

实用高效焊接技术

应潮龙 周国胜 张孔群 胡士康 简润富 编著

国防工业出版社

实用高效焊接技术

应潮龙 周国胜 张孔群 胡士康 简润富 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

实用高效焊接技术/应潮龙等编著. —北京:国防工业出版社, 1995. 12

ISBN 7-118-01558-X

I. 实… II. 应… III. 焊接 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 20870 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 5 $\frac{1}{4}$ 134 千字

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:9.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

推广高效焊接技术，
缩短造船周期，
实现船舶工业的持续、
快速、健康发展。

黄平

一九九五年七月

序

当今世界工程技术界,已将焊接结构用钢量作为衡量一个国家工业发达程度的主要指标。美、日、英等发达国家焊接结构用钢量分别占本国钢产量的60%以上,我国焊接结构用钢量已达钢产量的40%左右。焊接技术已成为现代制造业的主体工艺技术,并且从单一的加工工艺发展成为新兴的综合性工程技术,它涉及到结构材料,结构设计,焊接工艺,焊接设备,焊接材料,焊接质量控制与管理等众多技术领域。焊接技术正作为一种系统工程日益广泛地应用于现代制造业。

目前,焊接技术已进入到一个崭新的发展阶段。一方面,在普通手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊的基础上发展成功众多的高效焊接方法。另一方面,已将当代计算机、微电子、信息传感、机器人、真空、超声、激光、电子束、等离子等技术领域的最新成果广泛应用于焊接技术,从而将焊接技术推进到了现代实用科学技术的前沿。

改革开放以来,我国船舶工业发展较快,中国船舶工业总公司1994年的船舶产量比1982年增长了2.9倍。中国船舶工业总公司为满足船舶生产发展的需要。于80年代初期以来大力研究开发和推广应用高效焊接技术,使高效焊接技术的应用比例从1982年的15%提高到65%以上。焊接技术的长足进步,使焊接生产效率提高了1.6倍,有效地解决了船厂焊工不足的矛盾,扭转了焊接技术落后于船舶生产发展的被动局面,从而改变了以往焊接工人随产品产量正比例增加的旧观念,有力地促进了船舶工业的发展,在缩短造船周期,增强竞争能力等方面发挥了重要作用,取得了显著的经济效益。

为了贯彻落实国防科工委领导关于大力发展和推广应用新工

艺、新技术的指示精神,我们组织有实践经验的焊接工程技术人员编写出版了《实用高效焊接技术》一书。

该书新颖实用,图文并茂,荟萃了中国船舶工业总公司 10 多年来推广应用高效焊接技术的经验,反映了当前船舶焊接技术水平,代表了我国焊接技术的发展方向。今天将它奉献给广大读者,供广大焊接工程技术人员在工作中参考和借鉴。希望《实用高效焊接技术》一书的出版能够为进一步推广应用高效焊接技术,为促进我国焊接技术进步、提高生产效率和产品质量发挥作用。

李培昌

1995.7.10

前 言

高效焊接技术是指除常规手工电弧焊以外的生产效率较高的焊接技术。《实用高效焊接技术》所介绍的高效焊接技术,是在手工电弧焊、埋弧自动焊及 CO_2 气体保护焊基础上发展起来的焊接新技术。这些新的焊接工艺方法具有生产效率高、焊接质量好、适用范围广等优点,具有较高的推广应用价值。

《实用高效焊接技术》一书是在国防科工委发起的“工艺与新技术革命”研讨和注重工艺技术进步的宗旨推动下,由中国船舶工业总公司科技局李培昌副局长组织、策划,并由周国胜(第一章、第二章第一、二、三、四节)、简润富(第一章第五节)、张孔群(第三章第二、三、四节,第四章第一节)、胡士康(第三章第五、六节)、应潮龙(第三章第一节、第四章第二节、第五章)五位同志共同编写而成,全书最后由应潮龙统稿。

本书较系统地总结了我国船舶工业总公司 10 多年来研究开发和推广应用高效焊接技术的经验,现奉献给广大读者,供焊接工作者在工作中参考,希望能对我国焊接技术进步起到推动作用。

本书由中国船舶工业总公司黄平涛副总经理题词,科技局李培昌副局长为本书作序。

在本书的编写、出版过程中,得到了有关船厂、配套厂以及焊接界同仁的大力支持,在此谨表衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误及不当之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

内 容 简 介

本书主要介绍我国机械行业,特别是造船业最近 10 多年来在推广应用高效焊接技术方面比较成功的实践经验,它把传统的手工电弧焊、埋弧自动焊、CO₂ 气体保护焊工艺提高到一个新的水平。本书主要包括:高效手工电弧焊、高效埋弧自动焊、高效气体保护焊工艺及国内外高效焊接技术发展概况。本书可供机械、造船、化工、石油等行业的焊接工人、管理人员、工程技术人员使用,并可供大专院校的师生参考。

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 焊接及其在工业生产中的地位	(1)
第二节 高效焊接技术的特点及种类	(1)
第三节 高效焊接技术的应用与发展	(7)
第二章 高效手工电弧焊	(10)
第一节 铁粉焊条焊接工艺	(10)
第二节 下行立角焊工艺	(12)
第三节 重力焊与弹力焊工艺	(13)
第四节 高效手工电弧焊条	(16)
第五节 手工衬垫单面焊接工艺	(23)
第三章 高效埋弧焊接工艺	(30)
第一节 双丝埋弧焊工艺	(30)
第二节 FAB 法工艺	(41)
第三节 RF 法工艺	(65)
第四节 FCB 法工艺	(82)
第五节 埋弧带极堆焊工艺	(88)
第六节 窄间隙埋弧焊工艺	(92)
第四章 高效气电焊接方法	(96)
第一节 CO ₂ 气体保护陶瓷衬垫单面焊接工艺	(96)
第二节 气电自动立焊(一次成形)工艺	(108)
第五章 国内外高效焊接技术的应用与发展	(126)
第一节 焊接设备方面的新进展	(126)
第二节 新型焊接材料	(140)
第三节 自保护焊接方法	(147)
第四节 焊接机器人	(157)
参考文献	(159)

第一章 概 论

焊接是一门独立的学科,它同其他任何一门科学一样,有着自己特有的理论基础、研究对象、目的和方法。本章主要从实用的角度阐述焊接在工业生产中的地位、高效焊接技术的特点及种类、以及高效焊接技术的发展方向。

第一节 焊接及其在工业生产中的地位

焊接是借助一定形式的能量,使两个分离的被焊接件之间建立原子或分子间的结合而连接成永久性整体的加工过程。通过焊接,可以连接同种金属、异种金属、金属与某些非金属材料。

自 1886 年发明了电阻焊,1892 年发现了金属极电弧,并于 1930 年开始应用于电弧焊接至今,焊接技术获得了巨大发展。当前,焊接技术已成为金属构件的主要加工方法之一。据有关统计资料介绍,全世界钢材总产量的 60%是经过焊接加工后投入使用的。如航空、航天、船舶、海洋工程、石油、化工、冶金、能源、机械、建筑、交通运输等行业均离不开焊接,焊接是现代工业生产中不可缺少的重要工艺技术。

第二节 高效焊接技术的特点及种类

焊接工艺方法的种类很多,主要可分为三大类,即熔化焊、非熔化焊和钎焊。其中熔化焊是最基本的焊接方法,在焊接生产中占主导地位。在熔化焊工艺方法中,常规药皮焊条手工电弧焊以其历史悠久、设备简单、易于操作、可进行全位置焊接等优点而应用得

最为普遍。但是,常规药皮焊条手工电弧焊的熔敷效率低,只有90%左右,且难以进行自动化焊接,生产效率较低。为了满足工业生产发展的需要,相继开发了各种适用于不同材料、不同接头型式的高效焊接工艺方法。

高效焊接方法,是指与常规药皮焊条手工电弧焊相比熔敷效率高、焊接速度快、操作方便且易于自动化的焊接工艺方法。高效焊接工艺方法的共同特点是生产效率高、焊接质量好、节约能源和材料,各种不同的高效焊接工艺方法又各具特色。

在工业生产中应用的高效焊接方法很多,按照其工艺和材料的不同,可以分为六大类,即手工焊条高效焊、气体保护焊、埋弧焊、电渣焊、气电自动焊和单面焊。

一、手工焊条高效焊

手工焊条高效焊接工艺方法是指采用高效、专用焊条手工电弧焊或借助一定的工艺装置进行半自动焊接的工艺方法。在工业生产中常用的手工焊条高效焊接方法有三种。

1. 铁粉焊条高效焊

铁粉焊条,是在焊条药皮中加入一定数量的铁粉,在提高焊条熔敷效率的同时,改善焊条药皮的导电性和焊接工艺性能。一般高效铁粉焊条的熔敷率为130%~180%,可采用大电流快速焊接,与常规药皮焊条手工电弧焊相比,焊接生产效率可提高50%以上。

2. 下行焊

下行焊是立向下焊接的简称,采用专用的下行焊条使得熔池易于控制,焊缝成形美观,实现了由上向下连续焊接,减轻焊工劳动强度,节约焊接材料,与常规手工上行焊相比,效率可提高1倍左右。

3. 重力焊

重力焊是采用高效铁粉焊条(一般直径为3~8mm,长度为550mm、700mm、900mm)和专用焊架,依靠焊钳和焊条的自身重

力随焊条的熔化而自动施焊的焊接工艺方法。重力焊适用于水平位置平直角焊缝的焊接,简单易行,一人可操作多台(4~12台),效率很高。若一人操作4台焊架,其生产效率是常规手工焊的6倍。

二、气体保护焊

焊接时,从焊炬喷嘴中连续喷出保护气体,将电弧周围的空气排开,使电弧、熔池和处在高温下的焊缝金属不受空气的有害作用,从而保证焊接质量的焊接工艺方法,统称为气体保护焊。

按照电极种类,气体保护焊可以分为熔化极气体保护焊和非熔化极气体保护焊;按照保护气体的性质则分为惰性气体保护焊和活性气体保护焊。高效焊接方法中的气体保护焊,主要是指熔化极、活性气体保护焊,其中应用较广的有下面几种。

1. 熔化极活性气体保护焊(MAG 焊)

采用活性气体(CO_2 , $\text{Ar}+\text{CO}_2$, $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ 等)作保护气体的熔化极焊接工艺方法,统称为熔化极活性气体保护焊,简称MAG焊。MAG焊适用于低合金高强度钢和碳素钢的焊接。在MAG焊中,有自动和半自动二种,保护气体有混合气体和纯 CO_2 气体之分。相比之下,混合气体保护焊的电弧稳定,焊缝成形美观,但成本稍高,因此纯 CO_2 气体保护焊应用较广。

(1) 二氧化碳气体保护焊(CO_2 焊)

采用纯 CO_2 气体作为保护气体的焊接方法简称为 CO_2 焊。 CO_2 焊可以使用实芯焊丝或药芯焊丝焊接。 CO_2 气体资源丰富,价格低廉,是一种焊接生产效率高、经济效益好的焊接工艺方法。 CO_2 焊有自动和半自动二种,其生产效率是常规手工焊的1.6~7倍。

(2) 药芯焊丝 CO_2 气体保护焊

采用药芯焊丝配以 CO_2 气体保护的焊接方法,是近年来发展起来的高效焊接新工艺,与实芯焊丝 CO_2 焊相比,工艺性能好、熔敷效率高、抗风能力强、焊缝成形美观、生产效率高,因而更富有生

命力。

2. 熔化极惰性气体保护焊(MIG 焊)

采用氩气(Ar)作保护气体的熔化极焊接工艺方法,统称为熔化极惰性气体保护焊,简称 MIG 焊。MIG 焊电弧稳定,焊缝成形美观。MIG 焊也有自动和半自动二种工艺方法。由于 MIG 焊的成本较高,多用于有色金属和不锈钢的焊接。

三、埋弧焊

埋弧焊时,在电极周围均匀地敷以 40~60mm 厚的粒状焊剂,将电弧掩埋在焊剂层下,电弧热将焊剂熔化,使之产生保护气体和渣壳,以保护熔池和高温下的焊缝金属不受有害气体的侵害,因此也称为焊剂层下电弧焊。

按照施焊过程中焊炬的驱动方式分为自动埋弧焊和半自动埋弧焊。当前半自动埋弧焊应用较少。在自动埋弧焊中,又按焊丝数目分为单丝和多丝埋弧焊;按焊丝截面形状分为丝极和带极埋弧焊。

1. 单丝自动埋弧焊

单丝自动埋弧焊的设备简单,操作方便,适用范围广,使用 $\phi 2 \sim \phi 6.4\text{mm}$ 的焊丝,普遍应用于薄板($\delta \geq 3\text{mm}$ 的薄板)、中厚板的拼接。

2. 多丝(2~4 根焊丝)自动埋弧焊

多丝自动埋弧焊是进一步提高埋弧焊效率的有效方法,因此越来越受到重视。对 6~20mm 厚的钢板,采用双丝单面自动埋弧焊接方法,可以一次焊成,工件不需翻身进行反面焊接,与一般单丝双面多层埋弧焊相比,生产效率可提高 3~5 倍。实践表明,对于板厚在 40mm 以内的工件,使用多丝(2~4 根焊丝)自动埋弧焊,可一次焊成。

3. 带极自动埋弧焊

带极自动埋弧焊是一种高效率的焊接方法,主要用于特殊用途的零件和结构的耐磨、耐蚀层堆焊,或修复机械设备工作表面的

磨损、残缺部分的堆焊。为进一步提高带极埋弧堆焊的效率,带极埋弧堆焊技术正向着宽带极(150mm)、双带极堆焊的方向发展。

4. I型坡口窄间隙($\leq 1\text{mm}$)或I型坡口大间隙(3~4mm)自动埋弧焊

I型坡口窄间隙或I型坡口大间隙自动埋弧焊多为双面焊,一般在焊第一面时,使熔深达到被焊工件厚度的40%~50%,反面焊接时,熔深达到被焊工件厚度的60%~70%。I型坡口窄间隙焊接方法适用于6~14mm板材的焊接;I型坡口大间隙焊接方法适用于14~24mm板材的焊接。采用该焊接工艺方法,可减少工件的坡口加工工时,降低焊缝金属填充量,节约焊接工时、材料和能源。

四、电渣焊

电渣焊是利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热作为热源进行焊接的一种高效率焊接方法。电渣焊适用于大厚度焊件的焊接,采用电渣焊使大厚度($\geq 50\text{mm}$)焊件不开坡口一次焊成,生产效率较高。按照电渣焊电极形式和截面形状的不同,分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔嘴电渣焊。这些电渣焊的接头位置多为垂直位置。近年来,为满足工业生产发展的需要,开发了水平位置电渣堆焊工艺方法。

1. 丝极电渣焊

丝极电渣焊是应用得最早的一种电渣焊工艺方法,它利用金属丝作为熔化电极,焊接过程中,丝极熔化为焊缝金属的一部分。丝极电渣焊时,根据焊件厚度不同,可采用单丝或多丝,为了增加焊接厚度范围,丝极可沿焊缝作横向摆动。丝极电渣焊方法主要用于中、小厚度焊件的较长焊缝和环缝的焊接。

2. 板极电渣焊

板极电渣焊是利用板状金属材料作为熔化电极的电渣焊工艺方法,焊接过程中,板极熔化为焊缝金属的一部分。由于板极具有较大的截面和刚度,焊接时可以从焊件的装配间隙上端直接向下

给送。厚度较大的焊件,可采用多块板极。板极电渣焊方法适用于大断面、短焊缝焊件的焊接。

3. 熔嘴电渣焊

熔嘴电渣焊是在丝极和板极电渣焊的基础上发展起来的,有管状熔嘴电渣焊和板状熔嘴电渣焊二种。

(1) 管状熔嘴电渣焊

管状熔嘴电渣焊采用外壁涂有药皮的管子安装在焊件间隙当中作为熔嘴和焊丝导管。焊接过程中,管状熔嘴与不断送进的焊丝一起熔化为焊缝金属的一部分。熔嘴外壁所涂的药皮可起到自动补充熔渣和向焊缝金属过渡合金元素的作用。管状熔嘴电渣焊适用于 18~60mm 焊件的焊接。

(2) 板状熔嘴电渣焊

板状熔嘴电渣焊是将焊丝从熔嘴两侧的特制孔道中送入渣池,焊接时,熔嘴与不断送进的焊丝一起熔化为焊缝金属的一部分。板状熔嘴电渣焊主要用于大断面焊件的焊接。由于板状熔嘴可根据焊接件断面变化情况加工成相似的形状,因而可焊接变断面焊件。

4. 电渣堆焊

电渣堆焊与埋弧堆焊相比,具有更高的效率,而且焊道平整、边缘光滑,在焊缝重叠部分不易发生夹渣、熔合不良等缺陷。通过改变焊接规范可在很大的范围内(10%~70%)调整电极与母材的熔化量比例,从而可得到较低的母材稀释率,特别适用于耐腐蚀层的堆焊。

五、气电自动焊

气电自动焊是熔化极气体保护自动电弧焊接工艺方法的简称,按焊接位置分为垂直、横向、倾斜(45°左右)自动焊三种方法;焊缝成形方式有自由成形和强制成形之分,常用二氧化碳(CO_2)气体或氩气(Ar)作保护气体,适用于船体大合拢时的垂直、横向及倾斜位置的对接焊,其生产效率是常规手工焊的 6~8 倍。

六、单面焊

单面焊是单面焊双面成形焊接工艺方法的简称。单面焊的种类较多,若按照衬垫形式与性质可分为铜衬垫单面焊、陶瓷衬垫单面焊、玻璃纤维布衬垫单面焊、石英砂衬垫单面焊等。而以焊接时所采用的焊接工艺方法的不同,可简单地分为手工单面焊、 CO_2 单面焊和埋弧单面焊三种。

采用单面焊双面成形焊接工艺方法,避免了工件翻身、仰焊和反面气刨清根等工序,节约工时、材料和能源,其生产效率比传统的双面焊接方法提高 2~4 倍。

第三节 高效焊接技术的应用与发展

焊接技术包括焊接工艺、材料和设备三大方面,焊接技术水平是焊接工艺、材料和设备协同发展的综合体现。焊接工艺的发展,对焊接材料和设备提出了新的要求,促进焊接设备和材料的更新换代;焊接材料和设备的进步又促进了焊接工艺的革新与提高。

一、高效焊接技术的发展简况

从本世纪 30 年代开始,由焊接逐渐取代铆接之后,焊接技术就向着高效率的方向发展。在 40 年代研究成功埋弧自动焊,并将其应用于工业生产,之后相继研究成功气体保护焊、重力焊和单面焊等高效焊接工艺方法,经过短短的 50 多年时间,焊接基本方法已由原来的电阻焊和电弧焊二种,发展到 30 多种,如把各种派生方法计算在内就更多,例如仅熔化极电弧焊这一基本焊接方法所派生出的高效焊接方法就达 35 种以上。焊接材料也从当初的薄药皮焊条、厚药皮焊条、高效铁粉焊条,发展到低氢型焊条、实芯焊丝、药芯焊丝、单面焊衬垫等。焊接设备已从简单的旋转式直流弧焊机、交流弧焊机、整流式弧焊机,发展到应用当代电子技术的可控硅整流弧焊机、逆变式弧焊机和各种自动焊机。

半个世纪以来,焊接技术领域取得的新技术成果,在工业生产

中得到应用、完善和提高,同时也有力地推动了机械、造船、宇航、石油、化工等现代工业的迅速发展。

二、我国高效焊接技术的开发与应用

我国焊接技术起步较晚,是建国后发展起来的,在第一个五年计划期间,各工业部门就开始广泛应用焊接技术,其中船舶工业的焊接技术开发与应用一直走在前面,具有一定的代表性。

船舶工业于 50 年代前期应用焊接技术建造焊接结构的客货轮、渔轮、快艇等产品,并从前苏联引进了埋弧自动、半自动焊接技术;50 年代后期,开发应用重力焊、电渣焊、 CO_2 气体保护半自动焊等高效焊接工艺方法;60 年代和 70 年代开发应用双丝埋弧自动焊、气体保护垂直自动焊、气体保护横向自动焊、耐磨及耐蚀合金堆焊、各种衬垫单面焊双面成形等高效焊接工艺方法。70 年代末期,船舶焊接高效化率为 13%~15%(焊接高效化率是指实际生产中应用的高效焊接工艺占全部焊接工艺的百分比,以焊接材料消耗量计)。80 年代是船舶焊接技术发展的重要时期,在生产中应用的焊接工艺方法达 30 余种,焊接高效化率逐年提高,到 1993 年,船舶工业总公司系统的船厂焊接高效化率平均达到 62%,各主要船厂的焊接高效化率已达 68% 以上。

三、我国高效焊接技术的发展方向

近 40 年来,我国的焊接技术获得了飞跃发展,在焊接工艺、设备和材料方面均取得显著成就。但是,与国外先进水平相比还存在一定差距。例如,焊接工艺水平较低,全国各工业行业焊接高效化率平均为 25%,先进国家已达到 60% 以上;焊接材料结构不尽合理,碳钢焊条占焊接材料总产量的 85% 以上,合金钢、耐热钢焊条占 6%~7%,自动、半自动焊丝仅占 5% 左右(先进国家的自动、半自动焊丝占 40%~60%);焊接设备品种少,而且构成比例相当不合理,手工弧焊机比例高达 80% 以上,尤其是国外早已淘汰的旋转式直流弧焊机仍在普遍使用,高效、节能型焊接设备仅占焊接设