

特种作业人员安全技术培训系列丛书



金属焊接与切割作业人员 安全技术

闫成新 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

特种作业人员安全技术培训系列丛书

金属焊接与切割作业人员 安全技术

闫成新 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了金属焊接与切割的基础理论知识和安全技术知识,以及金属焊接与切割基本操作、安全防护及现场急救措施等。

本书可做金属焊接与切割作业人员安全技术培训教材,也可供企事业单位安全、设备管理人员及高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属焊接与切割作业人员安全技术 / 闫成新编著.
—北京:中国石化出版社,2010.4

(特种作业人员安全技术培训系列丛书)

ISBN 978-7-5114-0335-3

I. ①金… II. ①闫… III. ①金属材料-焊接-安全技术-技术培训-教材②金属-切割-安全技术-技术培训-教材 IV. ①TG457.1②TG48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 046700 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 18 75 印张 360 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

前 言

金属焊接与切割作业属于装备制造业中的特种作业，具有较强的技术性和一定的危险性。根据《劳动法》、《安全生产法》等国家相关法律法规，金属焊接与切割作业人员必须经过正规培训单位理论和实践的系统培训，掌握金属特性、焊接原理、焊接设备的使用维护与故障排除、焊接安全技术与防护等方面的知识，使作业人员具备必要的安全知识和安全操作技能，避免违章作业，有效防止伤亡事故，保障焊接与切割作业的顺利完成。国家标准也专门对焊接操作规程及焊接安全防护作了严格的规定，石油工业安全专业标准化技术委员会还专门制定了体现石油石化行业特殊性的行业焊接标准。必须定期对金属焊接与切割作业人员进行技术培训与安全培训，金属焊接与切割作业人员必须持证上岗。

本书既注重金属焊接与切割技术的理论性，又注重现场操作的实际应用，并注重焊接与切割安全技术与防护意识的培养。金属焊接与切割的基础理论知识方面，系统地讲述了焊接基础知识、焊接设备工作原理、焊接生产技术，使学员了解焊接金属特性、焊接材料、焊接设备及焊接工艺等。为使操作人员更好的掌握实际操作技术，介绍了金属焊接与切割基本操作，使学员能够更好地掌握焊接与切割操作规程与操作技巧，更好地掌握焊接与切割的基本技能。本书还介绍了各种金属焊接与切割的安全技术，并介绍了各种安全防护和现场急救措施。书中还介绍了大量焊接安全案例，帮助提高焊接操作人员的安全意识。针对石油石化行业金属焊接与切割作业的特殊性，本书还介绍了与石油石化密切相关的特种焊接技术与安全防护技术，介绍了常见石油石化设备的焊接技术，便于石油石化焊接与切割作业人员掌握金属焊接与切割技能与安全防护技术。本书文字流畅，通俗易懂，图文并茂，实用性强，可以作为金属焊接与切割作业人员的安全技术培训考核教材，也可供企事业单位安全、设备管理人员和高等院校相关专业师生阅读参考。

本书在编写过程中，得到了中国石油大学(华东)郝点教授、陈国明教授的大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 焊接在工业生产中的地位及发展概况	(1)
第二节 焊接的分类及金属材料的焊接性	(2)
第三节 焊接安全技术及事故类别	(4)
第二章 焊接基础知识	(7)
第一节 金属组织及其性能	(7)
第二节 焊接冶金及焊接接头组织	(19)
第三节 焊接材料	(27)
第四节 焊接用电知识	(35)
第三章 焊接设备	(44)
第一节 弧焊电源	(44)
第二节 手工电弧焊设备	(47)
第三节 埋弧自动焊设备	(54)
第四节 手工钨极氩弧焊设备	(62)
第五节 二氧化碳气体保护焊设备	(66)
第六节 其他焊接设备	(72)
第四章 焊接生产技术	(82)
第一节 手工电弧焊	(82)
第二节 氩弧焊	(88)
第三节 二氧化碳气体保护焊	(97)
第四节 埋弧自动焊	(102)
第五节 炭弧气刨	(106)
第六节 焊缝表面质量的检验	(108)
第七节 焊缝内部质量检验	(112)
第五章 焊接操作基本技能	(122)
第一节 手工电弧焊操作技能	(122)
第二节 埋弧自动焊操作技能	(142)
第三节 CO ₂ 气体保护焊操作技能	(153)
第四节 手工钨极氩弧焊操作技能	(163)
第五节 焊接缺陷及其返修	(168)

第六章 焊接安全技术	(177)
第一节 概述	(177)
第二节 手工电弧焊的安全技术	(178)
第三节 埋弧焊的安全技术	(181)
第四节 钨极氩弧焊的安全技术	(182)
第五节 CO ₂ 气体保护焊的安全技术	(183)
第六节 焊接防护技术	(183)
第七节 现场急救措施	(194)
第七章 特种焊接及其安全技术	(201)
第一节 水下焊接及其安全技术	(201)
第二节 化工、燃料容器及管道焊接安全技术	(208)
第三节 高空焊接及其安全技术	(212)
第四节 寒冷环境的焊接	(213)
第五节 输油管线的在线焊接	(215)
第六节 局限空间作业及安全技术	(216)
第八章 常见石油石化设备的焊接	(222)
第一节 球形容器焊接	(222)
第二节 立式储油罐焊接	(226)
第三节 热壁加氢反应器焊接	(230)
第四节 复合板塔器	(232)
第五节 管道焊接	(235)
第九章 焊接安全案例	(247)
第一节 爆炸和火灾	(247)
第二节 触电事故	(261)
第三节 灼烫	(266)
第四节 急性中毒	(267)
第五节 高处坠落	(269)
第六节 机械伤害	(271)
第七节 国外焊接安全事故案例	(272)
附录	(278)
附录 1 焊接、切割作业人员安全技术培训考核大纲	(278)
附录 2 焊接安全技术操作规程	(279)
附录 3 SY6516—2001 石油工业电焊焊接作业安全规程	(283)
参考文献	(292)

第一章 绪 论

第一节 焊接在工业生产中的地位及发展概况

一、焊接在工业生产中的地位

焊接是通过加热或加压(或两者并用),并且用(或不用)填充材料,使工件达到结合的一种工艺方法。焊接是在工业产品的制造过程中,将零件连接起来最常采用的一种加工方法。

工业生产中采用的连接方法,主要分为可拆连接和不可拆连接两大类。螺钉、键、销钉等连接方式属于可拆连接,它们通常不用于制造金属结构,而是用于零件的装配和定位工作中。不可拆连接有铆接、焊接和粘接等几种方式,它们通常用于金属结构或零件的制造中。其中铆接应用较早,但它工序复杂、结构笨重、材料消耗也较大。粘接虽然工艺简单,而且在粘接过程中对被粘材料的组织和性能不产生任何不良影响,但受胶黏剂的影响,其接头强度一般较低,也使其应用受到了限制。相反,焊接方法不但易于保证焊接结构等强度的要求,而且相对来说工艺比较简单,加工成本也比较低廉,所以目前还没有其他方法能够比焊接更为广泛地应用于金属结构件的连接。

焊接作为制造业的基础工艺与技术,为工业经济的发展做出了重要的贡献。在人类社会发展的各个重要领域,如航空航天、核能利用、电子信息、海洋钻探、高层建筑等,都离不开焊接技术。据工业发达国家统计,每年仅需要进行焊接加工之后使用的钢材就占钢材总产量的45%左右。我国也约有35%~45%的钢材要经过焊接才能变为工业的最终产品。

二、焊接技术的发展概况

公元前3000多年,古埃及就已经出现了锻焊技术。公元前2000多年,中国的殷朝就采用铸焊制造兵器。公元前200年,中国已经掌握了青铜的钎焊及铁器的锻焊工艺。但是,现代意义的焊接技术是19世纪末开始的。1885年炭极电弧的发明,开创了电弧作为工业热源应用的先河,1930年出现了涂药焊条以后,电弧焊才真正意义的应用于工业生产。电阻焊发明于1886年,此后逐渐完善为电阻点焊、缝焊和对焊方法。

20世纪是焊接技术发展最活跃的时期,很多重要的焊接方法均出自这一时期。其间物理学中发现了一些功率密度比电弧高出几个数量级的电子束、等离子束、激光束等新型热源,因而也应运而生了真空电子束焊、等离子束焊和激光

焊。这些高能束焊接技术的工业应用,已成为焊接技术向优质、高效、低耗、清洁、灵活的技术方向发展的代表。在 20 世纪后半叶,焊接自动化程度亦得到了很大的提高,由原来的手工操作的电弧焊为主,发展到以更加环保、经济、高效、优质的气体保护焊及自动焊为主。数字化焊接更进一步促进了焊接生产自动化、智能化的发展,并使焊接生产利用互联网实现远程控制成为现实。

今天,焊接技术正面临着新世纪的挑战。一方面,材料科学进入 21 世纪已显示出五个方面的变化趋势,即从黑色金属向有色金属变化;从金属材料向非金属材料变化;从结构材料向功能材料变化;从多维材料向低维材料变化;从单一材料向复合材料变化。新材料的出现对焊接技术提出了更高的要求。另一方面,基于计算机技术的先进制造技术,如计算机辅助焊接(CAW)、焊接机器人、计算机集成制造系统(CIMS)等的蓬勃发展,正从信息化、集成化、系统化、柔性化等几个方面改变着焊接技术的生产面貌。

第二节 焊接的分类及金属材料的焊接性

一、焊接的分类

近百年来,随着科学技术的不断发展,各种焊接方法层出不穷。按照焊接过程中金属所处的状态和工艺特点,可以把焊接方法分为三大类,即熔化焊、压力焊和钎焊。常用金属材料焊接方法分类如图 1-1 所示。

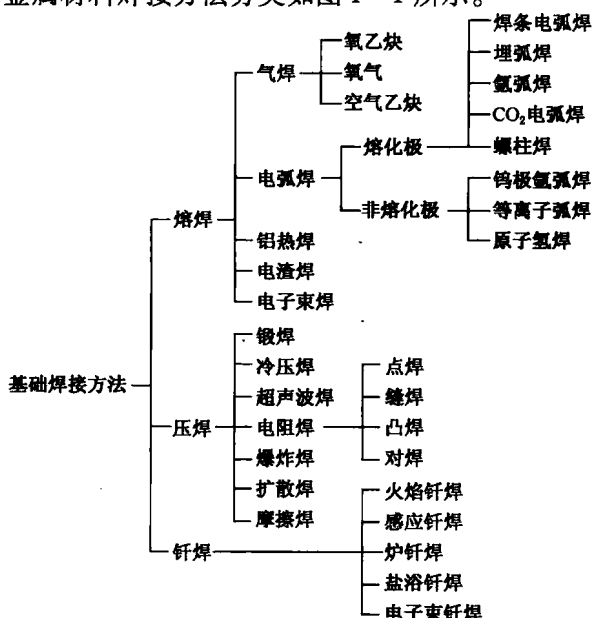


图 1-1 焊接方法分类

熔化焊,是焊接过程中将焊件接头处加热至熔化状态,添加填充金属或不添加填充金属完成焊接的方法。加热增加了金属原子的动能,促进原子间的相互扩散。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间可以充分扩散和紧密接触,因此无需施加任何压力,冷却凝固后即可形成牢固的焊接接头。常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护焊等都属于熔化焊的范畴。

压力焊,是在被焊金属连接处,无论加热与否,均需要施加一定的压力,使其连接面原子间相互结合,而形成牢固焊接接头的方法。压力焊有两种形式:一是将被焊金属接触部分加热到塑性状态,或局部达到熔化状态时,然后施以一定的压力,金属原子间相互结合形成一个牢固的焊接接头,如锻焊、电阻焊、摩擦焊等;二是不采用加热,仅在被焊金属的接触面上施加足够的压力,借助于压力所产生的塑性变形,使金属原子间力相互作用,从而获得牢固的压挤接头,如冷压焊、爆炸焊等。

钎焊,是被焊金属材料本身不熔化,而是利用某些熔点比被连接构件材料熔点低的金属作填充金属,在连接界面上流散浸润,经过冷却结晶,使被钎焊金属连接在一起的方法,如烙铁钎焊、火焰钎焊等。

二、金属材料的焊接性

金属焊接性是指材料在限定的施工条件下焊接成按规定设计要求的构件,并满足预定服役要求的能力。焊接性受材料、焊接方法、构件类型及使用要求四个因素的影响。根据上述定义,优质的焊接接头应具备两个条件:即接头中不允许存在超过质量标准规定的缺陷,同时具有预期的使用性能。根据讨论问题的着眼点不同,焊接性又分为工艺焊接性和使用焊接性。

① 工艺焊接性是指金属材料对各种焊接方法的适应能力,也就是在一定的焊接工艺条件下能否获得优质致密、无缺陷焊接接头的能力。它不是金属本身所固有的性能,而是随着焊接方法、焊接材料和工艺措施的发展而变化的,某些原来不能焊接或不易焊接的金属材料,可能会变得能够焊接和易于焊接。

② 使用焊接性是指焊接接头或整体结构满足技术条件规定的使用性能的程度。显然,使用焊接性与产品的工作条件有密切的关系。

三、影响焊接性的因素

影响焊接性的因素很多,对于金属材料来讲,可归纳为材料、工艺、结构及使用条件等四个因素。

① 材料因素。材料因素是指焊接时直接参与物理化学反应和发生组织变化的所有材料,包括母材本身和使用的焊接材料。如电弧焊时用的焊条,埋弧焊用的焊丝和焊剂,气体保护焊用的焊丝和保护气体等。它们在焊接时都直接参与熔池及半熔化区的冶金过程,直接影响焊接质量。正确选用母材和焊接材料是保证焊接性良好的重要基础,必须十分重视。

② 工艺因素。对于同一母材，当采用不同的焊接方法和工艺措施时，会表现出不同的焊接性。如钛合金对氧、氮、氢极为敏感，用气焊和焊条电弧焊不可能焊好；而用氩弧焊或真空电子束焊，因能防止氧、氮、氢的侵入，使之容易焊接。

焊接方法对焊接性的影响主要来自两个方面：首先是热源的特点（功率密度、加热方式、热源参数及极性），它可以直接影响焊接热循环的主要参数，从而影响接头的组织与性能；其次是不同的保护方式（如熔渣保护、气体保护、气渣联合保护或真空保护），它会影响焊接冶金过程，从而对焊接接头的质量和性能起到重要影响。

工艺措施对防止焊接接头缺陷的产生，提高使用性能也有重要的影响。最常见的工艺措施是焊前预热、焊后缓冷和消氢处理，它们对防止热影响区淬硬变脆，降低焊接应力，避免氢致冷裂纹等是比较有效的措施。

③ 结构因素。焊接接头和结构设计会影响应力状态，从而对焊接性也发生影响。结构的刚度过大、接口的断面收缩突然变化、焊接接头的缺口效应等，均会不同程度地造成脆性破坏。此外，在某些部位的焊缝过度集中和多向应力状态也会对结构的安全性有不良影响。

④ 使用条件。焊接结构的使用条件是多种多样的，有的在高温或低温下工作，有的在静载或动载条件下工作，有的则在腐蚀介质中工作等。如在高温下工作时，有可能发生蠕变；在低温或冲击载荷下工作时，会发生脆性破坏；在腐蚀介质中工作时，接头要求是有耐腐蚀性。总之，使用条件越不利，焊接性就越不容易得到保证。

综上所述，金属的焊接性与材料、工艺、结构、使用条件等密切相关，不能脱离这些因素而单纯从材料本身的性能来评价焊接性。此外，从上述分析也可以看出，很难用某一项技术指标可以概括材料的焊接性，只有通过综合多方面的因素，才能分析焊接性问题。

第三节 焊接安全技术及事故类别

一、焊接安全技术

焊接安全技术是为焊接安全而采取的一系列综合性技术措施。

在焊接作业过程中，作业人员需接触各种可燃易爆气体、压力容器、燃料容器、电机电器，需要使用明火，有时需要在高处或水下作业，或者需要钻进密闭容器、锅炉、船舱、坦克、地沟或管道等狭小的作业空间里，不仅工作条件艰苦，而且还有一定的危险性，可能发生爆炸、火灾、触电、灼烫、高处坠落和溺水等工伤事故。另外，焊接过程中产生的电焊烟尘、有毒气体、弧光辐射、噪

声、高频电磁场和射线等有害因素，会造成焊工尘肺、慢性中毒、血液疾病、电光性眼疾和皮肤病等职业病症。当长期在狭小的作业空间里操作而又通风不良时，会使呼吸系统受到伤害。

焊接作业中存在着各种对操作者安全健康不利的客观因素。焊接作业人员心理因素不佳及违反操作规程等人为因素，都会导致意外事故发生，危害自身的健康与安全。焊接安全技术就是从提高作业人员的素质，改善设备安全性能以及恰当地人机匹配这三个问题出发，预防事故发生，维护焊接作业人员健康，保证企业安全生产。焊接作业需要人去操纵设备、使用工具、器材等，其中人是能动的要素，高效发挥人的思维，利用人的生物能量及应变能力，是可以从早期预防及临危反应方面消除事故的。

这就需要焊接作业人员不但应具有较全面的焊接专业技术知识，还应掌握本工种所涉及的安全技术知识。设备安全技术贯穿于设计制造、安装、使用的全过程中，焊接作业人员尤应注意安全使用和维护电焊设备，这是保护人身安全的必要措施。电焊设备、设施各不相同，作业人员的技术水平也不同，要达到人机匹配，就需要人对机器适应，设备对操作者的失误进行补救，二者完美的配合也是防止事故的一个重要方面。因此，应使广大焊接作业人员及生产管理人员了解和掌握焊接安全技术理论知识，熟知在焊接过程中可能发生事故和产生职业危害的原因，从而采取有效的安全防护措施。

二、焊接事故类别

1. 火灾和爆炸

在气焊气割作业中，大量使用着易燃易爆危险物品，如用电石、乙炔、液化石油气、氧气等，同时使用着各种压力容器，如氧气瓶、乙炔发生器、乙炔瓶和液化石油气瓶等。在焊割作业中，无论是电焊还是气焊，均采用明火作业，都会产生炽热的金属火星(熔渣)四处飞溅。况且在焊割盛装过其他易燃易爆气体、液体的容器、管道时，未采取置换、冲洗、吹除、采样分析及消除残留物的措施；对施焊作业现场周围没有认真地进行检查和消除易燃物；在安装检修冷却塔时，因为冷却塔的散热件大部分是采用聚丙烯树脂，焊接作业中未采取必要的安全措施；在电弧焊接工作中，由于电焊机和线路短路、超负荷运行，导线或电缆接触不良、松脱以及电焊设备的其他故障等。这些都很容易构成火灾、爆炸的条件而导致事故的发生。

2. 触电

在焊接作业过程中，焊工触电的机会比较多，如更换焊条、调节焊接电流时，焊工的手或身体某部直接接触焊钳带电部位。而且电焊机的空载电压，一般在50~90V左右，尤其在金属容器、管道、锅炉内或在金属结构上及潮湿的地方焊接时，周围都是金属导体，很容易发生此类事故。另外，手或身体某部碰

到裸露的导线接头、接线柱、极板及绝缘失效的电线，或碰到电焊机变压器、绝缘损坏线路的裸导体，或接触电焊设备意外带电的外壳等，这些都可发生触电事故。

3. 灼烫

在焊接火焰或高温电弧的作用下，产生大量金属熔渣飞溅，这是造成焊工烧伤和烫伤事故的主要热源。在实际操作中，若焊工没有按规定穿戴好工作服和劳动保护防护用品，而电焊时又没有严格执行拉合闸操作要求等，很容易造成焊工灼烫事故，这是焊接事故中最常见的一种。

4. 急性中毒

焊接作业会产生某些有毒有害气体和金属烟尘，在检修补焊操作中，还会遇到来自容器和管道里的其他生产性毒物与有害气体。在作业环境狭小的地方，焊接有涂漆、塑料或镀铅等涂层和经过脱脂的焊件时，涂层物质和脱脂剂在高温作用下会蒸发或裂解形成有毒气体和有毒蒸气等。特别是在作业空间狭小的容器、管道、锅炉、船舱内或空间矮小，通风不良的车间作业时，有害气体和金属烟尘的浓度较高。这些情况都会发生此类事故。

5. 高处坠落

焊工在距离地面 2m 以上的地方从事焊、割作业时，如果违反高处作业的有关安全操作规程或没有穿戴完好的个人防护用品等，就有可能发生高处坠落伤亡事故。

6. 机械伤害

移动和翻转笨重的焊件，或者是躺卧在金属结构、机器设备底下进行仰焊操作时，或者在天车吊转的焊件上面施焊，甚至在已停止转动的设备和机器里面进行焊接，但未切断设备和机器的主机、辅机、运转机构的电源和气源，未锁住启动开关等等，这些都有可能发生压、挤、砸、摔伤等伤害事故。

7. 弧光辐射

焊接的辐射危害有：可见强光、不可见红外线和紫外线等，除电子束焊接会产生 X 射线外，其他焊接作业不会生产影响生殖机能一类的辐射线。气焊和电焊时可用护目玻璃，减弱电弧光的刺目和过滤紫外线和红外线。氮弧焊时，弧光最强，辐射强度也最大，紫外线强度达到一定程度后，会产生臭氧，工作时除要戴护目眼镜外，还应戴口罩、面罩，穿戴好防护手套、脚盖、帆布工作服。

8. 高频电磁场

高频电磁场是高频振荡器产生的，振荡器的输出频率为 150 ~ 260kHz，电压为 2000 ~ 3000V，以帮助引燃电弧。高频电磁场会使人头晕、疲乏。应减少高频电磁场的作用时间，引燃电弧后立即切断高频电源，焊炬和焊接电缆用金属编织线屏蔽。

第二章 焊接基础知识

第一节 金属组织及其性能

一、纯金属的构造

固体物质可分为晶体和非晶体。在非晶体内，原子在空间是杂乱而无秩序的排列。例如，玻璃就是这种非晶体。在晶体内，原子或分子在空间是按一定的几何规律排列的，它构成的空间格子称为晶格。食盐就是晶体，所有固体金属都属于晶体。

晶格是金属结晶构造的最小单元，许多有规则的晶格，可组成形状不规则的晶粒，这些我们用肉眼是看不到的，只有在显微镜下，才能看到晶粒的形状和大小。

1. 纯金属的晶体构造

纯金属的晶格主要有三种类型：体心立方晶格、面心立方晶格和密集六方晶格，这三种晶格的形状如图 2-1 所示。

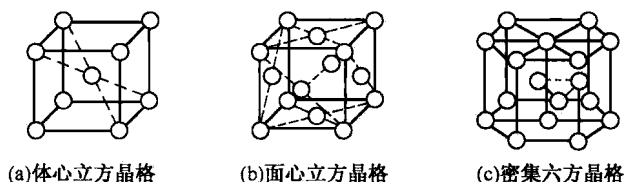


图 2-1 金属的晶格类型

① 体心立方晶格[图 2-1(a)]。从晶格中取出一个单位立方体，它有 9 个原子组成，8 个顶角各有一个原子，在立方体中心还有一个原子。常温下的纯铁（又称 α 铁）以及铝、钨、钒等都具有体心立方晶格。

② 面心立方晶格[图 2-1(b)]。从晶体中取出一个单位立方体，它拥有 14 个原子，8 个顶角各有一个原子，在立方体的 6 个平面中心，也各有一个原子。铜、镍、温度在 $910 \sim 1390^{\circ}\text{C}$ 时的纯铁(γ 铁)等都具有这种面心立方晶格。

③ 密集六方晶格[图 2-1(c)]。从晶体中取出一个单位六方柱体，它由 17 个原子组成，12 个顶角各有一个原子，上下两个正六方面的中心也各有一个原子，在六方柱体的中心，还有 3 个原子。锌、镁等都具有这种晶格。

2. 液体金属的结晶过程

金属由液体凝固为固体的过程,叫做结晶(或一次结晶)。当液体金属冷却到熔点以后,金属内部就有一些原子(难熔的质点)开始稳定下来,成为结晶的核心(简称晶核)。温度继续下降,一方面在已经产生的晶核附近,原子按一定的几何规律凝结排列起来,长大为晶粒;另一方面又出现许多新的晶核,并陆续长大,直到全部液体金属完全凝固为止。这就是金属的结晶过程,见图2-2。

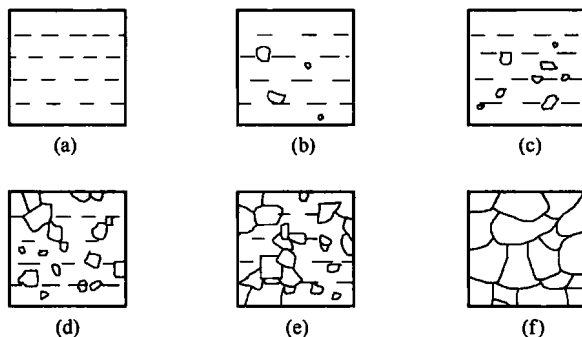


图2-2 金属结晶过程示意图

由此看来,金属的结晶过程,是由两个基本过程所组成的,即晶核的形成和晶核的长大。下面从三个方面来说明焊接熔池的结晶特征。

① 晶核的形成。往往熔池液态金属中有难熔金属质点,作初始的晶核,然后长大为晶粒。熔合线上局部熔化的母材晶粒(称半熔化晶粒),成为熔池金属的结晶核心,形成焊缝金属与母材金属生长在一起的“联生结晶”。熔合线处的母材晶粒愈粗大,凝固后的焊缝金属其晶粒也就愈粗大。

② 晶粒长大。晶粒长大的方向是由边缘指向熔池中心(温度最高点)。由于熔池体积小,散热快,结晶速度很快。结晶从母材全属的半熔化晶粒上升始,柱状晶较发达,而且柱状晶的发展方向,基本上与熔池界面相垂直,只有在熔池中心处或火口处,才有可能出现等轴晶。

熔池金属是在运动中结晶,晶粒在成长过程中有停顿现象(称为继续结晶),易产生层状组织,从焊缝表面成形看即呈鱼鳞纹。

③ 晶粒边界。晶粒与晶粒的交界面叫做晶粒边界,简称晶界。

熔池在结晶过程中凝固较快,焊件母材中有许多元素和少量夹杂物,熔池结晶时,高熔点的成分先析出,最后易熔的夹杂物被留在柱状晶粒之间。在一定条件下,结晶过程就有可能沿界面产生裂纹,这种裂纹在焊接中称热裂纹。

二、合金的晶体构造及铁碳平衡状态图

1. 合金的晶体构造

合金中的原子也和纯铁一样,在空间按一定的几何规则排列,但与纯金属相

比要复杂得多。根据两个元素相互作用关系,合金的晶体构造可分三类:固溶体、金属化合物和共析体。下面以铁碳合金为例,来说明合金晶体的构造。

① 固溶体。一种物质均匀地溶解在另一种固体物质的晶格内,所形成的单相晶体结构叫固溶体。根据固溶体内原子排列情况,还可分为置换固溶体和间隙固溶体,如图 2-3 所示。

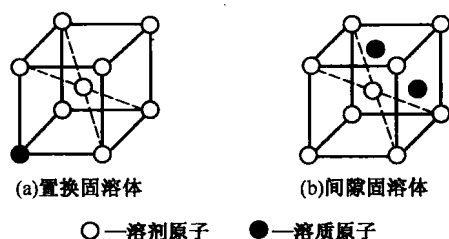


图 2-3 固溶体的构造示意图

某一元素晶格上的原子,部分地被另一元素的原子所取代的固溶体,叫置换固溶体。如果某一元素晶格上的原子没有减少,而另一元素的原子挤入其原子的间隙中,形成的固溶体,叫做间隙固溶体。例如,碳原子挤进 α 铁的体心立方晶格间隙处,形成的间隙固溶体,称为铁素体。由于碳原子的挤入,使 α 铁的晶格歪扭,从而使铁素体的塑性变形阻力增大。这就是铁素体比纯铁的强度和硬度稍高的原因。

② 金属化合物。合金中的两种元素,按一定的原子数量之比相化合,而形成一种新的化合物,例如 Fe_3C ,称为渗碳体。它的分子是由三个铁原子和一个碳原子组成的,含碳量为 6.67%。渗碳体的晶格是由复杂的八面体组成,占据顶角或心部位置的是碳化铁分子,而不是碳或铁的原子。渗碳体的硬度很高 ($\text{HRC} = 70 \sim 75$),塑性几乎等于零。在一定条件下(如在钢中加热),它可以分解为碳(溶于铁素体)和铁。

③ 共析体。共析体是由两种或两种以上的晶体结构混合而成的,在显微镜下呈非均一组织结构。例如,常温下铁素体和渗碳体,是互相不溶解的两种晶体结构,它们在钢中形成一种共析体(或称机械混合物),称为珠光体。以机械混合物存在于钢中的渗碳体显著提高了钢的强度、硬度和耐磨性,但却降低了钢的塑性。

2. 金属的同素异晶转变(二次结晶)

如前所述,金属的结晶构造通常指金属由液体凝固为固体晶格类型,但有些金属(铁、锰、锌、锡等)在固态下,随着温度的变化,它的结晶构造也由一种晶格变为另一种晶格。如纯铁在室温下是体心立方晶格(α 铁),当温度升高到 910°C 时,由体心立方晶格变为面心立方晶格(γ 铁),并一直保持到 1390°C 。当温度在 $1390 \sim 1535^\circ\text{C}$ (熔化温度)之间,又转变为体心立方晶格(δ 铁)。金属在固态下的结晶构造转变过程,叫同素异晶转变或称二次结晶。

各种晶格的铁对碳和合金元素的溶解能力是不同的。例如,面心立方晶格的

γ 铁, 比体心立方晶格的 α 铁有更多的间隙, 可以让碳原子挤进去。 γ 铁最高溶碳量为 2%, 我们把含碳 γ 铁的固体叫奥氏体。而 α 铁最高溶碳量为 0.08%。金属的同素异晶转变有很大的实际意义, 它是热处理的理论基础之一, 也是焊缝热影响区各区段与基本金属金相组织不一样的依据之一。

上述的铁素体、渗碳体、奥氏体、珠光体称为金属的组织。为了区别单一的结晶构造还是几种结晶构造的混合, 我们把单一结晶构造的叫做相, 如铁素体、

渗碳体、奥氏体都叫做单相组织。而珠光体则是铁素体与渗碳体的双相组织。习惯上都笼统地称为金相组织。

金相组织是在放大 100 ~ 1000 倍的显微镜下来观察的。几种常见的金相组织如图 2-4 所示。



图 2-4 常见显微金相组织示意图

3. 铁碳平衡状态图

钢的含碳量不同, 在不同温度下碳钢的组织变化也各不相同。如果将各种成分的碳钢, 在平衡状态(即经过很长时间, 碳钢的组织成分仍然保持不变的状态)所具有的不同组织综合起来, 即可得到铁碳平衡状态图, 如图 2-5 所示。

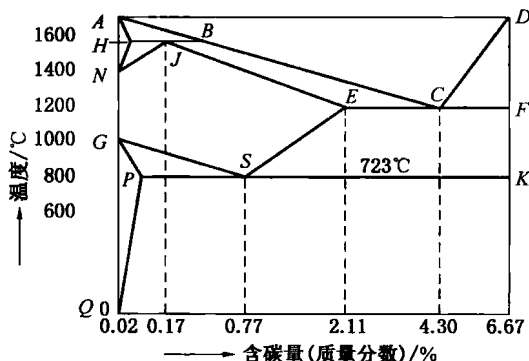


图 2-5 铁碳平衡图

铁碳平衡状态图是研究铁碳合金的基础。由于含碳量高于 6.67% 的铁碳合金脆性极大, 没有使用价值, 因而铁碳平衡图只研究 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 部分。

铁碳平衡状态图中, 各主要点的含义、温度以及含碳量列于表 2-1 中。图 2-5 中, $ABCD$ 为液相线, $AHJECF$ 为固相线。 E 点为区分钢和生铁的分界点, S 点常被称为共析点、 S 点左边的钢称为亚共析钢, 其组织结构为珠光体 + 铁素体。 S 点右边的钢称过共析钢, 其组织结构是珠光体 + 渗碳体。

表 2-1 铁碳平衡图各主要点的说明

点的符号	温度/℃	含碳量/%	说 明
A	1535	0	纯铁熔点(凝固点)
B	1485	0.50	包晶反应时液态合金的浓度
C	1130	4.30	共晶点, $L_c \rightleftharpoons A_E + Fe_3C$
D	1600	6.67	渗碳体熔点(计算值)
E	1130	2.00	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
F	1130	6.67	渗碳体
G	910	0	α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe 同素异晶转变点(A_3)
H	1485	0.10	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
J	1485	0.16	包晶点, $L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_J$
K	723	6.67	渗碳体
N	1390	0	γ -Fe $\rightleftharpoons$ δ -Fe 同素异构转变点(A_1)
P	723	0.02	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	723	0.80	共析点, $A_s \rightleftharpoons F_p + Fe_3C$
Q	0	0.006	碳在 α -Fe 中的溶解度

平衡状态图上几条线代表的意义分别为:

PQ 线: 表示铁素体在 0 ~ 723℃ 之间时所能溶解碳的最大量, 或称为碳在铁素体中的固溶线。

PG 线: 表示铁素体在 723 ~ 910℃ 之间时, 所能溶解碳的最大量, 温度在 910℃ 时, 铁素体本身开始转变为奥氏体。

PSK 线: 称为共析线, 相当于 723℃。它表示含碳量 0.8% 的钢在缓慢冷却时, 奥氏体全部转变为珠光体的温度。反之在缓慢加热时, 它又为珠光体全部转变为奥氏体的温度。此线常用 A_1 表示。

GS 线: 是碳钢奥氏体的转变温度线, 即在缓慢加热时, 铁素体向奥氏体转变的温度。反之当缓慢冷却时, 则是奥氏体向铁素体转变的温度, 常以 A_3 表示。

SE 线: 表示含碳量超过 0.8% 的钢, 在缓慢冷却时, 由奥氏体内析出二次渗碳体的温度, 常以 A_{cm} 表示。

JE 线: 叫固相线。表示含义为钢在加热时开始溶化的临界温度, 或冷却时, 液体合金全部凝固为奥氏体的温度。

BC 线: 叫液相线。表示碳钢加热时, 全部转变为液体合金的临界温度。或冷却时, 液体开始结晶的温度。由此可看出, 含碳量越高的钢, 其凝固点(或熔点)越低。

NJ 线: 表示奥氏体开始转变为 δ 铁的温度。

NH 线: 表示奥氏体完全转变为 δ 铁的温度。

在铁碳平衡图上, 各种合金通常可按含碳量和组织的不同分为三类。即: