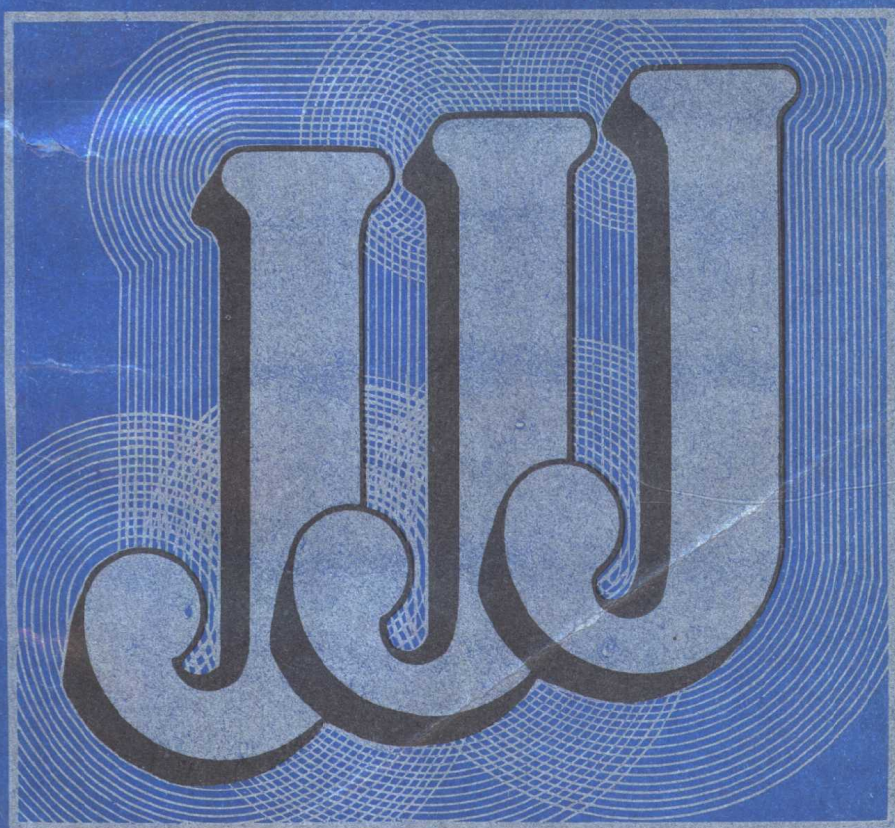


国家机械工业委员会统编

# 高级气焊工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

T-0  
8.1.1.1.1

机械工人技术理论培训教材

---

# 高级气焊工工艺学

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

54.1.1.1.1

本书主要包括以下内容：气焊冶金过程中某些元素对冶金反应的影响；不易淬火和淬火钢热影响区的组织和性能；气焊、气割工作点的平面布置和通风；氧乙炔火焰喷焊和喷涂的原理及应用；气体火焰在矫正和成形方面的应用；仿形切割样板的设计方法，氧液化石油气切割，氧熔剂切割；气焊、气割工艺规程的编制方法和工时定额及焊接材料消耗定额的计算方法，另外对工艺管理也作了简单介绍。

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

## 高级气焊工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：何月秋； 责任校对：韩 晶  
封面设计：林胜利 方 芬 版式设计：罗文莉  
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄附里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社所发行·新华书店经销

开本  $787 \times 1092^{1/32}$  · 印张  $4^{3/8}$  · 字数 93 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001-36,800 · 定价：2.20元

ISBN 7-111-01161-9/TG·298

## 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分析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，注重能力的培养，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 气焊冶金过程 .....           | 1   |
| 第一节 某些元素对冶金反应的影响 .....     | 1   |
| 第二节 焊接热影响区的组织及性能变化 .....   | 10  |
| 复习题 .....                  | 17  |
| 第二章 气焊、气割工作点的平面布置及通风 ..... | 18  |
| 第一节 气焊、气割工作点的平面布置 .....    | 18  |
| 第二节 气焊、气割用气量的计算 .....      | 28  |
| 第三节 局部排风的措施 .....          | 30  |
| 复习题 .....                  | 46  |
| 第三章 氧乙炔火焰金属粉末喷焊和喷涂 .....   | 47  |
| 第一节 氧乙炔火焰喷焊 .....          | 47  |
| 第二节 氧乙炔火焰喷涂 .....          | 59  |
| 复习题 .....                  | 71  |
| 第四章 气体火焰的其它应用 .....        | 73  |
| 第一节 火焰矫正 .....             | 73  |
| 第二节 火焰加工 .....             | 82  |
| 复习题 .....                  | 88  |
| 第五章 气割 .....               | 89  |
| 第一节 仿形切割样板设计 .....         | 89  |
| 第二节 光电跟踪和数控自动切割机 .....     | 93  |
| 第三节 其它气割方法简介 .....         | 100 |
| 复习题 .....                  | 111 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>第六章 工艺规程的编制 .....</b>            | <b>113</b> |
| <b>第一节 气焊、气割工艺规程的编制 .....</b>       | <b>113</b> |
| <b>第二节 工时定额和焊接材料消耗定额的计算方法 .....</b> | <b>121</b> |
| <b>第三节 工艺管理 .....</b>               | <b>126</b> |
| <b>复习题 .....</b>                    | <b>131</b> |

# 第一章 气焊冶金过程

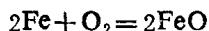
## 第一节 某些元素对冶金反应的影响

### 一、氧的影响

1. 氧化反应 焊接过程中不可避免地有氧气侵入，而金属本身在加热到很高温度时又非常容易氧化，故致使一些金属及合金元素被氧化而形成氧化物。

(1) 焊接碳钢及合金钢时的氧化反应

1) 在熔滴和熔池的表面，铁被氧化生成氧化亚铁，其反应式为

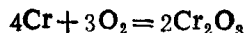
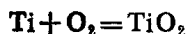
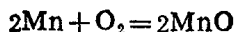
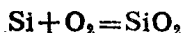
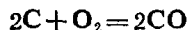


当钢中存在着过量的氧时，便生成三氧化二铁，其反应式为



这些铁的氧化物，以不规则分布的点状凝集物或在晶粒边界成不完整的褐色细网（经腐蚀）形式存在。

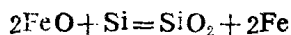
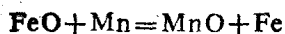
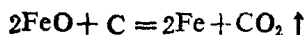
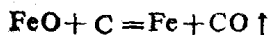
在碳钢和合金钢中不仅基体铁会被氧化，其它元素，例如，C、Si、Mn、Ti和Cr等也会被氧化，其反应式为



反应的结果使熔池中一部分有益元素如Mn、Si、C、Ti、Cr等烧损，使材料的机械性能下降，C烧损所产生的CO气

体,导致焊接时飞溅增加;同时,又产生了能溶于熔池的 $\text{FeO}$ 。

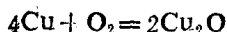
2) 在熔池中的 $\text{FeO}$ ,能使熔池中的其它元素继续发生氧化反应,其反应式为



此时氧化后产生的气体,不仅使焊接时飞溅严重增加,而且当焊缝金属的冷凝速度大于气体逸出的速度时,还会产生气孔。这种氧化反应的现象对于含碳量高的金属尤为严重。氧化后产生的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 及其它合金元素的氧化物均不溶于钢中,一般都将浮到熔池表面(或进入熔渣中),有时来不及浮出时,就在焊缝中形成夹渣。

(2) 焊接有色金属时的氧化反应

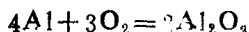
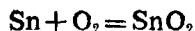
1) 焊接紫铜时,当温度接近铜的熔点 $1083^\circ\text{C}$ 时,铜很容易被氧化生成 $\text{Cu}_2\text{O}$ ,其反应式为



在焊缝结晶时,反应的生成物——氧化亚铜,又会和铜形成低熔点( $1064^\circ\text{C}$ )共晶( $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{Cu}$ )分布在铜的晶界上,使焊缝容易产生热裂纹,降低其接头性能。

2) 焊接黄铜时,其所含的 $\text{Zn}$ 很容易在焊接火焰温度下气化、蒸发(蒸发点为 $906^\circ\text{C}$ )和氧化,严重时会改变黄铜的化学成分,使焊接接头的机械性能和抗腐蚀性能降低。同时,焊接时所产生的白色烟雾,不仅使操作发生困难,而且有害于焊工的健康。

3) 焊接锡青铜和铝青铜时,合金元素 $\text{Sn}$ 和 $\text{Al}$ 很容易被氧化,其反应式为



反应的生成物 $\text{SnO}_2$ 硬而脆，在焊缝中以夹杂物的形式存在，能降低焊缝的机械性能和抗腐蚀性能。而 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 是高熔点（2050℃）氧化物，阻碍焊缝和母材的熔合，同时使熔渣粘度增加，使气体来不及逸出而容易产生气孔。

4) 焊接铝及其合金时，不仅铝表面原有的氧化膜阻碍焊接，而且在焊接熔池表面还会生成新的氧化铝膜，妨碍焊接过程的正常进行。铝合金中的合金元素在焊接高温作用下，如Mg和Zn也能被蒸发和氧化，以致改变焊接接头处的合金成分和性能。

其它有色金属及其合金在焊接时，也很容易被氧化而使其成分发生变化，导致焊接接头机械性能或其它特殊性能的降低。

## 2. 脱氧和渗合金

(1) 脱氧：当在焊缝金属中存在着氧化物时，将使焊接接头的性能变差。因此，焊接时要设法将其清除掉。在气焊时，可根据焊件材料的性能来选择脱氧方法，可以通过还原气氛、焊丝和熔剂来实现脱氧。

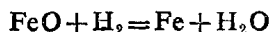
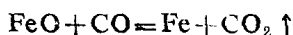
按金属元素与氧亲合力的强弱，可将金属元素排成下列次序：

Al、Ti、Si、V、Mn、Cr、Fe、Mo、Ni、Cu

前者最强，后者最弱。铝是最强的脱氧剂。在焊接钢铁时，位于铁前面的各元素均可作为焊缝金属的脱氧剂；焊接铜及其合金时，位于铜前面的全部元素均可作为焊缝金属的脱氧剂。但是其氧化物必须不溶于液体金属，且密度小于液体金属，这样，氧化物才能上浮在熔池表面或进入熔渣中而

被去除。

1) 通过还原气氛脱氧：在气焊低碳钢和低合金钢时，由于使用的火焰中有还原区，这个区内有大量的CO和H<sub>2</sub>，起着还原作用。这样不仅能够保护熔池表面不被氧化，而且能与焊缝金属中的FeO发生如下反应

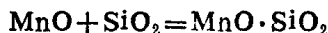


所以，气焊低碳钢和低合金钢时，可以不用熔剂进行焊接，而能得到满意的接头。但在施焊时，火焰应为严格的中性焰或轻微碳化焰，并有效地保护熔池及近缝区。如果火焰带有氧化性质，不仅使焊缝金属中的元素氧化，而且能使熔合区和靠近熔合区的热影响区的晶界氧化。

2) 由焊丝成分中的脱氧元素来脱氧：在气焊时，选用含有脱氧剂的焊丝，通过焊丝中的合金元素进入熔池后进行脱氧。在焊接碳钢和合金钢时，常选用含Mn、Si的焊丝，这样能有效地脱氧，其反应如下



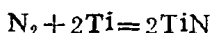
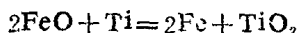
MnO呈碱性，不溶于铁水，但能与酸性氧化物SiO<sub>2</sub>形成硅酸盐，其熔点、密度都较低，易浮于熔池表面而形成渣。Si的脱氧能力强，生成物SiO<sub>2</sub>熔点高，粘度大，不利于脱渣。但是当与Si、Mn联合脱氧时，可以发生下列反应生成硅酸盐。反应式为



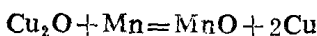
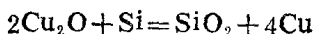
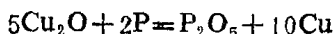
生成物的熔点、粘度都比SiO<sub>2</sub>低，这样，既保证了高的脱氧能力，又避免了单纯硅脱氧的缺点。

还可以用Al和Ti来脱氧。用Al脱氧时，由于生成高熔

点的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 容易造成夹渣，故气焊时不常用，主要用在氧乙炔火焰金属喷涂时脱氧；Ti不仅是很好的脱氧剂，而且还能很好脱氮，其反应式为



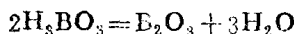
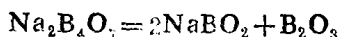
焊接黄铜时，常采用含脱氧元素的丝201和丝202焊丝。这些焊丝中含有P、Mn、Si等元素，其反应式如下



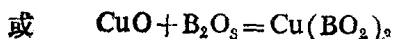
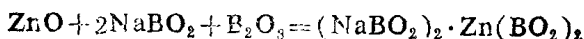
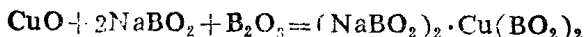
在氧乙炔火焰金属喷涂时，脱氧剂加入到合金粉末中，如常用含有Al、Si、B等元素的合金粉末进行基体表面脱氧和熔池脱氧，生成的氧化物上浮在熔池表面。

在气焊含氧量较高的沸腾钢时，常常使用含Mn的焊丝，以减少C、Mn、Si元素的烧损，提高焊接质量，也可减少焊接时的飞溅。

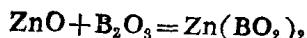
3) 通过熔剂脱氧：在焊接高合金钢、铸铁、不锈钢和有色金属及其合金时，都要加入熔剂，其主要目的就是为了保护熔池和脱氧。例如，气焊铜及其合金时，常用熔剂硼砂( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )和硼酸( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )。在使用前应加热去除结晶水，其反应式为



反应生成物去除氧化物的反应式为



394676



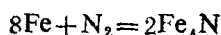
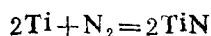
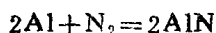
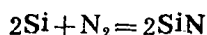
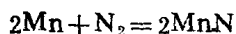
可见，反应的生成物都是易溶的硼酸盐，其在焊接过程中浮在熔池表面起到保护熔池的作用。

(2) 渗合金：在焊接过程中，由于气体、熔渣和液体金属的相互作用，使一些有益的合金元素烧损，因而使焊缝组织和性能发生变化。为了保证焊接接头具有一定的性能，就需要添加一定量的合金元素，或为了满足某些特殊性能的要求，在焊缝中需要补充一些合金元素。例如，在气焊灰铸铁时，为了防止焊缝金属产生白口，应使焊丝中碳、硅含量都比母材高，尤其是冷焊时，气焊丝中的含硅量可高达4.5%。若在焊丝中加入一定量的Mo，则可提高焊缝的耐热和抗裂性能。为了提高工件表面的耐磨性，生产中常用一些堆焊焊丝使工件表面渗入必要的合金元素。气焊时也采用把需要渗入的合金元素粉末混合在熔剂中加入熔池，达到过渡合金元素的目的

还应指出的是，为了有效地过渡合金元素，在气焊合金钢时，应采用中性焰或轻微碳化焰，以便使合金元素过渡时的烧损最少。

## 二、氮的影响

1. 焊缝金属的氮化反应 气焊时，空气中的氮气在操作不当时，往往进入焊缝金属熔池中，其中一部分氮在高温作用下，能和许多元素化合，成为氮化物，其反应式为

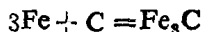


上述氮化物中，除钛的氮化物不溶于熔池金属外，其它的氮化物均能溶于熔池金属中。这些氮化物在熔池结晶过程中一部分分布在固溶体内和晶界上，另一部分则以过饱和的形式存在于固溶体中，随着时间的延长，能在晶界处形成稳定的针状 $\text{Fe}_4\text{N}$ ，使焊缝金属的塑性和韧性大大下降，这种现象称为时效脆化。焊接时氮气侵入后，当熔池结晶速度大于氮气逸出速度时，也会在焊缝中形成氮气孔。但氮不溶于液态铝，所以在焊接铝时不会出现氮气孔。

2. 脱氮 气焊时，对于一般钢材来说，不含有与氮亲和力强的元素，且不能形成不溶于熔池的稳定氮化物。氮以过饱和的形式溶入液态金属中之后，会发生时效脆化现象和在焊缝金属中形成氮气孔。因此，只能在焊接前选用含氮量很低的母材和焊丝；使用的氧气纯度要高一些；乙炔中不要有空气等。焊接时要使火焰始终罩住熔池，不使空气中的氮与熔池接触；同时，要给熔池创造脱氮的缓慢冷却条件，以便在熔池冷却凝固之前，使氮气有充分的时间逸出，不易产生气孔，这样才能保证焊接接头的机械性能。

### 三、碳的影响

1. 焊缝金属的碳化反应 在气焊过程中，由于火焰性质调节不当或燃烧不好，使熔池中液体金属的含碳量增加，并与液体金属形成碳化物。气焊碳钢，尤其用碳化焰焊接后在焊缝的金相组织中可以发现 $\text{Fe}_3\text{C}$ 含量略有增加，这就是熔池增碳和被碳化的结果，其反应式为



反应生成物 $\text{Fe}_3\text{C}$ 使焊接接头的强度、硬度提高，而塑性降低。如果气焊含铬的合金钢和不锈钢时，由于碳的渗入，可能使一些合金元素被碳化，例如，生成碳化铬，这样就使焊缝中

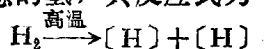
因含碳量的增加而相应地使含铬量降低,对抗腐蚀性能不利。

2. 防止的方法 焊缝中的渗碳决定于火焰。因此,防止的有效方法是正确选用火焰,使整个气焊过程中不向焊缝金属渗碳。

#### 四、氢的作用

1. 有利作用 氢和氧、氮不同,通常它不与焊缝金属发生化学反应。但能溶解于Fe、Ni、Cu、Cr、Mo等金属中,它的存在能防止金属的氧化和氮化。在气焊时,由于火焰中含有大量的 $H_2$ 和CO,这不仅能保护熔池表面不被氧化和氮化,而且能使焊缝金属中的氧化物还原。所以,气焊碳钢时,可以不用熔剂。

2. 有害作用 焊缝金属中若存在1/100000的氢,就会对焊接接头质量产生严重的影响。在焊接高温作用下,氢气能激烈地分解为原子态的氢,其反应式为



分解的原子态氢能大量地溶解在熔滴和熔池中,但随着热源的移去,熔池冷却,金属开始相变时,氢的溶解度将急剧降低,对于碳钢,在发生同素异构转变时氢的溶解还会有突变。由于熔池冷却速度较快,溶解的氢来不及逸出,残存在固体焊缝中,因而引起焊接接头有下列缺陷:

(1) 在焊缝金属内部形成氢气孔:气焊低碳钢时,氢气孔大多分布在焊缝的表面,气孔四周光滑,断面呈铁钉状,从焊缝表面看,呈圆喇叭口形。个别情况下,在焊缝内部也会呈光滑的球状。焊接其它碳钢、合金钢和不锈钢时在焊缝中出现的气孔,主要也是氢气孔。气焊有色金属时,氢气孔常出现在焊缝的内部。

(2) 在熔合区和热影响区形成冷裂纹:焊接中碳钢、

高碳钢、低合金和高合金等易淬火锅时,在焊接冷却过程中,近缝区受到淬火作用得到硬而脆的马氏体组织,而且溶解在焊缝金属中的氢会在焊缝的熔合区和热影响区析集,在拉应力作用下而形成冷裂纹。由于焊接易淬火锅时,焊缝金属的含碳量总是控制得低于母材。因此焊缝在较高的温度下就发生了相变,即奥氏体开始分解。此时,热影响区的金属尚未开始奥氏体分解(因该区含碳量较焊缝高,故主要转变为马氏体)。当焊缝金属发生由奥氏体向铁素体转变时,氢的溶解度突然降低,同时氢在铁素体中的扩散速度比较快,此时氢就很快地从焊缝穿过熔合区向尚未分解的热影响区扩散,而氢在奥氏体中的扩散速度较小,还来不及扩散到距离熔合区较远的母材中去,结果在熔合区附近就形成了富氢带。当比焊缝金属相变晚一些的热影响区发生奥氏体向马氏体的转变时,氢便以饱和状态残存于马氏体中。如果热影响区存在一些微观缺陷,如出现显微裂纹和微气孔时,氢便会在这些缺陷处发生聚集,并由原子态转变为分子态,形成较大的压力,由于氢的集中使这些缺陷处塑性大大下降,因此使原有的微观缺陷不断扩大,在拉应力作用下导致宏观的裂纹。

焊接有色金属时,氢主要是形成气孔,不会产生冷裂纹。因为氢引起的冷裂纹,是需通过扩散、聚集产生应力直至形成裂纹,故具有延迟的特性,从而称为延迟裂纹。通常把氢引起的延迟裂纹称为“氢致裂纹”。

对于易淬火锅,焊接后是否形成冷裂纹,不仅仅受氢的影响,还与钢材的淬硬倾向和焊接接头所受的应力有很大关系。一般来讲,钢材的淬硬倾向越大,在焊缝的近缝区得到的淬硬组织——马氏体的数量越多,这样就使得硬度增高而且脆化严重,容易在一定的拉应力条件下产生冷裂纹。在焊

接头中的拉应力，除了焊接时的不均匀加热和冷却而产生的热应力和由结构因素引起的拘束应力之外，还有金属相变时，由于体积变化而产生的组织应力。这种组织应力，焊接的不易淬火钢在冷却时，奥氏体组织的分解温度较高(约500℃)，金属还具有较好的塑性，不会产生很大的应力；而焊接的易淬火钢在冷却时，奥氏体组织要在200~300℃时，才分解转变成马氏体组织，这时，钢的塑性已经很低，而屈服强度很高，因此造成了很大的组织应力，再加上氢的析集等，故容易在焊接接头的熔合区和热影响区发生开裂，严重地降低焊接接头的机械性能。

3. 去氢 由于氢对焊接接头具有严重的有害作用，因此在焊接前、焊接中、焊接后都必须采取措施，以使焊接接头中含氢量最少。

(1) 焊接前采取的措施：①把焊丝和待焊处约20mm范围内的铁锈、油污等脏物清除干净；②熔剂要保持干燥，避免受潮；③根据母材，选择合适的焊丝。

(2) 焊接中采取的措施：①尽量选择中性焰进行焊接；②采用合适的焊接工艺参数，并在焊接过程中保持稳定；③正确掌握合理的操作方法；④焊前预热。

(3) 焊接后采取的措施：焊后应进行消氢处理。

气焊焊缝金属的冷却速度比手弧焊要慢一些，因此氢和其它气体能够比较顺利地焊接熔池中逸出来，获得无气孔的焊缝。同时热影响区也不易淬硬和产生氢致裂纹。

## 第二节 焊接热影响区的组织及性能变化

气焊时，焊接热影响区的组织和性能与母材的材料及焊接热循环有关，不同的材料在不同的焊接热循环作用下，热