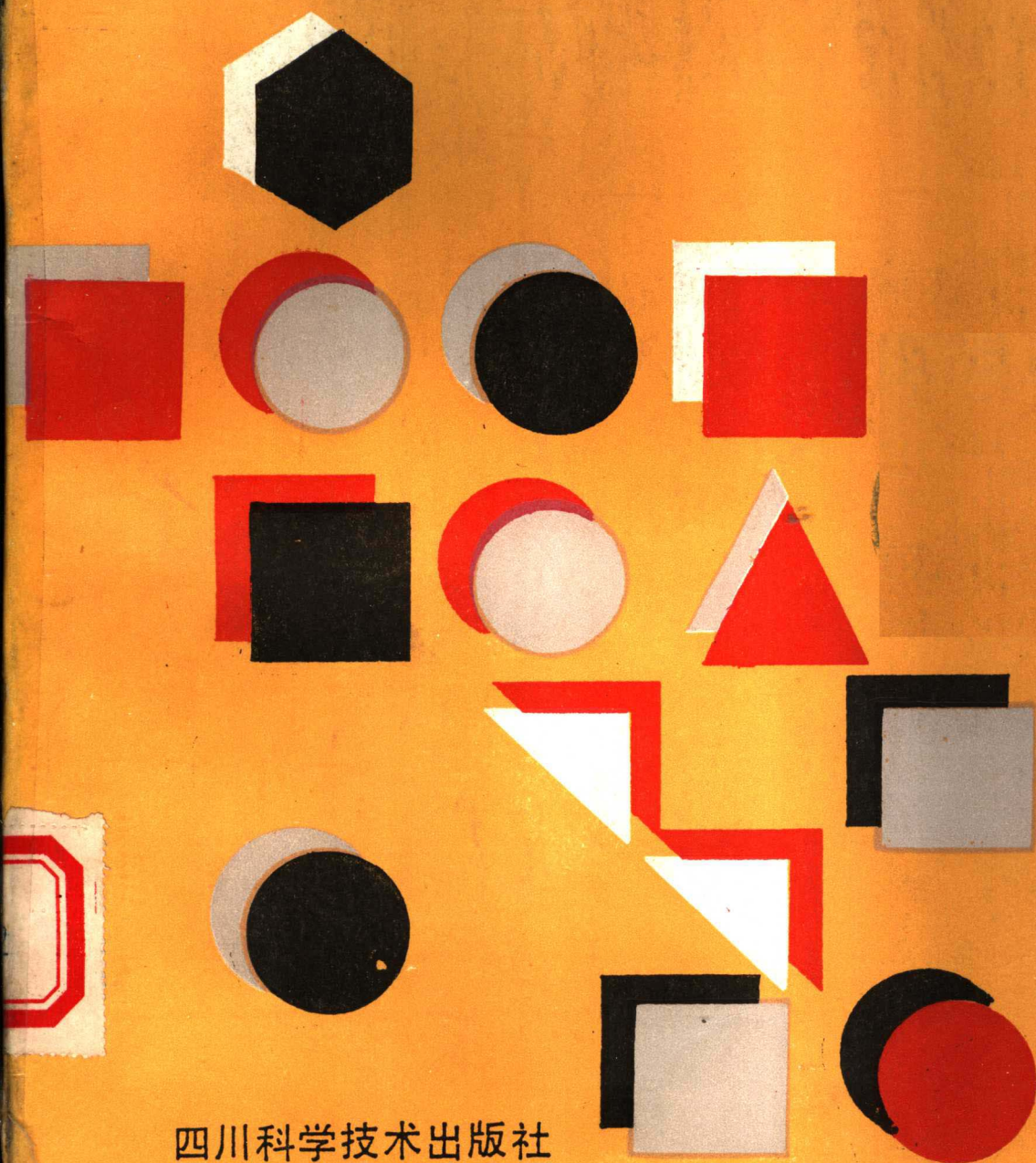


全国安装企业专业管理人员岗位培训教材

焊接施工技术

全国安装协会组织编写 叶秀华 主编 杨禹治 唐成城 刘建士 编



四川科学技术出版社

全国安装企业专业管理人员岗位培训教材

焊接施工技术

全国安装协会组织编写

叶秀华 主编

杨禹治 唐成城 刘建士 编

四川科学技术出版社

1991年·成都

责任编辑：刘阳青
特邀编辑：周健雄
封面设计：李 勤
技术设计：康永光
责任校对：王初阳 戈 太

全国安装企业专业管理人员岗位培训教材
焊接施工技术

全国安装协会组织编写 **叶秀华** **主编**

四川科学技术出版社出版发行(成都盐道街三号)
新华书店重庆发行所经销 四川新华印刷厂印刷
开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 570 千
1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷
印数 1—5000册

ISBN 7-5364-1755-1/TG·9 定价：7.70元

前 言

为适应职工岗位培训的需要,根据建设部人才开发司的指示,由我中心组织编写了一套“全国安装企业专业管理人员岗位培训教材”。这本《焊接施工技术》,就是为从事焊接施工的工长、施工人员而编写的。全书由熔焊原理、各种焊接工艺的特点、焊接结构应力变形与施工设计、焊接设备、焊接质量检验和焊接施工管理五篇组成。教学时数约为300课时。

本书在编写过程中,十分重视理论联系实际,力求在内容上做到深入浅出,通俗易懂,既适合于课堂教学使用,又能够满足自学的要求。初稿形成后,广泛征求了各方面的意见进行补充修改,使其尽量适合岗位培训使用。

参加本书编写的有叶秀华(第一篇、第二篇、第四篇及第五篇一二章)、杨禹治(第三篇)、唐城诚(第五篇第三章)、刘建士(第三篇第三章中的“锅炉安装工程焊接施工方案”)等同志,由叶秀华同志担任主编。

参加本书审稿的有赵兴仁、王建安、姜国芳、何澍、雷在蓉等同志。

本书在编审全过程中,得到了四川省安装公司、浙江省安装公司、上海市安装公司、成都市安装公司、本溪市安装公司、南京建筑工程学院等单位的大力支持。

对参加本书编、审的同志和支持编、审工作的单位,谨致以衷心的感谢。

在使用本教材的过程中,希单位和个人提出宝贵意见,以便修改补充,不断完善。

**中国建筑业联合会安装协会
人 才 培 训 中 心**

1991年3月

绪 论

自1880年世界上出现第一台碳弧焊机和1882年俄国别那尔道斯 (Пенардаш) 发明光焊条电弧焊到今天仅100年多的历史, 焊接技术如雨后春笋般迅速发展起来。焊接材料自1882年的光焊条发展到今天, 品种已有150多种, 相继出现了优质焊条、特种焊条、药芯焊条和各种埋弧自动焊用的焊剂、焊丝以及气焊用的焊剂、焊粉、焊丝等; 焊接设备从简单的手弧变压器发展到今天名目繁多的各种焊机, 并进入了计算机控制的焊接机器人时代。据统计, 1980年全世界工业机器人已超过50000万台, 其中焊接机器人占15%; 焊接生产的应用范围, 从低碳钢焊接发展到中高碳钢、合金钢、有色金属、异种金属的焊接, 并已实现金属与陶瓷的焊接。焊接方法从简单的气焊开始到今天的高能密度的电子束焊、不用热源的超声波焊、大有作为的激光焊、奇异的爆炸焊等等, 焊接方法已达上百种之多。焊接质量的控制, 从手工控制发展到今天的电弧自动跟踪、远红外线控制、超声控制、磁控制、计算机控制等。面对目前世界工业革命的挑战, 焊接技术将得到更加广泛和深入的发展。

在我国现代化建设和日常生活中, 焊接已成为不可缺少的生产工艺。如高耸的电视塔, 就是用无数大小不同的钢管焊接起来的; 上海金山石油化工总厂的33只储存各种液化气体和油料的大型球罐, 直径达16.3米, 有五、六层楼那么高, 则是由66块38毫米厚的高强度弧形钢板焊接起来的, 能承受几十个太气压, 制造一艘30万吨的油轮, 有1000公里长的焊缝, 相当于北京到上海的距离; 即使是一辆小汽车也要点焊5000~12000个焊点; 一架飞机的焊点多达二三十万个; 我国自行设计制造的第一台万吨水压机的几根大立柱, 是用电渣焊焊成的; 当今世界上最大的原子能反应堆的压力容器高达13米, 内径5米, 总重540吨, 也是采用焊接方法制成的。诸如此类, 举不胜举。这说明焊接生产已成为工业的主导力量。在工业发达国家, 焊接结构用钢量约占整个钢产量的45%。

目前, 许多设备日益向着高参数 (高温、高压)、高容量、高寿命、大型化的方向发展, 焊接技术也向着更难、更深的方向发展, 同时对焊接的质量要求更高。因此, 作为焊接施工员必须精通专业理论, 熟悉焊接施工的各项标准、规范规程。

焊接的实质

焊接是把两件或两件以上的材料 (同种或异种) 通过原子或分子之间的结合或扩散, 以形成永久性连接的一种加工工艺。本书仅涉及金属材料的焊接。

如熔化焊和电阻焊, 是使基本金属 (母材) 与焊缝金属之间产生原子的联系, 形成共同的晶粒而连接成整体; 而钎焊时, 基本金属不熔化, 母材与焊缝之间以质点扩散的方式连接成整体。

焊接的条件:

由焊接的实质得知,要实现焊接,必须促成原子、分子间的结合和实现扩散。由实验得知,当原子间的距离为3~5埃时,原子间结合力最大,大于这个距离时,原子间的结合力将大大减小。要使金属材料表面接近到原子距离,以产生原子间的结合力,在目前的生产技术条件下,还必须借助于加压或加热。加压是使原子克服其妨碍结合的因素(如金属表面的凹凸不平、表面氧化物及表面吸附的水及油等)而达到原子距离。所加的压力要很大,必须超过材料的塑性极限甚至强度极限才能实现焊接,如冷压焊。加热的作用是使金属焊接处达到塑性状态或熔化状态,加剧原子的热振动,通过扩散、化学反应和再结晶等过程结合成一体。

加压和加热两个焊接条件,有时单独使用,有时联合使用。在联合使用时二者存在一定的关系,详见后面有关章节。

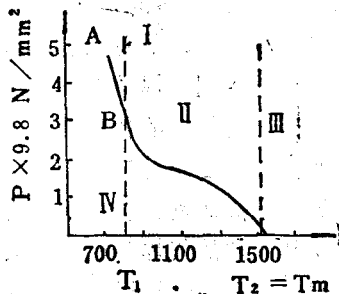
焊接的分类:

根据焊接过程的特点,焊接可分为三大类,即:熔化焊、压力焊、钎焊。在每大类中根据加热加压方式、焊接保护形式、操作方式以及所使用的设备、工具的不同,可分为很多细类。

在所有的焊接方法中,熔化焊是使用最广泛、最普遍的焊接方法。它采用高温热源

将连接处的金属局部加热到熔化状态,使它们的原子充分扩散、互相联系结合,冷却凝固后形成整体,故熔化焊接的关键是需要一个合适的局部加热的热源。本教材将以熔焊为主,贯彻始终。

如图所示为焊接纯铁时温度和压力的关系。I区表示有限加压焊接区,II区表示实际应用的电阻焊区,III区为熔焊区,IV区表示不能实现焊接的区。由图可知,金属加热的温度越低,实现焊接所需的压力就越大。IV区因为温度低,压力也较小,故不能焊接。



目 录

绪论

第一篇 熔焊原理

第一章 焊接热过程

第一节	焊接热过程概述	(1)
第二节	焊接热源类型及特征	(2)
第三节	焊接传热基本概念	(4)
第四节	焊接热循环	(7)

第二章 焊接电弧

第一节	焊接电弧产生的过程	(16)
第二节	焊接电弧的特性	(20)

第三章 焊条金属(焊丝)和基本金属的熔化

第一节	焊条金属的加热	(25)
第二节	焊接熔池	(31)

第四章 焊接冶金

第一节	焊接化学冶金过程	(34)
第二节	焊缝金属的结晶	(51)
第三节	焊缝气孔分析	(57)
第四节	焊接接头的裂纹分析	(62)

第二篇 各种焊接工艺的特点

第一章 气焊与气割

第一节	气焊用的气体和设备	(69)
第二节	气焊工艺	(74)
第三节	气割工艺	(78)

第二章 手工电弧焊

第一节	电焊条的型号、编制及选用原则	(81)
第二节	手工电弧焊工艺	(91)
第三节	手工焊的焊接定额计算	(99)

第三章 埋弧自动焊

第一节	埋弧自动焊的特点	(103)
第二节	埋弧自动焊的自动调节原理	(104)
第三节	埋弧自动焊工艺	(107)
第四节	埋弧自动焊施焊技术	(114)

第四章 气体保护焊

第一节	气体保护焊的保护效果	(121)
-----	------------	---------

第二节	氩弧焊工艺	(124)
第三节	二氧化碳气体保护焊	(134)
第四节	混合气体保护焊	(142)
第五章	其它焊接工艺原理	
第一节	等离子弧焊接与切割	(144)
第二节	电子束焊接的原理及工艺特点	(153)
第三节	激光焊接与切割	(157)
第四节	钎焊	(162)
第六章	材料熔焊工艺	
第一节	金属可焊性概念	(168)
第二节	金属可焊性的评定	(170)
第三节	碳素钢的焊接	(180)
第四节	合金结构钢的焊接	(182)
第五节	不锈钢及耐热钢的焊接	(188)
第六节	异种钢的焊接	(192)
第七节	铝及铝合金的焊接	(196)
第八节	铜及铜合金的焊接	(204)
第九节	镍及镍合金的焊接	(210)
第十节	纯银的焊接	(211)
第十一节	铸件补焊	(213)
第十二节	堆焊技术	(218)

第三篇 焊接结构应力变形与施工设计

第一章 焊接结构应力与变形

第一节	内应力及变形的基本概念	(222)
第二节	焊接应力与变形产生的原因	(224)
第三节	焊接残余变形	(225)
第四节	预防和减少焊接变形的措施	(238)
第五节	焊接残余应力	(247)
第六节	焊接过程中调节焊接应力的措施	(252)
第七节	焊后消除焊接应力的方法	(254)

第二章 焊接接头设计和计算

第一节	焊接接头的设计	(256)
第二节	焊接接头的静载强度计算	(261)

第三章 焊接结构施工设计

第一节	施工组织设计的基本概念和内容	(268)
第二节	焊接施工方案的编制	(276)
第三节	焊接施工方案的编制实例	(278)

第四篇 焊接设备

第一章 焊接对电源的要求

第一节	焊接电源概述	(298)
第二节	对电源外特性的要求	(298)

第三节	对电源调节特性的要求·····	(299)
第四节	对电源动特性的要求·····	(300)
第二章	常用弧焊电源的类型及原理	
第一节	弧焊电源的分类·····	(301)
第二节	常用弧焊电源的基本原理·····	(301)
第三节	常用电焊机的选用·····	(308)
第三章	其它类型焊机	
第一节	埋弧自动焊机·····	(313)
第二节	钨极氩弧焊机 (TIG 焊机) ·····	(315)
第三节	CO ₂ 气体保护焊机·····	(320)

第五篇 焊接质量检验和焊接施工管理

第一章	常见焊接缺陷及返修	
第一节	焊接缺陷的分类及特点·····	(329)
第二节	焊接缺陷的危害性·····	(330)
第三节	焊接缺陷的返修·····	(330)
第二章	焊接质量检验过程及方法	
第一节	焊接产品质量检验的过程·····	(332)
第二节	焊接接头质量检验方法·····	(335)
第三章	焊接施工质量管理	
第一节	焊接施工质量管理概述·····	(347)
第二节	焊接施工质量保证体系·····	(348)
第三节	焊接施工质量控制·····	(351)

第一篇 熔焊原理

第一章 焊接热过程

第一节 焊接热过程概述

熔化焊时被焊金属在热源作用下,只是发生局部的加热和熔化,因此在被焊金属中必然存在着热量的传播和温度分布问题。焊接中的热传播和温度分布过程通常称之为焊接热过程,它贯穿于整个焊接过程,不但影响焊接冶金、结晶、相变过程,而且决定焊接的应力场和应变场的分布。因此,焊接热过程是影响焊接质量和生产率的主要因素之一,掌握焊接热过程特点很有必要。

一、焊接热过程的特点

焊接热过程较工件热处理时整体加热过程要复杂得多,主要有以下特点:

1. 焊接热过程的局部性。工件焊接时的加热不是整体加热,往往只是被焊处直接受热源作用,其它部位属热传导,因此工件加热是极不均匀的。加热不均匀将导致工件变形不均匀,进而造成各种应力,这些应力有可能导致焊接接头产生裂纹。此外不均匀的加热将导致焊缝附近的组织不均匀,造成热影响区,直接影响焊接接头的性能。

2. 焊接热过程的瞬时性。在高度集中的热源作用下,加热速度极快,电弧焊时可达每秒 1500°C 以上,在很短的时间内使焊接部位熔化,一旦热源移开,体积较小的熔池其冷却结晶速度也极快,导致焊缝的组织变化极为迅速。

3. 焊接热过程中的热源是相对运动的。由于焊接热源的移动,造成工件受热区域的不断变化,传热过程也不稳定。热源的移动将引起温度场的移动。

二、焊接热过程对焊接质量的影响

焊接热循环的特征直接影响焊缝和近缝区的组织形态变化、焊后工件的应力与变形的情况,并将决定裂纹是否产生。而焊缝晶粒大小、不平衡结晶情况、淬火组织及碳化物分布情况等,都将直接影响焊缝的性能。

焊接热过程直接影响焊缝金属的组织成分及结晶缺陷。因为不同的焊接热过程将使金属熔池所处的最高温度不同,而且最高温度的停留时间长短也不同,带来熔池金属的物理化学反应的程度也不同。脱氧、脱氢、渗合金的程度的不同,将直接影响焊缝质量。

三、焊接热过程对焊接生产率的影响

焊接热源的功率或能率直接影响基本金属和焊条金属的熔化速度，而熔化速度直接影响焊接速度即焊接生产率，因此选择合适的热源，对提高焊接生产率有很大的影响。

第二节 焊接热源类型及特征

一、焊接热源类型

(一) 焊接对热源的要求

焊接技术的发展过程即是热源的发展过程，随着科学技术不断发展，焊接逐步向高质量、高效率、降低劳动强度和降低能量消耗方向发展，从这一点出发，焊接热源应该是：

1. 热量高度集中，可快速实现焊接过程。
2. 能保证得到最小的焊接热影响区和致密的焊缝。

(二) 热源的类型

根据以上两个要求，焊接热源可分为：

1. 外热源（又称表面热源）：热量是由热源传递给金属的局部表面。这类热源可分为：

① 电弧热：利用气体介质放电过程所产生的热量作为焊接热源，是运用最广泛的一种热源。

② 化学热：利用可燃气体和助燃气体产生的热或铝镁热剂燃烧时产生的热量作为焊接热源。

③ 等离子焰：利用电弧放电或高频放电产生的高能量密度的等离子体碰到冷工件形成的复合能（解离能和电离能）所产生的热量作为热源。

④ 激光热：利用通过受激辐射而使放射增强的光，经聚焦产生能量高度集中的激光束作为热源。

2. 内热源：利用电阻、涡流在金属内部的一定体积内产生热量。如高频感应电流热源、接触焊电渣焊时的电阻热源、电子束焊时高压高速运动的电子猛烈轰击金属表面使动能变为热能的焊接热源等。

二、热源的特性

1. 热源的特性指标。热源的特性主要由热源的最大功率密度、最小加热面积、正常焊接规范下的温度等指标来反映，如表1-1-1所示。

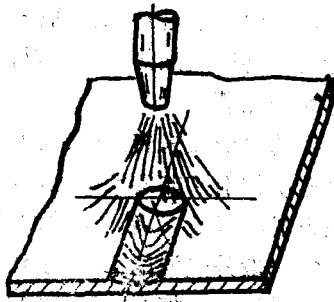
从表中可看出，不同热源的热源强度（功率密度）差别是很大的。一般激光的热源强度最强，温度也很高，因而焊接速度极快。其次为等离子弧。而气焊的热源强度最小，且气焊温度较低只有 3200K，因此气焊的焊接速度很慢。

2. 热能的分布特征。不同的热源具有不同的热特性，这主要是由于热源强度不同，使金属受热区的温度分布也不同所致。热源强度高则热能集中，温度场的分布范围也就小，如电子束焊；反之，热源强度低，温度场的分布范围就大，如气焊。

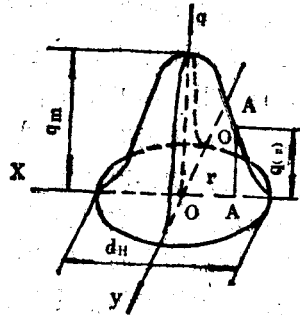
焊接时，加热区的热量分布是不均匀的，往往是中心多而边缘少，热源在单位时间内通过单位面积进入焊件的热能（即比热流）分布情况如图1-1-1所示，图中 d_H 为加热斑点的直径。

表1-1-1 各种热源主要特性

热 源	最小加热面积 (cm ²)	最大功率密度 (w/cm ²)	正常焊接规范 下温度(°C)
乙炔火焰	10 ⁻¹	2×10 ³	3200
金属极电弧	10 ⁻³	10 ⁴	6000K
钨极氩弧(TiG)	10 ⁻³	1.5×10 ⁴	8000K
埋弧自动焊	10 ⁻³	2×10 ⁴	6400K
电渣焊	10 ⁻³	10 ⁴	2000K
熔化极氩弧(MiG) CO ₂ 气体保护焊	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	
等离子	10 ⁻⁵	1.5×10 ⁵	18000~24000K
电子束	10 ⁻⁷		—
激 光	10 ⁻⁸	10 ⁷ ~10 ⁸	—



(a)



(b)

图1-1-1 加热斑点上比热流的分布

(a) 热源在焊件上的作用 (b) 比热流分布模型

通过数学计算, 加热斑点中心的最大比热流 q_m (w/cm²) 为:

$$q_m = \frac{K}{\pi} q \quad \text{--- (1-1-1) 式中: } q \text{---热源有效功率;}$$

K-热能集中系数(1/cm²) q_m 表明热流的集中程度, 可由实验求得, 其值主要决定于焊接方法和焊接规范。埋弧焊时 K 值为6.01/cm², 手工电弧焊厚皮焊条焊接时为1.2~1.4/cm², 而气焊时只有0.17~0.39/cm²。因而三种方法中埋弧焊热能最集中。

3. 焊接热效率 (η_0)。焊接过程中, 由热源产生的热量并没有全部被有效利用, 有一部分热量损失于周围介质和飞溅中。加热过程中, 在一定的条件下热效率是个常数, 它主要取决于热源种类、焊接规范和焊接材料的种类。各种焊接方法的热效率值见表1-1-2。

表1-1-2 各种焊接方法的热效率比较

焊接方法	碳弧焊	手工电弧焊	埋弧焊	钨极氩弧焊		熔化极氩弧		电渣焊	电子束	激光焊	二氧化碳
				交流	直流	钢	铝				
热效率 η_0	0.5	0.77	0.77	0.68	0.78	0.66	0.7				0.75
~	~	~	~	~	~	~	~	0.8	0.9	0.9	~
率	0.65	0.89	0.99	0.85	0.85	0.69	0.85				0.90

第三节 焊接传热基本概念

一、焊接时传热的主要方式

根据热力学第二定律，能量总是自发地由高到低，温度也是自发地由高到低，只要有温度差就会有热的流动。热传递的方式主要有：

1. 热传导。热传导发生于物体内部或相互接触的物体之间，是金属内部热交换的唯一形式。这种传导的发生是由于物体内部温度不同时，引起自由电子的移动以及原子、离子发生振动的结果。温差越大，则自由电子移动越激烈。

2. 热对流。在流体中，不同温度区域内的质点，其比重是不同的，这将引起质点的运动，产生热量传递，即形成热对流，这种传热方式是流体介质中主要的传热方式。当流体中某处的温度上升时，该处的质点就会因比重的减小而上升，周围温度较低的流体，比重较大，就会下沉补充到该处，造成流体的对流运动，而热量也同时通过对流传播开来。这种对流传热在焊接过程中起一定作用，如电弧和气焊火焰都是先将空气加热，再由对流将热量传递给焊件表面，并由对流将热量传走冷却，这在薄板焊时较显著。

3. 热辐射。这是由受热物体内部原子振动所产生的电磁波来传递热能的一种传热方式。受热体所放射的电磁波以光速在空间传播，可穿过透明体射到非透明体上，在被吸收后即转变为热。因此放热体和吸热体之间的辐射换热是往返的，只是二者以不同的速度而已。

以上三种传热方式在焊接传热中的地位如何呢？一般外热源的工艺方法（如电焊、气焊）主要是靠热对流和热辐射传热。而内热源（如接触焊、摩擦焊、高频焊）则主要依靠热传导传热。但是不管哪种热源，一旦使焊件接受了热量之后，热的传递（升温或冷却）主要是以热传导为主，也存在部分对流和辐射，但作用很小，只有在薄板焊时有相应增大。所以焊接传热方式主要以热传导方式为主。

二、焊接温度场

（一）焊接温度场概念

所谓焊接温度场就是在焊接热源作用下，某一瞬时焊接件上各点的温度分布情况。如图1-1-2所示，将焊件上某瞬时温度相同的各点连接起来就构成等温线（ T_1 、 T_2 、 T_3 线）或等温面（如 T_1 、 T_2 、 T_3 面），因此某一瞬时焊接温度场可以用等温线或等温面来表示。

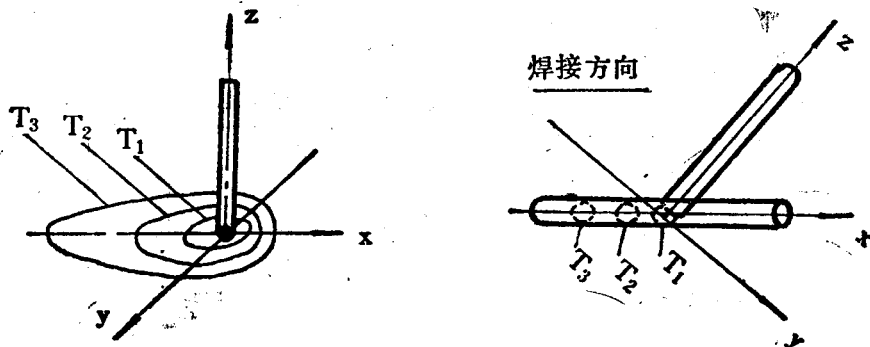


图1-1-2 焊件上某瞬时温度场

由于在绝大多数焊接情况下,焊接热源是移动的,焊接规范也是变化的,因此焊接件上的温度分布是随时间而变动的,温度场是属于不稳定的温度场。

假定焊接是使用恒定功率的热源,焊接开始阶段由于工件处于冷态,规范是未稳定的,温度场是变化的。但经过相当长一段时间后,温度分布成为饱和状态,形成了暂时稳定的温度场,我们把这种温度场称为准稳定温度场。即把温度场看作随热源作同样的速度移动,而且将温度场移动的坐标系的原点与热源中心相重合,这样温度场各点的温度只取决于这个系统的空间坐标,而与时间无关。以后研究焊接温度场分布和热过程计算时,都是把温度场看成准温度场,而且使用移动坐标体系。

不同尺寸和形状的焊件具有不同的温度场坐标系,下面就焊接时用得最多的三种焊件的温度场动坐标系给以介绍。

1. 厚大焊件的温度场坐标体系。对于厚大焊件的焊接(如在表面进行堆焊)可看成是三维传热,温度场的动坐标系是三维的(图1-1-3所示),即 X 、 Y 、 Z 三个方向都存在传热。这时可以把热源看成是一个点,即点热源。

2. 薄板焊接时的温度场坐标体系。薄板焊时,由于板很薄,把传热看成是沿 x 和 y 两个方向进行(图1-1-4所示),在板厚方向看成没有温差,热能均匀分布在板厚方向上,因此温度场的坐标体系是二维的,把热源看成是沿板厚的一条线即线热源。

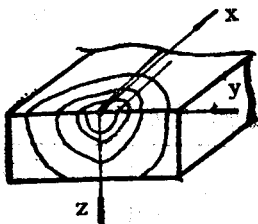


图1-1-3 三维温度场

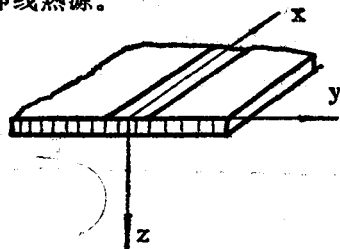


图1-1-4 二维温度场

3. 细棒对焊接时的温度场坐标体系。细棒焊时,由于 y 、 z 方向的尺寸很小,温度很快趋于均匀(图1-1-5所示),因此可把热在细棒截面上的分布视为均匀分布,热的传播就象一个温度均匀的小平面在移动,因此传热的方向只有一个即 x 方向,温度场的坐标体系也是一维的。此时的热源称为面热源。

(二) 影响温度场的因素

影响温度场的形状和宽窄,主要取决于下列诸因素:

1. 热源的性质及焊接规范。一般热源的能量越集中,热强度越高,则温度场的范围越小。例如电子束焊,热能很集中,温度场范围就很小,而气焊则相反。

同样的焊接热源,同样的焊件尺寸,当焊接规范不同时,温度场的分布范围及形状大不相同。

(1) 当热源功率 q = 常数时,随着焊接速度加快,等温线范围变小,温度场宽度变窄,长度也变短。如图1-1-6中 q 都是 4200J/s 而速度从 0.2cm/s 变化到 1cm/s 时,温度场形状大不相同。这主要是因为焊接速度较快时,热沿着焊接方向传播较多,而沿着两侧的传播较少。

(2) 当焊接速度一定时,随着热源功率的增大,温度场分布范围将增大,主要焊件获得的热能也会增多。

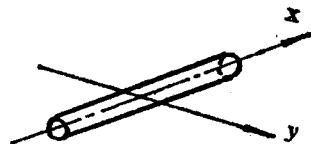


图1-1-5 一维温度场

(3) 当 q/v (线能量) 保持一定值, q 与 v 按相同比例增加时, 等温线沿法线方向将被拉长, 而宽度稍变窄, 温度场的范围将扩大。

从焊接规范对温度场的影响分析中, 我们可以认识到正确选择规范对缩小热影响区、提高焊接接头的质量有重要意义。

2. 被焊金属的热物理性质。同样形状尺寸的焊件, 在相同的热源作用下, 如被焊金属材料的热物理性质不同, 就会有不同的温度场。常见金属的热物理常数见表1-1-3。

具有不同热物理特性的低碳钢、铬镍不锈钢、铝、紫铜等的温度场分布形状见图1-1-7。从图中可知, 在同样的条件下, 导热性越差的材料, 某一温度的等温线范围越大。例如铬镍奥氏体不锈钢的某一温度的等温线范围(如 600°C) 要比低碳钢焊接时的相同等温线范围要大。因此铬镍不锈钢焊接时, 若规范较大, 则易使焊接熔池或热影响区温度过高。

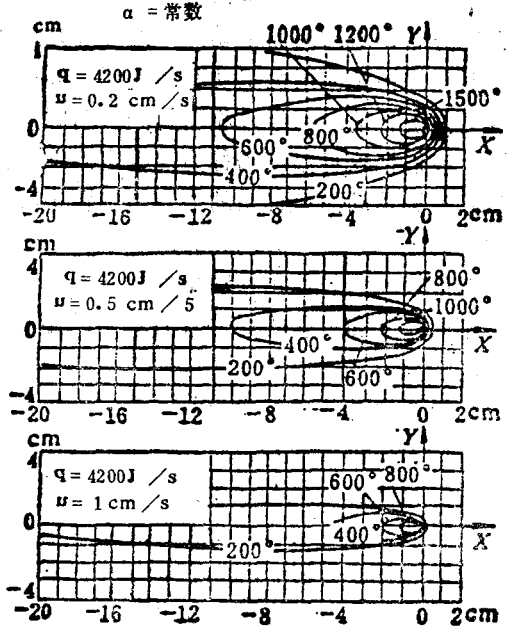


图1-1-6 焊接速度对温度场分布影响

表1-1-3 某些金属热物理常数的平均值

热物理常数	单位	物理意义	焊接条件下选取平均值			
			低碳钢	不锈钢	铝	紫铜
λ	$\text{W/cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$	导热系数: 沿法线方向, 在单位时间内, 单位距离相差 1°C 时, 经单位面积所传热。	0.378~0.504	0.168~0.336	2.65	3.78
C	$\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$	比热: 一克物质每升高 1°C 时, 所需的热能。	0.652~0.756	0.42~0.50	1.0	1.22
C_p	$\text{J/cm}^3\cdot^{\circ}\text{C}$	容积比热: 单位体积的物质每升高 1°C 时所需的热能。	4.83~5.46	0.36~4.2	2.63	3.99
$a = \frac{\lambda}{C_p}$	cm^2/S	导温系数: 传热过程中温度拉平的速度。	0.07~0.10	0.05~0.07	1.00	0.95
S	J/g	热焓: 在某温度下一克物质所含有的热能。	(0~1530 $^{\circ}\text{C}$) 1331.4	—	—	—
a	$\text{J/cm}^2\cdot\text{S}\cdot^{\circ}\text{C} \times 10^{-3}$	表面散热系数: 散热体表面与周围介质每相差 1°C 时, 经过单位时间内所散失的热能。	(0~1500 $^{\circ}\text{C}$) (0.63~37.8) $\times 10^{-3}$	—	—	—

3. 焊件的形态。焊件的几何尺寸和所处的状态(预热及环境温度)对传热的过程有重大影响, 因此也影响温度场的分布。

厚大焊件(低碳钢25mm以上, 不锈钢20mm以上)传热是三个方向即以半球形传播的, 热源特征为点状, 等温线呈半球面。

薄板焊件(低碳钢为8mm以下, 不锈钢为5mm以下)属于两个方向传热, 热源的特征为线状, 温度场等温线分布呈线状。

细棒焊接(如焊条加热和接触对焊)属面状热源, 只沿 x 方向传热, 温度场等温线呈面

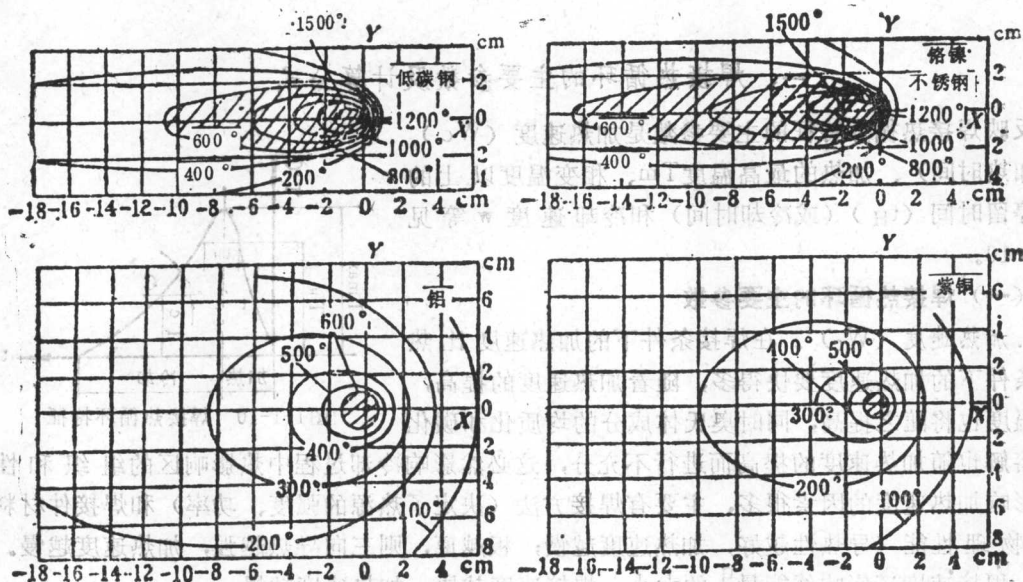


图1-1-7 金属的热物理性能对温度分布的影响

$$q = 4200 \text{ J/s}, v = 0.2 \text{ cm/s}, \delta = 1 \text{ cm}$$

状分布。故薄板和细棒焊接易过热或焊穿。

4. 热源的作用时间和移动速度。根据热源作用的时间来看，可分为瞬时作用热源（如点焊）和连续作用热源。连续作用的热源又可分为固定不动热源（如补焊）和连续移动热源（如正常焊接情况）。瞬时集中点状热源的温度场是以热源为中心、不同 $R (R^2 = x^2 + y^2 + z^2)$ 为半径的等温球面，瞬时集中线状热源的温度场分布为平面，即以 $r (r^2 = x^2 + y^2)$ 为半径的圆环；而瞬时集中面状热源温度场的分布呈点状，是 x 方向上的不同温度的点。



图1-1-8 焊接接头附近的各点

第四节 焊接热循环

一、焊接热循环的概念

在焊接过程中，大多数热源是沿焊件移动的，焊件的每点温度都要历经由低到高直至最大值后，又由高到低的变化过程。焊缝两侧距焊缝远近不同的各点，所经历的热过程也是不同的。因此所谓焊接热循环就是指焊件上某一点在焊接热源作用下所经受的热过程，也即该点的温度随时间而变化的过程。

例如图1-1-8中焊接接头中的1、2、3、4点，它们的热循环曲线是不同的，如图1-1-9所示。距焊缝越近的各点，加热最高温度越高；越远的各点，加热的最高温度越

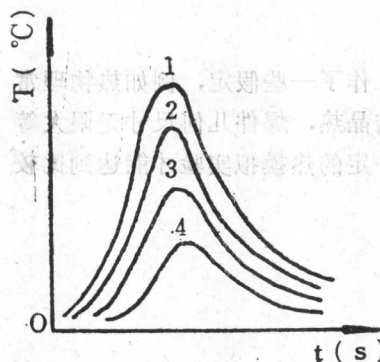


图1-1-9 接头中各点的焊接热循环曲线

低。

二、焊接热循环的主要参数及计算公式

反映焊接热循环特征的主要参数是加热速度 (W_c) (或加热时间)、加热的最高温度 T_m 、相变温度以上的高温停留时间 (t_H) (或冷却时间) 和冷却速度 w 等见图1-1-10。

(一) 焊接热循环的主要参数

1. 加热速度 (W_c)。在焊接条件下的加热速度比热处理条件下的加热速度要快得多, 随着加热速度的提高, 相变温度也将随之提高, 同时奥氏体成分的均质化和碳化物的溶解也随加热速度的提高而进行不充分, 这必然影响冷却过程中热影响区的组织和性能。影响加热速度的因素很多, 主要有焊接方法 (决定了热源的强度、功率) 和焊接件材料的热物理性能 (导热性越好, 加热速度越慢; 板越厚, 则三向导热越强, 加热速度越慢。另外, 焊接速度还影响线能量 $\frac{q}{v}$ 的大小, 焊接速度越快, 加热速度越慢。

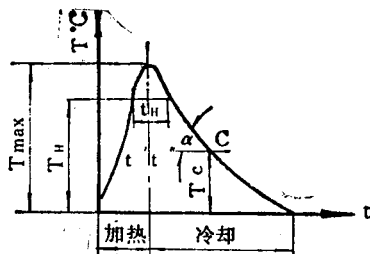


图1-1-10 焊接热循环特征

2. 加热的最高温度 (T_m)。 T_m 主要用于决定和判断加热点的组织情况。如果 T_m 低于 500°C , 将不产生热塑性变形, 冷却后也不产生内应力。一般对于低碳钢和低合金钢, 熔合线附近最高温度 T_m 可达 $1300^\circ\text{C} \sim 1350^\circ\text{C}$, 因此此处晶粒发生严重长大, 使塑性降低。

3. 在相变温度以上停留时间或高温停留时间 $t_H(\text{s})$:

$$t_H = t' + t''$$

t' - 加热过程相变区停留时间

t'' - 冷却过程相变区停留时间

相变温度以上一般都是测试 1100°C 以上的停留时间。 t_H 大小即意味着金属组织转变的完善程度和晶粒长大的趋势。在 1100°C 以上停留时间越长, 过热区越宽, 晶粒越粗, 塑性和韧性越差。

4. 冷却速度或冷却时间。该参数主要影响组织转变及应力状态, 对于一些有淬硬倾向的钢材, 冷却速度过快, 可能形成淬硬组织, 容易产生焊接裂纹。一般冷却速度 (或冷却时间) 是指某一温度范围内的平均冷却速度或某一瞬时温度的冷却速度。对于低碳钢和低合金钢来说, 主要是指在熔合线附近 (1350°C) 的冷却过程中约 $800^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ 的冷却时间或 540°C 左右的瞬时冷却速度, 有时也常用 650°C 的瞬时冷却速度或 $800^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 的冷却时间, 因为这些是相变最激烈的温度范围。

(二) 焊接热循环主要参数的计算公式

焊接热循环几个参数的计算都是根据热循环的数学模型, 作了一些假定, 例如热物理常数不随温度而变化, 焊接初始温度分布均匀, 不考虑相变和结晶热, 焊件几何尺寸无限大等等。因此计算是近似的, 与实际有一定误差, 往往需要配合一定的热模拟实验才能达到比较准确的结果。

1. 最高温度的计算公式。可分二种情况:

① 厚大焊件上的堆焊 ($\delta > 25\text{mm}$):

$$T_m = \frac{0.234q}{C_p \cdot V \cdot r_0^2} \dots \dots (1-1-2)$$