摩擦焊技术发展与展望

哈尔滨焊接研究所摩擦焊项目组（黑龙江 150080）周 君

摘要：就摩擦焊技术在国内的发展及应用状况作综合叙述，在回顾我国摩擦焊技术研究和开发现状的同时，指出了我国未来5～10年摩擦焊技术发展的方向和目标。

一、概述

利用摩擦热焊接起源于一百多年前，此后经半个多世纪的研究发展，摩擦焊技术才逐渐成熟起来，并进入推广应用阶段。自从20世纪50年代摩擦焊真正焊出合格焊接接头以来，就以其优质、高效、低耗、环保的突出优点而受到所有工业强国的重视。我国的摩擦焊研究始于1957年，发祥地是哈尔滨焊接研究所，同时也是世界上最早开展摩擦焊研究的几个国家之一，48年来取得了很多引人注目的成果。

摩擦焊技术的主要优点归结为如下几个方面：

（1）接头质量好且稳定 焊接过程由机器控制，参数设定后容易监控，重复性好，不依赖于操作人员的技术水平和工作态度。焊接过程不发生熔化，属固相热压焊，接头为锻造组织，因此焊缝不会出现气孔、偏析、夹杂及裂纹等铸造组织的结晶缺陷，焊接接头强度远大于熔焊、钎焊的强度，达到甚至超过母材的强度。

（2）效率高 对焊件准备通常要求不高，焊接设备容易自动化，可在流水线上生产。每件焊接时间以秒计，一般只需几秒至几十秒，是其他焊接方法如熔焊、钎焊不能相比的。

（3）节能、节材、低耗 所需功率仅是传统焊接工艺的1/5～1/15，不需焊条、焊剂、钎料和保护气体，不需填加金属，也不需消耗电极。

（4）焊接性好 特别适合异种材料的焊接，与其他焊接方法相比，摩擦焊有着得天独厚的优势，如钢和纯铜、钢和铝、钢和黄铜等异种金属的焊接。

（5）环保、无污染 焊接过程不产生烟尘或有害气体，不产生飞溅，没有孤光和火花，没有放射线。

基于以上优点，摩擦焊技术被誉为未来的绿色焊接技术。

二、摩擦焊技术的发展及应用现状

经过几十年的发展，摩擦焊技术在国内目前已经具备了包括工艺、设备、控制及检验等整套完备的专业技术规模，并且在基础理论研究上也形成了一定的独立体系。

1．摩擦焊工艺研究与应用

目前我国摩擦焊技术的应用比较广泛，可焊接ϕ3.0～ϕ120mm的工件及8000mm^{2}的大截面管件，同时还开发了相位焊和径向摩擦焊技术，以及搅拌摩擦焊技术。不仅可焊接钢、铝、铜，而且还成功焊接了高温强度级相差很大的异种钢和异种金属，以及形成低熔点共晶和脆性化合物的异种金属，如高速钢-碳钢、耐热钢-低合金钢、高温合金-合金钢、不锈钢-低碳钢、不锈钢-电磁铁，以及铝-铜、铝-钢等。近年来，随着我国航空航天事业的发展，也加速了摩擦焊技术向这些领域的渗透，进行了航空发动机转子、起落架结构件、紧固件等材料（Ln718 Ti17 300M GH159 GH4169），以及金属与陶瓷、复合材料、粉末高温合金的摩擦焊工艺试验研究。某些电工材料的钎焊工艺也开始用摩擦焊接所取代，如电磁铁-不锈钢、钨铜合金等。

目前我国采用摩擦焊接方法焊接的产品有：锅炉行业的蛇形管摩擦焊接，阀门行业的阀门法兰和阀体密封座的摩擦焊接，轴瓦行业的止推边轴瓦的摩擦焊接，工具行业的钻头、铣刀、铰刀的刃部与柄部的摩擦焊接，汽车及机车行业发动机的双金属排气阀、气门顶杆，柴油机预热室喷嘴、半轴、扭力管，内燃机增压器涡轮轴，潜水电泵转轴，纯铜不锈钢水接头、铝铜过渡接头，纺织机梭子芯，关节轴承，泥瓦工具，地质钻杆，石油钻杆、实心、空心抽油杆，航空发动机集成齿轮及木工多用机床上的刀轴等。

2．理论研究及工程应用

我国科技人员对摩擦焊接表面高温塑性金属层的形成、流动、扩展和焊接接头形成机理，摩擦焊接的能量转换及过程控制，大截面石油钻杆摩擦焊接工艺和强韧性控制，摩擦焊接接头灰斑缺陷形成机制及焊接接头断口形貌与断裂应变，铝-铜薄壁管摩擦焊接机理与接头性能和焊缝化合物相形成机制，以及金属的超塑性摩擦焊等方面都进行了较深入的基础理论研究。

在工程应用上，针对急待解决的一系列问题开展了摩擦焊技术研究的课题。其中摩擦焊接头形变热处理的工艺试验研究是一项有代表性的应用科学研究工作，这项研究率先在摩擦焊领域中引入形变强化与相变强化相结合，通过改变传统的连续驱动摩擦焊过程，把焊接工艺同焊后热处理工艺实行工序兼并，利用焊接余热和刹车能耗在摩擦焊机上直接对摩擦焊接头进行形变热处理。机上配备的热处理装置可更有效地实现相变条件的控制，这样就可以把摩擦焊过程中高温形变引入的大量位错等用淬火相变牢固地钉扎住，充分发挥形变强化与相变强化的双重作用，取得以往用单一方法不能达到的强韧化效果，实现了在不降低接头强度的前提下，韧性超过调质母材的水平。这项技术不仅提高了摩擦焊焊接质量，而且简化了工艺，减少了焊后热处理的加热次数，降低了生产成本。

该项研究成果处于世界领先地位，目前在抽油杆、油管的生产和钻杆的修复上进行了推广应用。为控制铝-铜过渡接头脆性层的产生，还研究了低温摩擦焊并应用于生产。近年来对超塑性温度范围内相变温度以下摩擦焊进行了研究，并取得了阶段性成果；在焊接质量监控方面，先后研制了摩擦焊功率极值控制仪及微机质量监控装置。微机质量监控装置是对焊接过程的轴向压力、主轴转速、摩擦扭矩、焊件轴向缩短量、时间、焊接温度及形变热处理温度等影响焊接接头质量的主要参数的变化进行监控。在新材料的焊接性，摩擦焊接信息过程与传感技术，摩擦焊接参数计算和实时监测与闭环控制，摩擦焊缝缺陷形成机制与力学行为，摩擦焊接头强韧性控制，摩擦焊接物理参量场（温度场，应力应变场）数值模拟，以及高速摄影、频谱分析、摩擦焊缝无损检测等相关试验技术方面也开展了较系统深入的研究工作。

近几年来，搅拌摩擦焊技术也引起了我国科技工作者的高度重视，先后开展了对铝合金（如防锈铝、锻铝、硬铝、超硬铝等）、纯铜、PVC塑料等材料的搅拌摩擦焊研究；同时还在积极开展钛合金、镁合金和黑色金属的搅拌摩擦焊工艺研究。另外，还对搅拌摩擦焊的机理、微观组织、力学性能和搅拌摩擦焊的核心技术搅拌头等都展开了深入的研究，并取得了一定的工程应用。

3．摩擦焊机的生产与相关技术

我国现有700余台摩擦焊机在生产中应用，绝大部分是连续驱动摩擦焊机。近年来由于加强了与德国KUKA、日东株氏会社、美国MTI公司等摩擦焊机制造公司的交流与引进样机，国产焊机先后采用了液压马达驱动的主轴系统、串联轴承组-平衡油缸液力平衡旋转活塞、多片式粉末冶金涂层离合器、滚动导轨和可编程序控制器（PLC）控制等多项先进技术，使摩擦焊机制造水平有了较大的提高。

随着实际生产的需求，国内对于其他形式的摩擦焊机也进行了研制，如长春数控机床有限公司研制了小吨位的惯性焊机、相位摩擦焊机；哈尔滨焊接研究所研制的具有形变热处理功能带机上淬火装置，以及自动去飞边装置的混合式摩擦焊机、频调速相位摩擦焊机。哈尔滨量具刃具厂研制了20t双头摩擦焊机；中国兵器工业第五九研究所研制的小吨位径向摩擦焊机；北京赛福斯特技术有限公司研制的系列搅拌摩擦焊机等，这些焊机有的技术指标和制造水平已达到或接近国外同类焊机的水平。

面对国内市场的需要，摩擦焊机的生产也在向系列化方向发展，目前国内生产的焊机最大吨位是1250kN，最小是5kN。总之，在国内的焊机系列中，变型少，品种也比较单一，还没有巨型机和微型机。与焊机相配套的去飞边装置、自动上下料装置、焊后热处理及无损检测装置等虽有不同的类型，但是这些还比较专业化，没有形成标准通用的系列，还有待不断的完善。目前，我国也有了自己的摩擦焊机行业标准，随着制造技术的提高，这个标准还有待向较高水平方向修订。

三、摩擦焊技术的发展趋势与展望

我国摩擦焊技术的发展现状还很不适应国民经济高速发展的需要，今后5~10年内我国的摩擦焊工作者还要在材料的焊接性、摩擦焊的焊接方法、摩擦焊设备和摩擦焊的应用领域展开更加深入的研究。

1．拓宽摩擦焊材料的焊接性研究

主要瞄准那些难以熔焊的及新兴的焊接材料的焊接，如钛合金与不锈钢的摩擦焊接、钛与铝的摩擦焊接、纯钛与纯铜的摩擦焊接、高熔点材料的摩擦焊接、轻金属的摩擦焊接、粉末合金材料的摩擦焊接、新兴材料的摩擦焊接、铸造合金的摩擦焊接及钢材与活性金属的摩擦焊接等材料的摩擦焊接性研究。同时还要对材料摩擦焊接物理、化学、力学冶金的基础理论进一步深入研究，拓宽摩擦焊可焊材料领域。

2．摩擦焊方法的研究趋势

今后5~10年要加大力度开发一些新的摩擦焊方法，逐步完善并扩大其应用范围。

(1) 相位摩擦焊　可实现有相位要求的工件的摩擦焊接，扩大了摩擦焊的应用领域。目前生产中对如六方形断面的零件、八方钢、汽车操作杆、花键轴、拨叉及两端带法兰的轴等均要求采用相位摩擦焊。在电控技术和机械技术高度发展的前提下，为大吨位相位摩擦焊机的研制提供了可能。

(2) 线性摩擦焊　线性摩擦焊技术，是两个工件以一定的频率和振幅进行往复运动产生热量进行的焊接，它可以将方形、圆形、多边形截面的金属或塑性材料焊接在一起，也可以焊接更不规则截面的构件，如叶片与涡轮等。以后，还要深入开展线性摩擦焊机原理、振动系统动力学等的研究，为研制大吨位的线性摩擦焊机作准备。

(3) 径向摩擦焊　径向摩擦焊由于引入中间旋转加压圆环，不仅改变了摩擦面的方向，焊件也由相对旋转加压变为相对固定加压，因此非常适合于长管子的焊接，同时它还可以把薄壁环焊接到圆柱体外壁上。今后，要加强径向摩擦焊机理和瞬间大流量液压系统的研究，为大吨位径向摩擦焊机的研制奠定理论基础。

(4) 搅拌摩擦焊　搅拌摩擦焊技术是1991年英国焊接研究所发明的固相连接技术，它在航空航天、船舶、海洋工业、武器装备，以及高速列车等领域的轻结构制造中的应用研究得到广泛开展；同时也引起了我国科技工作者的高度重视，先后开展了一些搅拌摩擦焊的研究工作。今后要对搅拌摩擦焊的机理、微观组织、力学性能和搅拌摩擦焊的核心技术搅拌头等展开更加深入的研究。拓展搅拌摩擦焊的材料焊接范围，特别是要加强异种材料搅拌摩擦的研究，进一步扩大搅拌摩擦焊的工程应用。另外，还要对摩擦堆焊、第三体摩擦焊和嵌入摩擦焊开展研究。

3．摩擦焊设备与工程应用的研发方向

随着摩擦焊技术的广泛应用，摩擦焊设备也得到了迅速的发展，2000年不完全统计，全世界共有5000多台摩擦焊机用于焊接生产。

为适应大型和特殊部件的摩擦焊接，要研制我国的大型和微型的摩擦焊机。为适应特种用途还要开发惯性摩擦焊、径向摩擦焊、搅拌摩擦焊、双头摩擦焊、立式摩擦焊，以及水下摩擦焊等多种、特种摩擦焊机。在制造及监控技术方面，要本着柔性和自动化来设计，焊机可附加很多自动化设备和加工装置，从而创造出一个高度柔性和自动化的完整系统，以适应用户的各种需求。为强化焊接过程质量保证，除了进行时间控制、变形量控制、能量控制外，还要开发特殊过程控制技术，如摩擦扭矩和声发射监控技术等。

为了适应焊接生产的自动化要求，要加强相关技术及外围设备的研究：如不同类型的去飞边装置、机器人或其他上下料装置、热处理及无损检验技术，工件可在焊前或焊后在焊机上进行机加工，有的甚至可进行CNC加工，使之在生产线上可靠运行。另外，还可与柔性制造系统（FMS）配合使用。

今后汽车工业将成为摩擦焊最具活力的市场，使用摩擦焊焊接的零部件有涡轮增压器，安全气囊的增压泵，变速器和齿轮箱的驱动轴、后桥、排气阀及气动制动用凸轮等。在工程机械方面，摩擦焊主要用来焊接液压传动部件，如液压缸、活塞杆，尤其是法兰与阀体的焊接。另外，在履带支重轮、减震器和齿轮泵转子制造中，也可以采用摩擦焊。

四、结语

纵观国内外摩擦焊技术的发展现状，我国与国际先进水平相比还有很大差距。目前，摩擦焊技术在国内的研究开发、推广应用的工作还不能满足国民经济飞速发展的需要，面对国内市场的需求，国际竞争的日益激烈，我国广大摩擦焊科技工作者任重道远。为适应我国科技发展的需求和缩短同国外同类产品的差距，我们应在实现摩擦焊技术自身发展的同时，加强同其他学科与边缘学科的结合。愿我们携起手来，用我们不懈的努力托起我国摩擦焊技术发展的今天与未来！

(20060128)