,降低制造成本和能源消耗,属于绿色、环保和宜人化的制造技术。但是搅拌摩擦焊设备的成本较高,在2015年以前使用该技术进行工业产品制造又受到专利许可的限制,这些因素制约了搅拌摩擦焊技术在中国的推广和应用,需要国家针对搅拌摩擦焊这样涉及范围较广的先进制造技术制定相关鼓励性政策,如给予贷款和财政补贴等,支持中小工业企业应用搅拌摩擦焊技术进行产品制造。同时,中国搅拌摩擦焊中心也在积极推动搅拌摩擦焊在中国的推广应用,制定了在中国范围内根据区域发展特点、建立数个区域性的搅拌摩擦焊工业产品制造中心的发展策略。这可以解决专利、资金、运输等问题,促进该技术在国家产业结构调整和优化过程中的大发展。

搅拌摩擦焊技术已经逐渐应用于工业企业的生产制造,并融入我们的生活。应该把握搅拌摩擦焊技术的发展趋势,预见这项技术的前景,用科学发展观推动和引领这项技术在中国的发展,缩短和西方先进国家在制造技术上的差别。

结束语

促进搅拌摩擦焊技术的进一步发展,推动它在中国工业制造领域的广泛应用是时代赋予我们这一代工程技术人员的使命与责任。时代要求我们要满怀信心,勇于担当。

我国要发展成为制造强国和要创新性国家,在中国搅拌摩擦焊技术发展的晨曦中我们看到了希望的光芒。

(责编 谷雨)