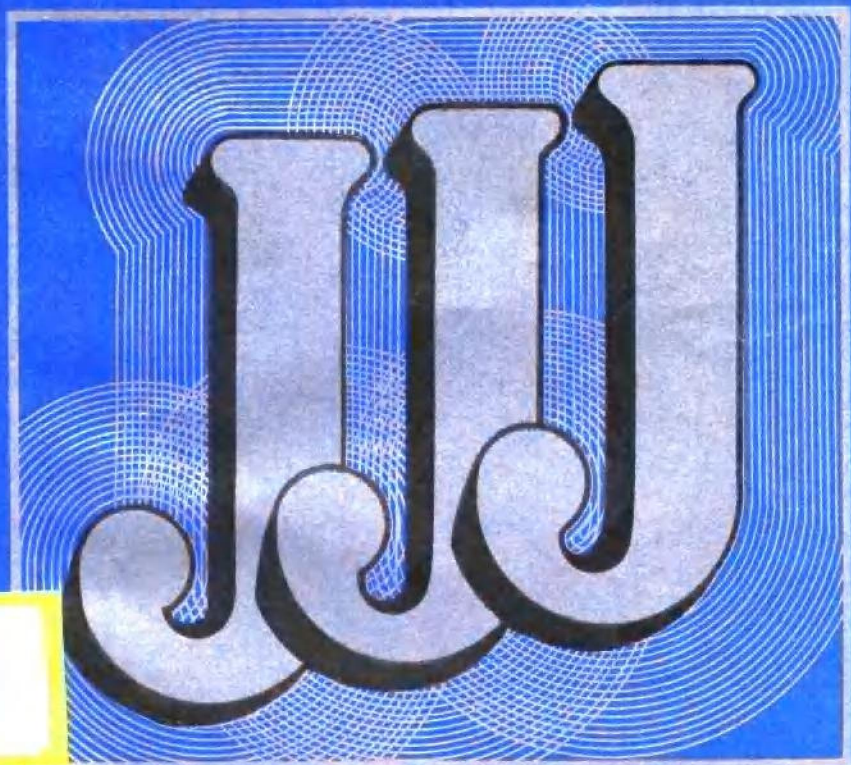


国家机械工业委员会统编

中级气焊工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书主要介绍气焊冶金原理,气焊设备和工具的结构及工作原理,常用钢材、铸铁及有色金属的焊接工艺,焊接应力和变形产生的原因,以及防止和消除的方法。另外,对光电跟踪和数控气割,焊接工艺编制方法及班组管理等也作了简要介绍。

本书是中级气焊工人理论培训的教材,也可供有关技术人员和工人参考。

本书由无锡动力机厂祝如德和无锡电焊机厂唐进法编写,由南京晨光机器厂堵耀庭和张其枢审稿。

中级气焊工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑:何月秋 责任校对:申春香

封面设计:林胜利 方芬 版式设计:乔玲

责任印制:张俊民

机械工业出版社出版(北京单威门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国铁道出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $5^{3/8}$ · 字数117千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001-50,800 · 定价:2.10元

ISBN 7-111-01160-0/TG·297

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求

以基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章 气焊冶金原理	1
第一节 气焊冶金过程	1
第二节 焊缝金属的结晶	10
第三节 热影响区的组织和性能	19
复习题	29
第二章 气焊设备和工具	30
第一节 乙炔发生器	30
第二节 乙炔化学净化器	40
第三节 双级式减压器	43
第四节 焊炬	47
第五节 回火保险器和泄压膜	50
复习题	60
第三章 常用金属材料的焊接	62
第一节 合金钢的气焊	62
第二节 铸铁的补焊	67
第三节 铝及其合金的气焊	76
第四节 铜及其合金的气焊	86
第五节 铅的气焊	96
第六节 机械加工件的补焊和堆焊	101
复习题	106
第四章 焊接应力和变形	108
第一节 焊接应力和变形产生的原因	108
第二节 焊接残余变形	110

第三节	焊接残余变形的矫正方法	119
第四节	焊接残余应力	121
复习题		125
第五章	气割	126
第一节	机械气割	126
第二节	特种切割	131
复习题		141
第六章	焊接结构的产生	142
第一节	焊接结构的生产工艺过程	142
第二节	装配—焊接胎、夹具	149
第三节	焊接工艺规程的编制	153
第四节	生产技术管理	161
复习题		165

第一章 气焊冶金原理

第一节 气焊冶金过程

气焊冶金过程包括母材和焊丝在气体火焰作用下形成的熔池与熔剂、母材表面的杂质、火焰气流及周围空气所发生的一系列物理、化学反应，最后形成焊缝金属和熔渣的整个冶金过程。

一、焊接熔池

气焊时，在焊接火焰作用下，焊件上所形成的具有一定几何形状的液态金属部分称为焊接熔池。

1. 熔池的几何形状 熔池的形状类似半个椭球，如图1-1所示。熔池的形状可用深度最大值 H_{max} 、宽度最大值 B_{max} 和熔池长度 L 三个参数来表示。在一般情况下，这三个参数值随着火焰能率的增加而增大，随着焊接速度的增加而减小。

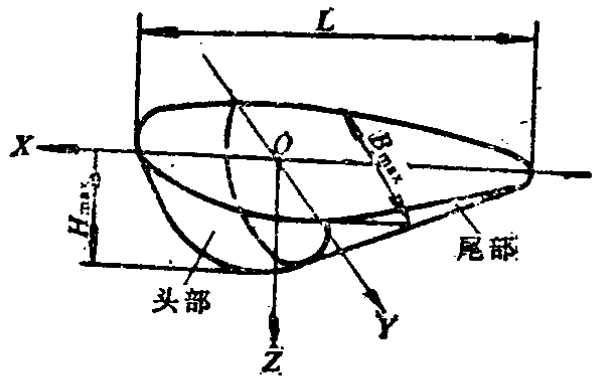


图1-1 熔池形状示意图

2. 熔池中的温度分布 熔池中各点的温度分布是不均匀的，如图1-2所示。

图1-2a是熔池纵向温度分布不均匀的情况。由图中可见：
①在熔池的头部，输入热量大于散失热量，所以随着热源的移动，母材不断地被熔化；
②熔池头部的温度较高，温度梯

度比较大；③熔池的最高温度位于火焰下面熔池的表面上；④熔池尾部的温度逐渐降低，在熔池的边缘，由于该处输入热量小于散失热量，所以便开始发生金属的凝固；⑤熔池尾部比头部的温度梯度要小。

图1-2b是熔池三个部分(头部、中部、尾部)横向(宽度方向)的温度分布情况,由图中也可以看出熔池的横向温度分布也是不均匀的。

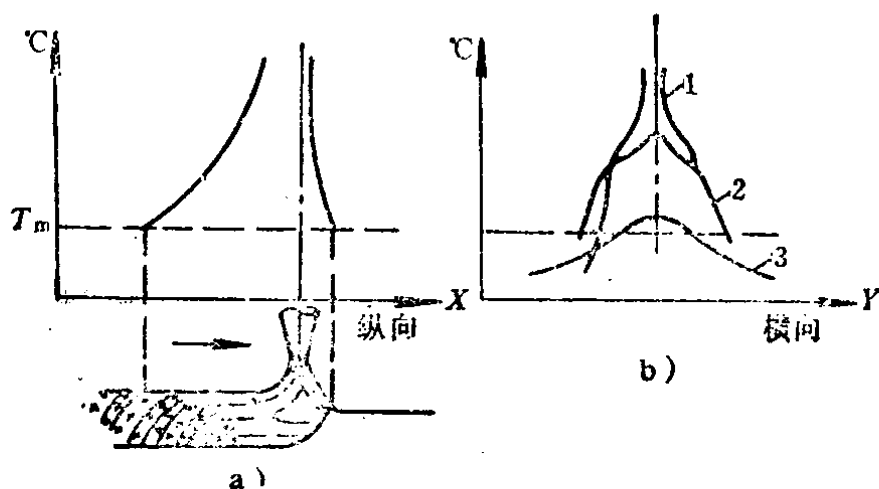


图1-2 熔池的温度分布

a) 纵向温度分布 b) 横向温度分布

T_m —母材熔点 1—熔池中部 2—熔池头部 3—熔池尾部

3. 熔池中液态金属的流动 熔池中的液态金属不是静止的,而是在不断地激烈运动着。这是由于下列三个原因造成的:①由液态金属的密度差所产生的自由对流运动;②由表面张力差所引起的强迫对流运动;③由气体火焰的气流吹力所产生的搅拌运动。

熔池中正是由于存在着激烈的对流和搅拌运动,才使母材和焊丝金属的成分能够很好地混合,形成成分较均匀的焊缝金属。此外,熔池的这种运动也有利于有害气体和非金属夹杂物的逸出,因而对提高焊缝质量有很大的好处。

二、焊接区内的气体及其影响

气焊过程中焊接区内的大量气体是由 CO 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 、 N_2 以及由它们分解的产物和金属、熔渣的蒸气等所组成的混合气体。其中对焊接质量影响最大的是 O_2 、 H_2 、 N_2 。

1. 氧的影响

(1) 氧的来源

1) 气体火焰焰芯中自由状态的氧常常进入内焰而侵入熔池；外焰中的二氧化碳和水蒸气中的氧，也常常和熔池内液体金属及其附近的热态金属化合。

2) 空气中的氧气侵入焊接区。如火焰因风吹而歪斜偏离熔池、焊炬过早离开熔池等，都使气体火焰不能很好地保护熔池而造成空气侵入焊接区。

3) 焊丝、熔剂和母材中溶解的氧或氧化物，金属表面的油脂、铁锈和油漆等污物及熔剂内部的结晶水等。

(2) 氧对焊缝金属的影响：氧的存在致使加热到很高温度的焊缝金属及其合金元素迅速被氧化而形成氧化物。其主要影响如下：

1) 使机械性能下降。随着焊缝金属含氧量的增加，其硬度、强度和塑性明显下降，如图1-3所示。

因为氧能与熔滴和熔池中的合金元素起氧化反应，或使这些合金元素烧损。例如，焊接碳钢时，碳烧损生成 CO 气体；

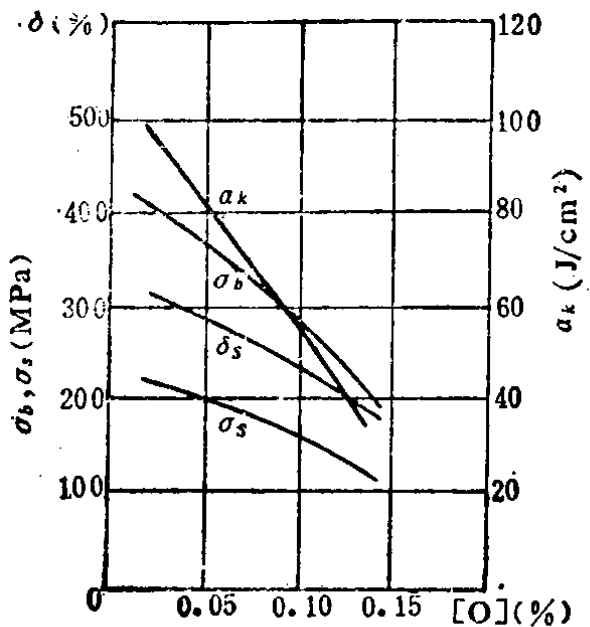


图1-3 氧对低碳钢机械性能的影响

锰、硅与氧化合生成氧化锰、氧化硅熔渣浮出熔池。这都使焊缝强度和硬度等降低。

2) 易形成气孔。溶解在熔池中的氧与碳发生作用, 会生成不溶于金属熔液的CO, 在熔池结晶时, CO如来不及逸出, 就会在焊缝中形成气孔。

3) 飞溅严重。这是由于合金元素的激烈氧化或气体的膨胀逸出所致。

4) 造成焊接困难。焊接某些合金时, 在熔池表面生成的难熔氧化物(例如 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 等)将阻碍焊接冶金反应的正常进行和熔渣的浮出, 使焊接困难。

此外, 也可能使晶界严重氧化、晶粒粗大及形成热裂纹。脱氧不完全时, 在焊缝金属中含有较多的FeO, 使焊缝金属的脆性增加, 导电性、耐腐蚀性能降低等。

总之, 氧在焊缝金属中的危害是相当大的, 属于有害元素之一。因此, 在焊接过程中应严格控制氧的来源和选用适当的熔剂, 以尽量避免和减少氧对焊缝金属的影响。

2. 氢的影响

(1) 氢的来源

1) 乙炔分解和燃烧后产生的氢。

2) 焊接材料(焊丝和熔剂)和母材表面的铁锈、水分、油污、油漆等污物以及熔剂中的结晶水等。

(2) 氢对焊缝金属的影响

1) 引起氢脆性。氢引起钢的塑性严重下降的现象称为氢脆性。焊缝含氢量越高, 塑性下降越严重, 但焊缝经去氢处理后, 由于氢的逸出, 其塑性可以恢复。

2) 易产生白点。碳钢或低合金钢焊缝, 如含氢量多, 则常在其破断面出现光亮圆形的局部脆性断裂点, 称之为白

点。白点的直径一般为0.5~3mm，其周围为韧性断口，用肉眼即可辨认。在多数情况下，白点的中心有裂纹、气孔或小的夹杂物，好象鱼的眼睛一样，故又称“鱼眼”。

白点使焊缝金属的塑性严重下降。

3) 易形成气孔和裂纹。氢是在焊缝和热影响区中引起气孔和裂纹的主要因素之一。

从图1-4可以看出：氢在铁中的溶解度，在高温时是相当大的。随着温度的降低，氢的溶解度急剧下降。当液态金属凝固时，氢的溶解度发生急剧下降，使氢在焊缝中处于过饱和状态，一部分氢原子转变为氢分子向外逸出。但由于焊接时的冷却速度很快，当焊缝金属的结晶速度大于氢分子的逸出速度时，氢分子便留在焊缝内形成气孔；另一部分氢原子中，溶解于焊缝金属中的称为固溶氢，其余的称为扩散氢。随着温度的进一步下降，固溶氢减少，扩散氢增加。由于氢原子半径很小，在常温时也能在金属晶格中自由扩散。因此，过饱和的扩散氢，一部分扩散至焊缝金属的外表面而逸到大气中；另一部分则扩散到焊缝金属内部的空隙中（如气孔、非金属夹杂物周围的空隙以及晶体中

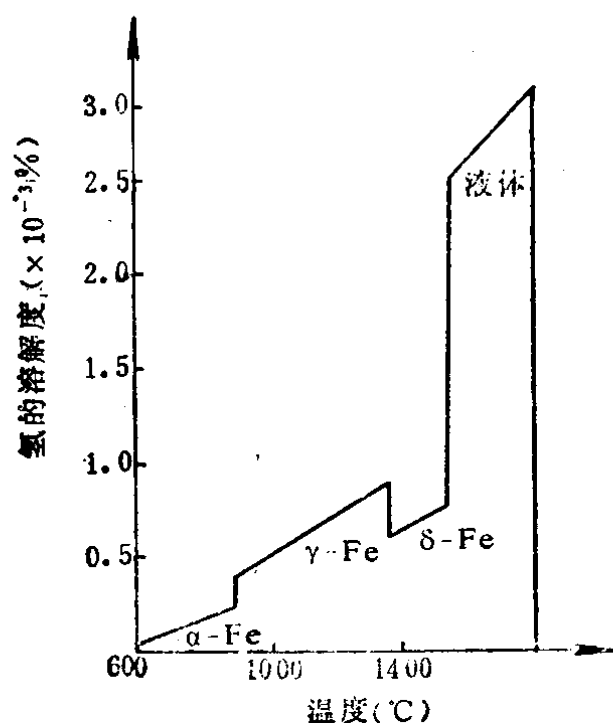


图1-4 压力为0.1MPa时，氢在铁中的溶解度

其它微小的空隙)而浓集起来;还有一部分则扩散到熔合区、热影响区和过热区金属内部空隙中而浓集起来。氢浓集后,由原子状态转变为分子状态,形成了较大的压力,且使空隙处的塑性大大下降,这有可能使原有的微观缺陷不断扩大,最后形成宏观裂纹。

氢由溶解、扩散、聚集、产生应力、直至形成裂纹需要一定的时间,故常把氢致裂纹称为延迟裂纹。

由上述可见,氢也是焊缝金属中的有害气体之一。因此,在焊接全过程中,包括焊前清理、焊接、焊后处理等,都应采取措施,以防止和消除焊缝金属中的氢。

3. 氮的影响

(1) 氮的来源

1) 来源于焊接区周围的空气。这是焊缝金属中氮的主要来源。气焊时熔池虽然处于还原区的保护下,但总有少量的氮会侵入焊接区。焊缝金属中的含氮量,随着焊嘴离焊件距离的增加而增加,随气焊火焰中氧与乙炔混合比的增高而增加,见图1-5。这是因为混合比值增高时,火焰中氧过剩,使火焰紊乱,引起空气的卷入和熔池的搅拌,故使焊缝含氮量增加。

2) 焊接材料(焊丝、熔剂)和母材中所含的氮,气焊时会熔入焊缝金属中并形成氮化物。

3) 焊接气体纯度不高。例如,氧气纯度不高和乙炔中有空气,气焊时都会把氮带入到熔池中去。

(2) 氮对焊缝金属的影响

1) 对机械性能的影响:氮是提高焊缝强度,降低其塑性和韧性的元素。氮对低碳钢常温机械性能的影响,如图1-6所示。

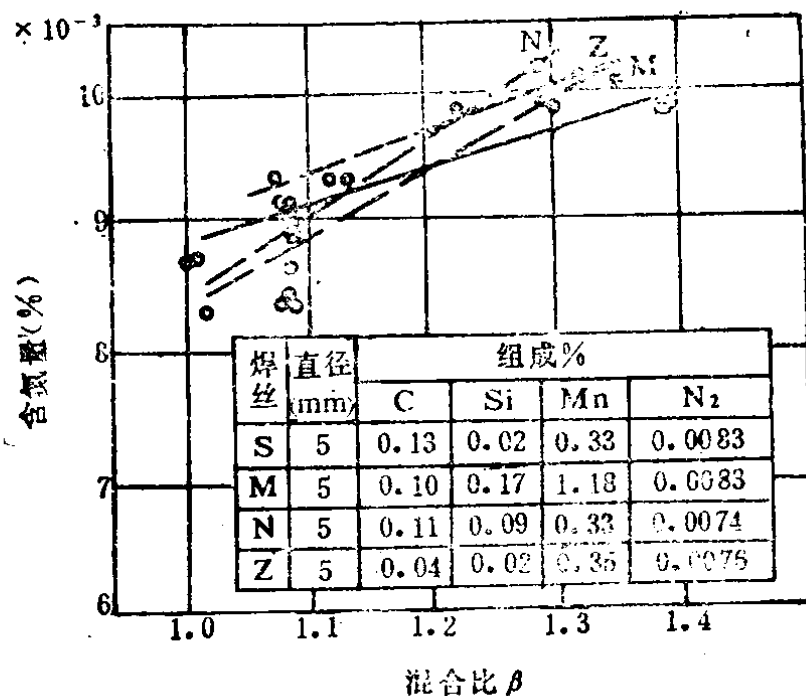


图1-5 焊缝金属中的含氮量

2) 易形成气孔：气焊时，当焊接区保护不良，就会出现氮气孔。氮在铁中的溶解度如图1-7所示。由图1-7可见：氮在铁中的溶解度随着温度的降低而降低，从液相向固相转变时，溶解度急剧下降，室温时溶解度更低。在焊接时，由于熔池的冷却速度很快，且迅速结晶，故焊缝金属中过饱和的氮来不及逸出熔池，结果就会形成气孔。

3) 引起焊缝时效脆化：氮是促进时效的元素。因为焊缝中过饱和氮处于不稳定状态，随着时间的延长，过饱和的氮逐渐析出与铁形成稳定的针状 Fe_4N ，使焊缝金属的塑性和韧性大大降低，这种现象称为时效脆化。由于低碳钢含有与氮亲和力强且能形成稳定氮化物的元素，故氮侵入后会发时效脆化现象。

氮在焊缝金属中也属于有害元素。因此，气焊时应尽量利用焊接火焰，避免空气中的氮与熔池接触。同时，应给熔

池创造缓慢冷却的条件，以便在熔池凝固之前，使氮气有充分的时间逸出，从而得到优良的焊缝。

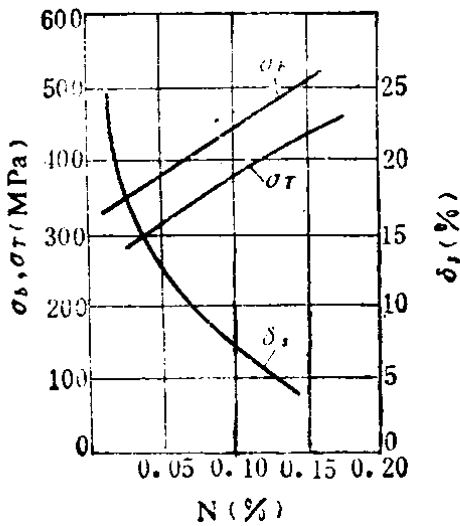


图1-6 氮对低碳钢常温机械性能的影响

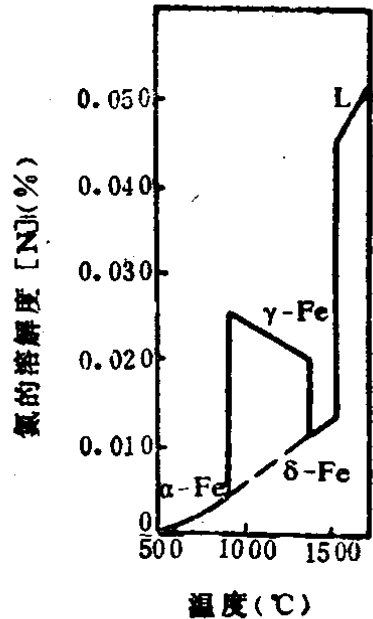
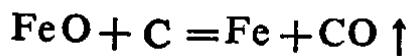


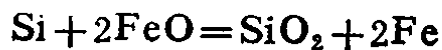
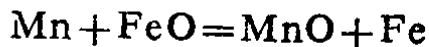
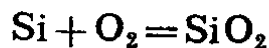
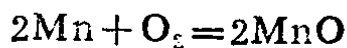
图1-7 氮在铁中的溶解度

三、气焊的化学冶金过程

1. 氧化反应 氧化反应是指合金元素与氧发生反应的过程。例如，焊接碳钢时，在火焰高温作用下，熔池中的 O_2 会和熔池中的C、Mn、Si等合金元素发生氧化反应。碳的氧化一般是碳和氧化铁作用，其反应式为



锰和硅的氧化除由于火焰中或空气中的氧作用外，还会被氧化铁氧化，其反应式为



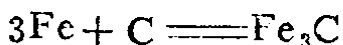
金属在空气中被氧化的现象，还与气焊方法有关。当采用左焊法时，由于焊接火焰指向待焊金属，此时焊缝金属在赤热状态下即与空气接触，因而氧化严重；而采用右焊法时，因火焰一直指向焊缝金属，并在逐步冷却中脱离火焰的保护，故被氧化的可能性减小。

为了防止氧的有害影响，应选用合适的熔剂和焊丝；在焊接前应清除焊丝和焊件上的油、锈、水等污物；操作时应严格控制火焰的性质和焰芯到熔池表面的距离，以加强对熔池的保护等。

2. 还原反应 还原反应是指熔池内的金属氧化物被脱氧的过程。能够使熔池内金属氧化物还原的物质称为还原剂。这种物质与焊缝金属相比，对氧有更大的亲和力。火焰中的CO和H₂，以及母材和焊丝中的各种合金(如Al、Ti、P)等均可作为还原剂，使铁和某些合金元素的氧化物被还原。

焊接碳钢时，通常都不使用熔剂，这是由于气焊火焰中所含的C、CO和H₂起还原作用的缘故。

3. 碳化 碳化是指气焊过程中熔池内渗入碳而形成碳化物的过程，其反应式为



金属碳化物在焊缝金属中，会使焊缝金属的强度、硬度增加，而塑性降低。用碳化焰焊接时，碳化现象比较严重。因此气焊时一般都采用中性焰，以防焊缝增碳。

四、气焊的物理冶金过程

1. 熔渣上浮 气焊过程中，许多还原剂（如Mn、Si等）会与熔池内的金属氧化物作用生成熔渣（如MnO、SiO₂等），这些熔渣的密度较熔化金属小，能聚合在一起上浮，覆盖在

熔池表面，以保护焊缝金属不被氧化。当熔池凝固得很快，以至熔渣尚未浮出，熔池就已凝固时，就会使熔渣残留在焊缝内而形成夹渣。

2. 气体的逸出 气焊过程中，熔池内会吸收大量的气体，当熔池开始冷却凝固时，这些气体就要分离析出，当凝固过程中这些气体来不及逸出时，就可能形成气孔。

3. 扩散 气焊过程中存在的熔池内的金属和母材中各元素的相互渗透和均匀化的过程称为扩散。扩散主要发生在熔池尚未凝固，或者熔池已经凝固但温度仍很高时。扩散得越好，焊缝金属的化学成分越均匀。

4. 飞溅 气焊过程中，熔池内会产生压力相当高的气体，如CO等。这些气体的膨胀和冲击，就会使熔池金属发生飞溅。

5. 元素的蒸发 熔池在焊接火焰的高温作用下，其温度往往超过大多数金属元素的沸点，当温度稍高于元素的沸点，元素即开始蒸发成为气体，向大气中逸出。例如，气焊黄铜时，可在焊缝附近见到白色的沉积物，这就是锌蒸气造成的。元素的蒸发，将使焊缝金属的成分发生改变，从而使焊缝金属的机械性能下降和物理化学性质发生变化。所以气焊时，火焰的能率不宜太大，形成熔池后，停留的时间不要太长，以减少焊缝金属中某些元素的蒸发。

第二节 焊缝金属的结晶

一、焊接接头的组成

焊接接头是用焊接方法连接的接头(简称接头)。它包括焊缝、熔合区和热影响区。图1-8为焊接接头宏观断面的组成。

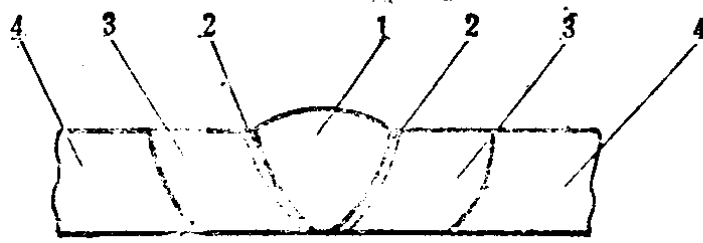


图1-8 焊接接头的组成

1—焊缝金属 2—熔合区 3—热影响区 4—母材

气焊火焰离开熔池后，熔池中的液体金属便逐渐冷却凝固成为焊缝。焊缝是焊件经焊接后所形成的结合部分。

热影响区是焊接过程中，材料因受热影响(但未熔化)而发生金相组织和机械性能变化的区域。

熔合区是焊接接头中，焊缝向热影响区过渡的区域。

二、焊接熔池的一次结晶特点

焊接熔池从液态向固态的转变过程，称为焊接熔池的一次结晶。焊接熔池的一次结晶与铸锭的结晶相比，具有下列特点：

(1) 焊接熔池体积小，周围又被母材所包围，所以熔池的冷却速度很快。

(2) 熔池中液体金属处于过热状态。

(3) 熔池中心和边缘存在着很大的温差。

(4) 熔池在随热源移动的过程中不断发生搅动，所以熔池是在运动状态下进行结晶的。

三、焊接熔池的一次结晶过程

焊接熔池的一次结晶是由两个基本过程所组成的，即晶核的形成和晶核的长大。

1. 晶核的形成 焊接熔池的结晶最容易从熔池边界处