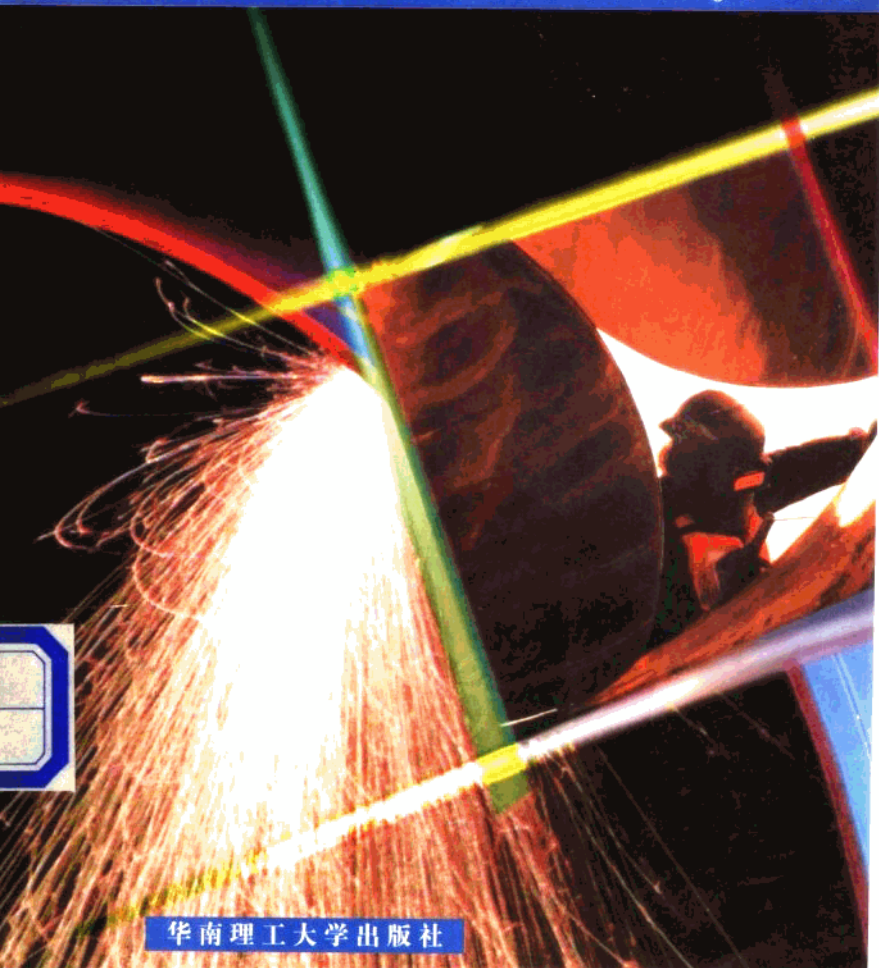


明达 编

电焊工 实用技术

DIANHANGONG SHIYONG JISHU



华南理工大学出版社

前 言

电弧焊是指利用电弧作为热源的焊接方法,简称弧焊。作为金属加工的主要方法之一,焊接越来越为世人所瞩目,因而得到了飞速的发展和广泛应用。

当今世界各国工程技术界,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、英等工业发达国家焊接结构用钢量分别占本国钢产量的60%以上,我国也已达到40%左右。焊接技术已成为现代制造业的主体工艺技术,已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、焊接材料、焊接质量控制与管理等众多领域。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。

电弧焊真正用于工业生产是在1892年发现金属极电弧后,特别是1930年出现了药皮焊条以后才逐渐开始的。可见,电弧焊的发展是以焊条电弧焊为起点的。

药皮焊条的应用,使得电弧处于药皮熔化所产生的保护气氛中,这不仅大大改善了电弧的稳定性,而且使熔池处在电弧气氛及药皮所形成熔渣保护下,使焊缝质量明显提高。以后又相继推出了厚涂料焊条,尤其是厚涂料优质焊条的出现,使手工电弧焊技术进入成熟阶段,它熔深大、效率高、质量好、操作方便等突出优点是气焊所无法比拟的,很快成为工业应用的主要生产技术。

随着熔炼及电子技术的发展,40年代出现埋弧自动焊,以及与之相配套的颗粒状焊剂和光焊丝,实现了焊接过程的自动化。

进入50年代,新的焊接方法以前所未有的发展速度相继研究成功,如用电弧热源的 CO_2 焊等。

由于焊条药皮及埋弧焊焊剂的成分含有金属和非金属氧化物,故难以用来焊接铝、镁、钛等活泼金属及其合金,二次大战中,航空工

业迅猛发展,出现大量由铝合金、不锈钢等金属材料制成的航空器材,要求焊接质量高。为适应战争的需要,出现了钨极氩弧焊。但是,这种焊接方法受钨极许用电流的限制,焊接电流不能过大,且向焊缝添加焊丝又不方便。为克服这个问题,很快研制出熔化极氩弧焊,这是40年代末最新的电弧焊方法。

熔化极氩弧焊具有氩气保护的特点,焊丝兼有电极和填充金属的作用,可用较大的电流密度,生产效率高;焊接厚度不同时,可选用适当的熔滴过渡形式,此法也便于实现半自动和全自动焊。

因氩气较稀缺和昂贵,用于普通结构件焊接显得成本太高。于是人们又不得不寻求廉价易得的气体来代替氩气,来扩大气体保护焊的应用范围,通过不断的努力,于50年代就 CO_2 气体保护焊终于获得了应用和推广。现已成为焊接碳钢、低合金钢的最常用的方法。

前述方法均属自由电弧焊,能量不能集中,温度不够高,不适合难熔金属的焊接。在探索中人们发现在不改变电弧功率的前提下,如能强制缩小电弧截面,可大大提高电能密度,电弧温度能明显提高。于是,在钨极氩弧焊出现不久,50年代末期出现了等离子弧焊。它除具有钨极氩弧焊的优点外,还有自己的特点,即电弧能量密度大、电弧温度高、焊接热影响区窄、焊接变形小等。

随着现代工业和科学技术的迅猛发展,对焊接技术和焊接质量不断提出新要求,希望能研制出能满足各种金属材料、各种结构形式、各种使用性能的焊接方法,同时,还要求更好的实现自动化,以提高焊接生产率 and 降低成本。

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。

当前,焊接技术获得了巨大发展。焊接技术已成为金属构件的主要方法之一,有关资料表明,全世界钢材总产量的60%是经过焊接加工后投入使用的。如航天、航空、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

目前,整个焊接行业正在向焊接高效化进军,而我国却处于较为落后的阶段,全国工业行业焊接高效率平均在 25% 左右,而先进国家已达 60% 以上。焊接材料结构很不合理,碳钢焊条占焊接材料总产量 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,而先进国家则占 40% ~ 60%,焊接设备落后,品种少,而且构成比例相当不合理。手工弧焊机的比例高达 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、节能设备仅占总量的 7% 左右,而先进国家则占 30% ~ 40%。

由此可见,我国焊接技术还相当落后,远远不能满足现代工业发展的需要,同时说明手工电弧焊新技术的使用、推广的重要性。

据调查,当前工业领域中相当一部分中级、初级焊接技术工人,其焊接业务水平同实际工作的要求相比差距相当大,直接影响产品的质量水平和生产效率的提高。但是,还应该看到,我国正处在新老技术更替的重要时期,新技术、新设备的推广和普及速度是惊人的,这种落后局面是不会维持多久的,所以,现在就要把新技术的学习和推广工作做在前面,以适应新时期的要求,我们编写本书的内容,是兼顾到这两个方面的。首先,我们以比较详尽的内容介绍手工电弧焊、半自动焊的实用操作技术,以适应初、中级焊接技术人员和初学者的水平,又以相当的篇幅介绍了新技术、新设备、新工艺,使广大读者能对焊接技术的未来发展有一个大概的了解,以便跟上时代的步伐。在全书的安排上无论是手工电弧焊还是半自动、全自动和先进节能高效的焊接技术,主要侧重于实用。在实际生产中的操作技术、工艺及对各种焊接技术的原理、设备、材料作简单、通俗的介绍,力求避免枯燥、复杂的理论叙述。因此,本书最适合于初、中级焊接技术人员作为参考和借鉴。

目 录

第一章 电弧焊的冶金基本原理	(1)
第一节 电弧焊的冶金特点	(1)
第二节 熔化金属与气体的相互作用	(2)
第三节 熔渣与液体金属的作用	(3)
第四节 焊接熔池的形成及结晶	(5)
第五节 焊接接头的组织及性能	(6)
第二章 手工电弧焊	(12)
第一节 手工电弧焊原理、特点及应用	(12)
第二节 手工电弧焊工艺	(14)
第三章 高效手工电弧焊	(71)
第一节 铁粉焊条焊接工艺	(71)
第二节 下行立角焊工艺	(73)
第三节 高效率重力焊接法	(74)
第四节 手工衬垫单面焊接工艺	(76)
第四章 手工电弧焊焊条	(83)
第一节 焊条的选用原则	(83)
第二节 焊条的组成及其功用	(85)
第三节 焊条的分类、型号及牌号	(88)
第四节 酸性焊条和碱性焊条的特点及应用	(89)
第五节 焊条工艺性能的评定	(91)
第六节 常用各类焊条的主要特性	(91)
第七节 焊条的管理、使用及检验	(94)

第八节 高效手工电弧焊条	(95)
第五章 手弧焊电源	(103)
第一节 对手弧焊电源的要求	(103)
第二节 手弧焊电源的结构、原理及特点	(106)
第三节 手弧焊电源的选用	(115)
第六章 金属材料的焊接	(117)
第一节 钢的性能	(117)
第二节 钢中常见的组织	(130)
第三节 合金的相结构与铁碳合金相图	(137)
第四节 钢的热处理	(142)
第五节 焊前预热和焊后热处理	(148)
第六节 碳钢的焊接	(154)
第七节 低合金高强度钢的焊接	(161)
第八节 不锈钢的焊接	(169)
第九节 异种金属的焊接	(176)
第十节 铸铁的焊补	(178)
第十一节 铝及铝合金的焊接	(186)
第七章 高效焊接技术简介	(190)
第一节 埋弧自动焊	(190)
第二节 CO ₂ 气体保护焊	(207)
第三节 钨极氩弧焊	(225)
第四节 钨极脉冲氩弧焊	(232)
第五节 熔化极氩弧焊	(241)
第六节 熔化极脉冲氩弧焊	(242)
第七节 电渣焊	(244)
第八章 焊接质量的检验	(250)
第一节 焊前及焊接过程的质量检验	(250)

第二节	常见的电焊缺陷·····	(252)
第三节	焊接质量检验·····	(264)
第九章	焊接应力和变形及其防止和控制·····	(269)
第一节	焊接应力和焊接变形的产生·····	(269)
第二节	焊接变形的种类及焊接应力的分布·····	(271)
第三节	防止变形措施·····	(274)
第四节	焊接变形的矫正·····	(279)
第五节	焊接应力的降低和消除·····	(282)
第六节	焊接接头焊后的热处理·····	(285)
第十章	电焊工安全技术·····	(288)
第一节	电焊工劳动保护·····	(288)
第二节	电焊工安全技术·····	(292)

第一章 电弧焊的冶金基本原理

第一节 电弧焊的冶金特点

电弧焊时,熔化的金属、熔渣与气体间存在一个特殊的冶金过程,称为焊接冶金。它具有以下特点:

1. 焊接电弧和熔池金属的温度高于一般的炼钢温度,因此有关金属元素被强烈烧损和蒸发,并生成有害杂质。焊接区是一个超高温区,弧柱温度可达 $5000 \sim 8000^{\circ}\text{C}$,其中熔滴温度可达 $1800 \sim 2400^{\circ}\text{C}$,在这么高的温度下,金属气化的分子(如 H_2 、 O_2 、 N_2 等)分解,气体和熔化的金属进行剧烈的化学反应,这时,熔化金属中的氧和氮的含量显著增加,而金属中的锰、硅等有用元素由于烧损和蒸发而减少。由于金属熔池体积小,四周都是冷态金属,所以熔池处于液态的时间很短,这种化学冶金反应难于达到平衡状态。焊缝化学成分不够均匀,气体和杂质来不及浮出,因而易于产生气孔和夹渣等缺陷;同时,因合金元素的烧损,降低了焊缝金属的性能。

2. 由于熔滴温度很高,比表面高得多,此时焊条药皮中的合金元素进入焊缝金属中,使熔滴获得少量锰硅等元素,对焊缝金属的物理性能有所改善。同时,随着电弧的移动,熔池中的温度迅速散入周围的冷态金属中,金属的熔化、结晶和冷却几乎同时进行。又因热源方面的各种各样机械力(如冲击力、气流吹力、电磁应力等)和由于温度分布不均匀,而造成熔滴金属密度的差别以及表面张力的不同,从而引起液态金属的对流运动,有利于排除气体和杂质,从而得到致密而性能良好的焊缝。

第二节 熔化金属与气体的相互作用

一、气体来源

- ①周围的大气；
- ②焊条药皮中水分受热后的水蒸气；
- ③焊接工件表面各种杂质(如油、漆、锈等)产生的气体；
- ④母材金属和焊条金属中残留的气体；
- ⑤在电弧高温下,金属和熔渣的蒸气。

由此可见,焊接过程中气体的数量和种类相当多,主要有氢、氧、氮、一氧化碳、二氧化碳、水气及它们的分解产物和金属蒸气等。

二、熔化金属与气体的相互作用。

1. 金属的气化及其影响

焊接过程中,不可避免地有氧化侵入,而金属又非常容易被氧化,常采用脱氧的办法作为改善焊缝质量的主要办法之一。

由于氧化的结果,使有的合金元素大量烧损,焊缝含氧量增加,氧在金属中大部分以夹杂物形式存在,对焊缝金属的性能影响很大,使强度极限、屈服极限、冲击韧性、硬度等都有显著降低,还能引起红脆、冷脆和时效硬化,使导电性、导磁性、耐腐蚀性也降低,溶解在金属中的氧和碳生成 CO,不及逸出,就会生成气孔。

2. 金属的氮化及其影响

周围空气是氧的主要来源,总有一定的氮侵入焊接区域,与熔化金属发生作用。

氮对金属的机械性能影响很大,使钢的强度和硬度增加,而塑性和韧性急剧下降。

氮也是产生气孔的原因之一,因此,氮是有害气体,但脱氮没有脱氧那么容易,最好的办法是加强保护,主要方法有气体保护,熔渣

保护等。

3. 氢对焊缝金属的影响

氢主要来自药皮焊芯中的水分、药皮中的有机物、焊件表面的杂质和空气中的水分。

氢几乎能被所有金属吸收。

氢对金属的影响主要是脆化。氢可在焊缝中形成气孔及白点，在接头中促使形成冷裂纹等缺陷。

氢脆与金属承受的变形度有密切联系。分两类：

第一类氢脆，脆化程度随变形速度增大而增大，即通常所说的“氢病”。

第二类氢脆，脆化程度随变形速度增大而减少，这种现象是在含氢量并不超过试验温度时的溶解度，而只在某一温度范围内小的变形速度下产生的一种诸晶界脆裂的现象。通常提到的氢脆主要是指这一类。

第三节 熔渣与液体金属的作用

焊接时，熔渣和液体金属之间一直在相互作用，发生一系列的物理、化学、冶金反应，使焊缝得到理想的化学成分和机械性能。

一、熔渣的保护作用

手弧焊时，焊条药皮熔化形成熔渣包裹着熔滴，使熔滴在通过电弧空间向熔池过渡时将空气隔开，从而使熔池金属与周围空气隔绝，防止氧化、氮化。

二、熔渣的脱氧作用

排除熔池中氧化铁的方法叫金属的脱氧。脱氧是通过加入脱氧剂来实现的。①用锰脱氧：在药皮中加入锰铁，可以脱氧；②用硅脱氧：反应后生成酸性氧化物二氧化硅，不溶于钢液中形成硅酸盐，有利于脱氧；③用钛脱氧：钛和氧的亲合力极强，但有很大一部分钛刚

一熔化就被烧损,不经济;④用铝脱氧:铝是最强的脱氧剂,但因铝脱氧后生成的三氧化二铝(Al_2O_3),熔点高(2050°C)容易形成夹渣。同时,铝要引起焊接过程的飞溅,使焊缝成型不良。所以用铝脱氧,数量上受一定限制。

三、熔渣的脱硫作用

硫是一种极有害的杂质,是钢产生热裂纹和红脆性的主要原因。它最容易引起偏析,对钢材的耐腐蚀性能也影响很大。

①用锰脱硫 加入的脱硫成分是锰和氧化锰。用酸性焊条脱硫是困难的,因焊条药皮中加入的锰和氧化锰是有限的,否则熔渣的酸度会发生变化。增加熔池中的含锰量和增加熔渣的碱度,有较好的脱硫效果。

②用钙脱硫 钙和硫能形成稳定的硫化物,且不溶于金属中。熔渣中的碱度愈大,脱硫愈好。

四、熔渣的脱磷作用

脱磷反应分两步,第一步将磷氧化,生成 P_2O_5 。第二步使之与渣中的碱性氧化物,生成稳定的复合物进入熔渣。

熔渣中同时存在较多的 FeO 和 CaO 时最有利于熔池脱磷。

酸性焊条中 FeO 虽然含量较多,但因 CaO 、 MnO 较少,所以脱磷能力不强;碱性焊条 CaO 较多,同时,有 CaF_2 的促进作用,故有利于脱磷,然而由于 FeO 的含量不能多,否则会使焊缝增氧,甚至产生气孔,因此脱磷效果也不太理想。

五、焊缝金属渗合金

在焊接过程中,使一些有益的合金元素损失,从而使焊缝组织及性能发生变化。为此,就需要预先添加一定量的合金元素,以补偿这部分损失。另外,为了改善焊缝金属的性能或满足某些特殊性能的要求,补加一些原母材金属没有的金属元素。如结构钢焊接时,为了提高冲击韧性,而补加一些合金元素作为变质剂,以细化晶粒。最常

用的有钛铁合金、钼铁合金和铝等。更具有经济意义的是堆焊时渗合金。如冷加工和热加工用工具,要求表面有耐磨性、耐热性和耐腐蚀性。又如动力装置、化工设备等使用的很多阀门,其端面很容易磨损,常需在阀门端面堆焊耐磨合金,可大大提高耐磨性,延长阀门使用寿命。

手工电弧焊时,使焊缝金属合金化的方式有两种,一种是通过焊芯(利用合金钢焊芯),另一种是通过焊条药皮。有的焊条是两种方式同时兼用。

通过合金钢焊芯,外面再涂覆碱性渣系的药皮,是效果和可靠性较好的焊缝金属渗合金的方式。焊条药皮中常用的合金剂有锰铁、硅铁、铬铁、钼铁、钴铁、钒铁等。

影响合金元素过渡系数的因素很多,其中主要有焊接熔渣的酸碱度。利用药皮来渗合金时,一般均采用氧化性极低的碱性渣系药皮,这样有利于合金元素过渡到焊缝中去。合金元素本身与氧的亲合力对过渡系数的影响也很大,钛、铝与氧的亲合力最大、最易被烧损,故过渡系数最小;钼、镍等与氧的亲合力较弱,所以它们的过渡系数较大。焊接工艺对合金氧化也有影响,电弧愈长,合金过渡愈小。

为了使焊缝具有一定的合金成分,首先要加入足够量的合金剂。此外,还要设法减少合金元素的氧化。

第四节 焊接熔池的形成及结晶

一、熔池的形成

电弧焊时,焊接电流通过焊芯时产生的电阻热,焊接电弧传给焊条端部的热,以及化学反应产生的热能,使焊条熔化成熔滴。金属熔滴在其本身的重力、表面张力、电磁力、电弧吹力等的综合作用下,从焊条端部向熔池过渡。过渡的形式有短路过渡、颗粒状过渡、射流过渡。

在热源作用下与焊条熔化的同时,被焊接金属也发生局部熔化。

形成由焊条金属和被焊金属组成的、具有一定几何形状的熔池,如图 1-1 所示。

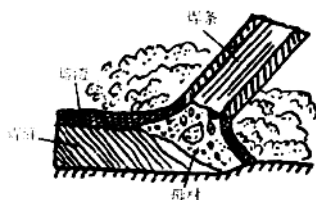


图 1-1 熔池的形成



图 1-2 焊缝金属结晶示意图

二、熔池金属的结晶

当电弧移动以后,熔池很快冷却下来,开始结晶。焊接熔池的结晶也与一般金属一样,有生核和核长大的过程。先在母材坡口处未完全熔化的晶粒表面形成自发晶核,再以这些晶核为核心,联生地长大成柱状晶,并且垂直于结晶等温面,一直可长到焊缝中心,如图 1-2 所示。

由图可知,焊缝晶粒的大小很大程度上决定于与熔池相接处母材的原始晶粒大小。

焊接条件下,一般不产生等轴晶,只有在焊接速度很大时,在焊缝中心会出现等轴晶。

第五节 焊接接头的组织及性能

焊接接头包括焊缝金属和热影响区。由于各个部分在焊接过程中进行的焊接冶金过程不同,经受的热循环作用也不同,使各部分的组织和性能存在较大的差异。现以钢的焊接接头为例进行分析。

一、焊缝金属的组织 and 性能

当热源离开后,熔池中的液体金属很快冷却凝固成焊缝。焊接熔池从液相向固相转变的过程称为焊接熔池的一次结晶。焊接熔池凝固后焊缝金属从高温冷却到室温时,还会发生固态相变,产生不同的组织。焊缝金属的固态相变过程称为焊缝金属的二次结晶。

(一) 焊接熔池的一次结晶组织

一次结晶产生柱状晶,其组织为奥氏体。由于焊缝结晶冷却速度很快,在每一温度下,固相内的成分来不及趋于一致,而在相当大程度上保持着由于结晶先后而产生的成分不均匀性,即所谓偏析现象。焊缝中的偏析对焊缝质量的影响很大,不仅使化学成分不均匀,性能变化,而且是产生裂纹、气孔的主要原因之一。

(二) 焊缝金属的二次结晶组织

一次结晶的奥氏体继续冷却到相变温度以下,经过二次结晶而得到的实际组织,其组织状态与焊缝金属的化学成分,冷却条件和热处理等因素有关。

1. 低碳钢的焊缝组织

低碳钢的焊缝金属含碳量很低。一次结晶得到的是奥氏体组织,当冷却至相变温度时,奥氏体转变成铁素体和珠光体。由于焊接时的冷却速度大,故珠光体的含量比一般平衡状态下的组织中含量大,冷却速度越快,珠光体的数量就越多,铁素体就越少。若高温停留时间过长,冷却速度很慢,则铁素体还有魏氏组织特征。

2. 低合金高强度钢的焊缝组织

合金元素含量较少的低合金钢组织与低碳钢相似。一般冷却速度条件下,焊缝组织为铁素体加少量珠光体;冷却速度大时,也会产生粒状贝氏体。

合金元素含量较高,淬透性较好的低合金高强度钢,其焊缝组织为贝氏体或低碳马氏体,高温回火后为回火索氏体。

3. 钼和铬钼耐热钢的焊缝组织

合金元素较少(铬 $<5\%$)的耐热钢,在焊前预热,焊后缓冷的条

件下,得到珠光体和部分淬硬组织;高温回火后,可得到完全的珠光体组织。

含合金元素较多(铬=5~9%)的耐热钢,当焊接材料成分与母材相近时,在焊前预热,焊后缓冷的条件下,其焊缝组织为贝氏体组织,也可能出现马氏体。不锈钢焊接材料时,则焊缝组织主要为奥氏体。

4. 不锈钢的焊缝组织

奥氏体不锈钢的焊缝组织,一般为奥氏体加少量铁素体(2~6%)。

铁素体型不锈钢的焊缝组织,当焊接材料成分与母材相近时为铁素体;当采用铬镍奥氏体焊接材料时为奥氏体。

马氏体型不锈钢的焊缝组织,当焊接材料成分与母材相近时,焊缝回火后的组织分别为马氏体和回火马氏体;当采用铬镍奥氏体焊接材料时为奥氏体。

(三)焊缝金属的组织与性能的关系

1. 一次结晶组织与性能的关系

当焊缝一次结晶组织为细的柱状晶时,其性能比粗大的柱状晶好,粗大的柱状晶不仅降低焊缝强度,而且降低其塑性和韧性。

从焊缝中的偏析来看,偏析越严重,化学成分越不均匀,焊缝的抗裂性能越差,机械性能和耐腐蚀性能的不均匀程度越大。当硫、磷等杂质元素偏析严重且集中在焊缝中心线处时,很容易发生热裂纹。

2. 二次结晶组织与性能的关系

从强度看,马氏体比其它组织的强度要高,贝氏体的强度介于马氏体和铁素体加珠光体组织之间,铁素体奥氏体的强度较低。从塑性、韧性来看,奥氏体在温度下降时无明显的脆性转变现象,塑性、韧性较其它组织为好;铁素体加珠光体组织次之;粒状贝氏体强度较低,但具有较好的韧性,下贝氏体具有较高的强度,又有良好的韧性,上贝氏体韧性最差;高碳马氏体则有相当的强度和良好的塑性和韧性相结合的特点。

从抗裂性能来看,铁素体加珠光体组织和奥氏体抗裂性能较好,

奥氏体加少量铁素体双相组织比单相奥氏体具有更好的抗裂性能
贝氏体、贝氏体加马氏体和贝氏体则对冷裂纹的敏感性最大

此外组织越细、越均匀,其性能比粗大而不均匀的组织好

二、热影响区的组织与性能

(一)低碳接头的热影响区

分布特征如图 1-3 所示

1. 熔合区

- 1——熔合区;
- 2——过热区;
- 3——正火区;
- 4——不完全重结晶区;
- 5——母材;
- 6——淬火区;
- 7——部分淬火区;
- 8——回火区

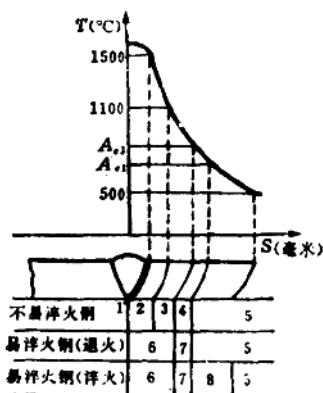


图 1-3 焊接热影响区分布特征

焊缝金属与母材之间的过渡区,即半熔化区和未混合区,

称为熔合区,其温度处于固相线与液相线之间。熔合区在化学成分和组织性能上都有较大的不均匀性,在接近母材一侧的金属组织是过热组织,塑性差。同时又因温度梯度大,所以熔合区是很窄的,但对强度、塑性都有很大的影响。在许多情况下,熔合区是产生裂纹、局部脆性破坏的发源地

2. 过热区

此区段处于 1100℃ ~ 固相线温度的高温范围。在这样高的温度下,奥氏体晶粒膨胀长大,尤其在 1300℃ 以上时晶粒十分粗大,冷却后就获得粗大的过热组织(气焊时还可能得到魏氏组织),使材料的塑性大大降低,特别对冲击韧性的影响尤为显著(通常需要降低

20~30%)。如果焊件的刚性很大,则常在此区产生裂纹。所以,过热区是焊接接头中最危险的区段。

3. 正火区(相变重结晶区)

金属被加热到 A_{c3} 以上稍高的温度下,铁素体和珠光体全部转变为奥氏体。由于焊接时加热速度很快,在高温下停留时间又短,所以奥氏体晶粒还未十分长大。故该区空冷下来后,得到均匀细小的铁素体和珠光体组织,相当于热处理中的正火组织,是接头中综合机械性能最好的区段。此区的温度范围约在 $A_{c3} \sim 1000^\circ\text{C}$ 之间。

4. 不完全重结晶区

此区段温度范围在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间的热影响区。温度稍高于 A_{c1} 时,首先珠光体转变为奥氏体,随温度的升高,在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 温度范围内只有部分铁素体熔入奥氏体,其余部分铁素体则保留下来。冷却后,奥氏体转变为细小的铁素体和珠光体;而熔入奥氏体的铁素体不发生转变。随着温度升高,晶格略有长大。因而冷却后晶粒大小和分布不均匀,使得材料的机械性能不均匀。

若钢材在焊接之前经过塑性变形,有碎晶和晶格扭曲,在 $500^\circ\text{C} \sim A_{c1}$ 温度范围将进行再结晶。再结晶区段的组织对机械性能的影响不大。

在那些具有时效敏感性的钢种中,处于 $A_{c1} \sim 300^\circ\text{C}$ 的温度范围内,强度稍有提高,而塑性急剧下降,产生脆化现象。

手工电弧焊热影响区宽度约为 6mm 左右,而气焊约为 27mm 左右。

(二) 淬硬倾向较大的钢种接头热影响区分布特征

1. 完全淬火区

当加热温度超过 A_{c3} 以上的区域,由于钢种的淬硬倾向较大,故冷却后得到淬火组织(马氏体),靠近焊缝附近(相当于低碳钢过热区)是粗大的马氏体;而相当正火区的部分得到细小的马氏体。当冷却速度较慢或含碳量较低时,会有托氏体和马氏体同时存在;大线能量焊接时,还会出现贝氏体,从而形成与马氏体共存的混合组织。这个区在组织上都同属一类型(马氏体),只有粗细之分,所以统称为完