

焊接工程及产业的发展趋势

西南交通大学焊接研究所 (四川成都 610031) 王元良

现在,我国不仅是世界机械制造业大国,也是一个钢结构制造业大国。2004年,我国用钢量达3.1亿t(包括国产和进口),其中1.6亿t用于焊接结构,占用钢量的51%(欧美等发达国家占60%)。根据有关调查,机械制造业焊接结构用钢占用钢量45%左右,而金属结构制造业要占用钢量90%左右,是机械制造、汽车、造船、铁道、家电、石油化工和集装箱等行业用钢量的2倍。但至今我国焊接结构产品大多属于高消耗、低附加值产品,很多产品处于产业链的低端。一些高端产品关键技术和主要设备受制于人,例如高端的焊接设备、特殊性能的焊接结构材料及焊接材料、重要焊接结构的很多新型焊接技术还依赖于进口。

传统的焊接结构工业是一个大量耗能、耗材、工作环境差和自动化程度低的行业。因此,用新能源、信息化和自动化技术来改造传统产业和学科是一个必然的发展趋势,在实现新型工业化、建设节约型社会及和谐社会中显得十分重要。

一、焊接工程及产业的发展

目前,焊接已由一个单一的加工工艺发展成为有科学基础、广泛应用范围和前景的焊接工程与焊接产业。在这些产业中,焊接占有重要地位,是决定其产品使用安全的关键。焊接结构的质量和安全保证在整体结构设计合理的情况下,主要决定于焊接联结部位的结构、材料匹配、工艺设计、先进的焊接制造工艺及设备 and 准确的无损检测技术。这也决定了焊接联结部位的内在和外观质量,从而形成了各具特色的焊接结构行业,形成了结构焊接需要的焊接设备和焊接材料行业。当然,焊接结构已有日新月异的发展:在装备制造业结构中,用焊接结构局部或全部代替铸件或锻件结构和由局部铸件或锻

件焊接成组合结构是大、重型结构发展的方向,不但可大大节约大型铸锻车间及其设备的基本建设投资和生产过程的能源消费,同时还可缩短生产周期;在各种建筑行业广泛采用钢质焊接结构代替钢筋混凝土结构,具有可达到跨度大、重量轻、设计优、工程在建周期短,以及环境污染少、基础费用省和拆除后材料可循环使用等优点,因而符合目前绿色制造和资源循环利用,建设节约型社会的大潮流。目前,我国微电子及IT行业中的发展,高强有色金属、光纤、超导和复合材料及高分子材料的应用,都对焊接工艺、设备和材料提出了很多新的要求,因而得到了相应发展。

我国在计划经济时代,焊接结构、焊接材料和焊接设备企业分属各工业部,条块分割,互不通气,而国外冶金企业有专门研究焊接性能和焊接强度的部门,研究开发焊接结构用钢,为用户提供全套资料和配套的焊接材料,为用户使用创造了良好条件。国外的钢结构企业往往生产各种焊接结构、焊接设备和焊接材料很多是在一个公司生产,如英国焊接合金有限公司和美国林肯焊接设备公司就同时提供多功能组合式自动焊机和相应的药芯焊丝。目前,虽然国内焊接结构生产也有综合化的趋势,如桥梁厂造龙门起重机,造船厂和桥机厂也造桥,但焊接设备和材料的产业还处在分割的状态。因此,如何把焊接结构、焊接材料和焊接设备以市场为导向,以信息化为核心,形成产业链,相互依存配合和合作,共同发展,是一个急待解决的问题。

二、焊接与切割新能源的应用

我国是一个能源消耗大国,焊接行业又是一个耗能大户,因此采用新能源焊接及切割以便节能就显得十分重要。电弧焊采用IGBT逆变电源已有较多的推广,起

到了很大的节能效果。但是,埋弧焊等大功率电源应用才刚开始,接触焊电源、等离子电源、热喷涂电源还有待开发和应用发展,而逆变电源加速焊机本身及其焊接过程控制的数字化、智能化和精密化;氧乙炔火焰气焊、气压焊、喷涂和切割看起来耗能很少,但所用电石却是一种耗能很大的产品,如推广氢氧切割可起到节能和环保的效果,目前已有用IGBT逆变电源电解水的有氢氧切割设备,但还较少推广应用;高压水切割是一种节能新技术,现已有研究开发和应用;高能束(激光、电子束和离子束)和超声波焊接也节能,但目前还只在一些特殊情况下使用;摩擦焊是一种非常节能的焊接方法,但应用不多,只能用于杆管件焊接;搅拌摩擦焊是一种很新的焊接方法,可用于各种接头焊接,但目前还仅限于有色金属的焊接,如能提高摩擦头的强韧性,可望推广到钢材的焊接;爆炸焊接也是一种很好的节能工艺,特别是用于管道和复合板的焊接;太阳能焊接还未见应用。

由此可见,焊接领域往往是一些新能源和新技术应用的先驱,而且由此带来的是焊接方法、工艺和设备的巨大进步,使焊接结构达到优质、高效、节能和节材,甚至解决一些新材料和新构件难以解决的焊接问题。

三、提高焊接质量和效率的主要途径

不同热源对焊接部位加热加压结合或焊接部位在一定保护情况下熔化结晶结合,以手工、半自动或自动方法形成焊接接头,其不同组合可形成几十或上百种焊接方法,就需要相应的焊接设备。焊接电源或能源设备的多头化、脉冲化、数字化、精密化控制可实现多头焊、多弧焊、多丝焊、脉冲焊和熔滴过渡控制等,可提高热效率和能量利用率,可在保证优质的条件下提高焊接效率和节约能源。以我们用常用电流的多种焊接方法比较,手工焊/细单丝焊/细双丝填丝焊/细双丝双弧焊/细双丝三弧焊的生产率比为1/1.6/2.4/2.8/3.1,其能量利用率为1/1.6/1.9/1.8/2。

有资料表明,双丝填丝MIG气保护焊时其生产率提高得更多,比单丝焊时提高二倍。按不同工件需要不同能源组合(如热丝TIG焊、TIG-MIG焊、激光-MIG焊、预热填丝CO₂气保护焊等)也可大幅度地提高焊接效率和节约能源。焊接过程自动化、智能化和组装焊接一体化是目前提高质量和生产率的主要途径,这就依赖于计算机和信息化技术的支持,发展一些特殊焊接设备及专用工艺装备。目前,这些方面我国与国外还有很大

差距。另一方面,生产过程的信息传输和管理,进一步的深化是将设计—放样—下料—焊接综合一体化,是整个焊接结构制造过程优质、高效、节能、节材的重要方向。例如,钢管空间桁架钢桥、钢管相关线的人工画线、切割坡口和焊接,因其费工费料,而使质量难保证;再用FastFRAME空间网架计算软件,只要一两个工程师用设计接点单元数据输入信息,就可完成网架生成和管管件相关线的切割程序,然后用数控切割机下料和数控焊机焊接便可优质快速完成。

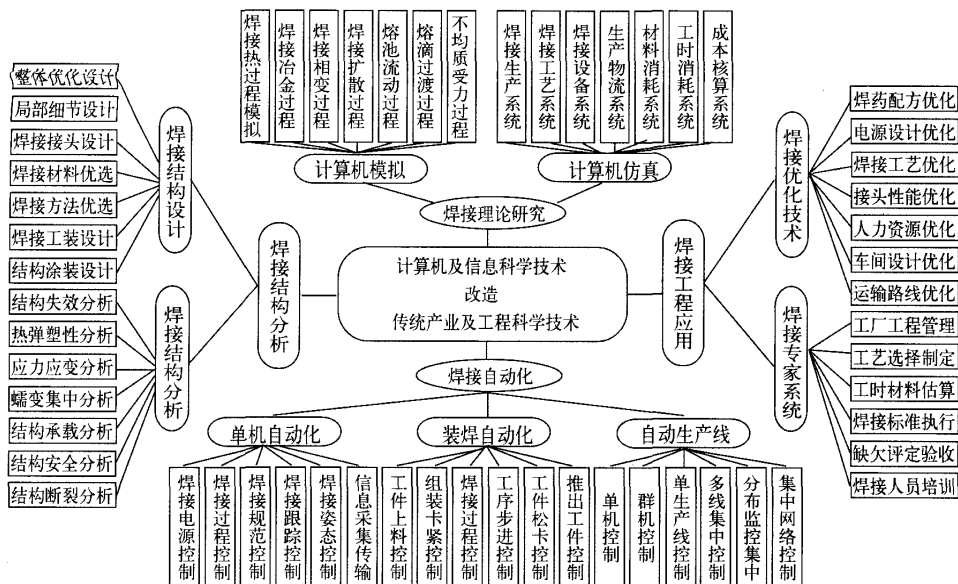
四、发展新型焊接材料的匹配与高效化

在熔化焊中,焊接材料与结构材料和焊接方法设备的匹配是决定焊缝内在质量的关键虽已为人所共知,但在对于提高生产率方面却一般不易理解。由于自动焊时可利用于伸长部分电阻热的贡献将粗丝焊改为细丝焊,便可显著提高效率和节约能量,如 $\phi 2\text{mm}$ 焊丝代 $\phi 5\text{mm}$ 焊丝,采用500A埋弧焊时效率可提高一倍,能将耗能降低70%。现在的气保护焊焊丝如直径在2mm以下,其效果就更加显著。

药芯焊丝焊接是近年来发展最快的焊接方法,能弥补CO₂焊接的很多不足,其特点是熔敷率高、熔深大、成形好、飞溅及气孔倾向小,而且在各种位置焊接时焊接电流和熔敷率变化不大,对发展全位置自动焊十分有利。药芯焊丝焊适合焊接各种钢材和铸铁的半自动焊和自动焊,其高效节能节材的效果也很明显。与常用的几种焊接方法比较,药芯焊丝焊/实芯焊丝气保护焊/手工焊的填充金属量比为1/1.3/2.7,焊材消耗比为1/1.1/3.6,作业时间比为1/1.2/1.1,电能消耗比为1/1/2。即使这样,我国应用还不是很普遍,亟待宣传推广,设备还有待配套。药芯焊丝的质量还有待提高,品种亟待扩充。

五、用计算机及信息科学技术改造传统产业及工程科学技术

用计算机及信息科学技术改造传统产业及工程科学技术是实现新型工业化的必经之路。焊接科学和焊接结构产业都是传统型的,但在应用高新技术和计算机及信息技术方面得到很快发展(见附图)。焊接技术的计算机仿真是利用物理或数学模型对实际系统进行试验研究,使焊接科学技术研究变为“理论—计算机模拟—生产应用”循环,使其分析逐步由定性到定量。计算机仿真则是对实际生产或工作系统的信息和数据建立数学模型、仿真



模型进行计算及试验达到其系统改进提高的目的。因此，计算机模拟及仿真是焊接科学与工程的研究和创新的重要基础。

焊接结构分析是焊接工程中计算机及信息科学技术应用最早的领域，主要是结构优化设计、结构材料及施工方案的优选、结构应力分布及应力集中的有限元分析、预防断裂及安全评定的有限元及断裂力学分析，这是提高焊接结构质量、水平和安全度的基础。

最优化技术是用计算机研究和解决在一切可能的方案中寻求最优方案的科学方法，实际上是根据一定数学模型和目标函数在一定约束条件下求极大极小问题，因而可广泛用于焊接工程很多方面，以达到优质、高效、节能和提高经济效益的目的。

焊接专家系统是利用已往专家的知识库，利用开发机通过与现场工程师人机对话来快捷地解决工程问题，最优化技术和专家系统是寻求最佳工程方案的最好手段。

焊接自动化是最直接、应用最广泛及投资最大的领域，是基于焊接科学与工程、焊结构设计与分析和焊接新技术采用的总和。高度自动化首先是根据某项任务，用高度的信息技术包括设计、生产和管理一体化的综合生产系统和计算机集成制造系统（CIMS），其中包括计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、工厂自动化（FA）和事务处理自动化（OA）等，充分利用计算机和信息产业的成果来完成自动化系统，对一个资金雄厚的大批量生产的高端产品

的企业不这样做就难以进入世界群强之林。但对大多数企业还必需采取适用新技术进行低成本自动化，即在关键工序采用单机自动化和专机自动化甚至焊接机器人，在非关键工序采用人力加机械组成生产线，同时尽可能的采用计算机信息技术及机电液一体化技术。

六、焊接技术人才的培养

目前，焊接已由单一的加工工艺发展成为有科学基础和应用前景广泛的焊接工程和焊接产业，原来的焊接专业除哈工大保留外，其余各校均合并到材料科学与工程或材料加工工程。其中，除少数学校把焊接专业作为一个方向培养外（我校设此方向），多数培养多方向、专而不精的通才。然而，在近年来用人单位只按专才需要招人，其中以焊接人才需求最大。以我校多次供需见面会看，供需比达1:3，就业率达到100%。为此，笔者认为，焊接人才与现存的“焊接技术与工程”专业相比，服务对象应由机械制造业扩大到各种结构制造及安装业，从专业要求作到通多精一，从学科结构看要加强计算机、自控和信息科学技术基础和与专业学科结合。

我校现正在材料加工工程及控制专业中按此方向来培养本科人才，同时还获准在材料加工工程以外设立信息化制造工程硕士点和博士点，培养信息化制造及加工工程人材，以适应对传统学科和传统产业信息化改造和现代工业化需要的高级创新研究开发人才。

(20060108)