



新世纪劳动技能与劳动力转移培训教材

就业 立业 创业

HAN GONG

# 焊工

# 快速提高

*Kuaisu tigao*

主 编 杨海明



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

新世纪劳动技能与劳动力转移培训教材  
就业·立业·创业

# 焊工快速提高

主编 杨海明

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书针对已入门者,根据劳动部高级工考核要求编写而成,特别注重与实际操作技能相结合。其主要内容包括:焊接化学冶金、常用金属材料的焊接、焊接接头试验方法、焊接应力与变形、典型金属结构的焊接、焊接设备、焊条电弧焊操作技能、气体保护焊操作技能、焊接结构生产管理、焊工培训与考核、焊接安全知识等。

全书图文并茂、通俗易懂、精炼实用、通用性强,可作为失地农民、企业下岗工人、复退转军人、进城务工人员劳动力转移提高培训和创业培训使用,也可以作为青工自学和各技术学院学生的焊工高级工培训教材。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

焊工快速提高/杨海明主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.6  
ISBN 978-7-5640-3199-2

I. ①焊… II. ①杨… III. ①焊接-基本知识 IV. ①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088778 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 880 毫米×1230 毫米 1/32

印 张 / 10.125

字 数 / 265 千字

版 次 / 2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 19.80 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 边心超

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 劳动力转移培训系列教材编委会

主任 王伟成  
副主任 袁梁梁 蔡坚成 潘白海 张伟贤 张晓松  
庄三舵 王国海 卢玉章 钱文玉 钱兴年  
周金宇 李风云 石诗平 常林 王军

## 参编单位

江苏省劳动和社会保障厅  
江苏城市职业学院武进校区  
江苏广播电视大学武进学院  
江苏技术师范学院  
江苏工业学院  
常州信息职业技术学院  
常州轻工职业技术学院  
常州机电职业技术学院  
常州高级技工学校  
常州武进职业教育中心学校  
常州航天航空技术学校  
常州市劳动和社会保障局就业管理处  
常州科教城现代工业中心  
中国中天钢铁集团  
中国南车集团戚墅堰车辆厂  
常州凯达轧辊集团有限公司

# 前言

焊工快速提高

随着中国国民经济和现代科学技术的迅猛发展，特别是加入WTO以后，机械制造业更是得到了前所未有的发展，而中国也正由一个制造业大国向一个制造业强国迈进，全世界各国都在期望中国能抓住机遇。

机械制造业是技术密集型的行业，历来高度重视技术人员的素质。而我国的现状是各种技能型人才，特别是高级技能人才短缺，这在经济发达的长三角、珠三角地区和沿海城市尤为明显。江苏省省委一号文件明确提出，要坚持把农村劳动力转移工作作为农民增收的最大致富工程来抓，更好地实现下岗工人、失地农民、复转退军人及外来务工人员（新市民）的再就业和创业工程。而在劳动力转移工作做得比较好的城市——江苏省常州市，早已不再满足于简单的再就业，而是深入贯彻党的十七大精神，在原有的劳动转移基础上，鼓励更多人创业和做好劳务输出工作。为了进一步规范劳动力转移工作，江苏省社会劳动和社会保障厅组织工作在全省劳动力转移一线的优秀教师，编写本套劳动力转移系列教材，为富民强省，创建和谐社会作出新的贡献。

焊接是机械制造领域中重要的工种之一，在机械生产过程中，起着重要的作用。本书通俗、易懂、简明、实用，让工人通过相应的理论和操作技能学习，了解本工种的基本专业知识和高级工操作技能，轻松掌握一技之长，信步迈入机械工人之门。全书图文并茂，浅显易

懂，既可作为劳动力转移培训提高篇使用，又可以作为企业工人上岗前和各技术学院学生高级工培训使用。

全书由江苏常州技师学院杨海明老师负责编写。之前的焊工快速入门在全国发行以来，受到了广大读者的广泛好评，应广大读者和出版社的要求，特编写此教材，旨在能为劳动力转移工作尽一点绵薄之力。由于时间仓促，本人水平有限，书中难免有疏忽和不当之处，敬请专家和读者朋友批评指正。

编者

# 目 录

焊工快速提高

<b>第一章 焊接化学冶金</b> .....	1
第一节 焊接化学冶金过程 .....	1
第二节 焊缝结晶过程 .....	10
第三节 焊接裂纹 .....	14
第四节 焊缝中的气孔 .....	22
<b>第二章 常用金属材料的焊接</b> .....	29
第一节 金属的焊接性 .....	29
第二节 碳素钢的焊接 .....	33
第三节 普通低合金结构钢的焊接 .....	37
第四节 珠光体耐热钢的焊接 .....	42
第五节 不锈钢的焊接 .....	46
第六节 铸铁的焊接 .....	52
第七节 有色金属的焊接 .....	57
第八节 异种金属焊接 .....	64
<b>第三章 焊接接头试验方法</b> .....	71
第一节 焊接性试验方法 .....	71
第二节 焊接接头力学性能试验方法 .....	83
第三节 焊接接头理化试验方法 .....	93
第四节 焊接容器的密封性试验方法 .....	98

<b>第四章 焊接应力与变形</b> .....	102
第一节 焊接应力与变形的基本概念 .....	102
第二节 焊接残余变形的分类及产生原因 .....	108
第三节 影响焊接残余变形的因素 .....	113
第四节 控制焊接残余变形的措施 .....	116
第五节 焊接残余应力 .....	120
<b>第五章 典型金属结构的焊接</b> .....	125
第一节 梁与柱的焊接 .....	125
第二节 压力容器的焊接 .....	140
<b>第六章 焊接设备及焊接辅助设备</b> .....	153
第一节 焊接设备 .....	153
第二节 常用焊接设备及其验收和维护 .....	157
第三节 焊接变位机械 .....	170
第四节 焊接机器人 .....	185
第五节 装配、焊接用辅助设备 .....	188
<b>第七章 焊条电弧焊操作技能</b> .....	195
第一节 板状接头焊条电弧焊 .....	195
第二节 管状接头焊条电弧焊 .....	213
第三节 管板接头焊条电弧焊 .....	223
<b>第八章 气体保护焊操作技能</b> .....	233
第一节 板状接头气体保护焊 .....	233
第二节 管状接头气体保护焊 .....	246
第三节 管板接头气体保护焊 .....	253
第四节 组合件焊接 .....	261
<b>第九章 焊接结构生产管理</b> .....	266
第一节 焊接结构生产工艺规程 .....	266
第二节 焊接时间定额 .....	271
第三节 焊接材料定额 .....	286
<b>第十章 焊工培训与考核</b> .....	293



第一节 焊工培训与考核的意义 .....	293
第二节 国内焊工培训和考核标准 .....	294
<b>第十一章 特殊条件下焊接安全知识 .....</b>	<b>304</b>
第一节 登高焊接作业安全操作规程 .....	304
第二节 化工燃料容器、管道作业安全操作规程 .....	307
第三节 黄铜焊接安全操作规程 .....	309
<b>参考文献 .....</b>	<b>311</b>

## 第一章

# 焊接化学冶金

- ◎第一节 焊接化学冶金过程
- ◎第二节 焊缝结晶过程
- ◎第三节 焊接裂纹
- ◎第四节 焊缝中的气孔

### 第一节 焊接化学冶金过程

钢材的熔焊，一般都要经历如下过程，加热—熔化—冶金反应—结晶—固态相变—形成接头。可见熔化焊时所经历的过程是很复杂的。

熔焊时，在熔化金属、熔渣、气相之间进行一系列化学冶金反应，如金属的氧化、还原、脱硫等，这些冶金反应将直接影响焊缝金属的化学成分、组织和性能，因此控制冶金过程是提高焊接质量的重要措施之一。而且焊接条件是快速连续冷却，使焊缝金属的结晶和相变具有各自的特点，并且有可能在这些过程中产生偏析、夹杂、气孔及裂缝等缺陷。因此控制和调整焊缝金属的结晶和相变过程是保证焊接质量的又一关键。

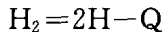
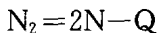
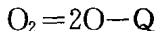
焊接化学冶金是在焊接过程中通过冶金处理的方法，消除焊缝金

属中的有害杂质，增加焊缝金属中某些有益的合金元素，从而保证焊缝金属的各种性能。

## 一、焊接化学冶金过程的特点

### 1. 温度高及温度梯度大

焊接电弧的温度很高，一般可达到  $6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 8\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，使金属剧烈蒸发，电弧周围的气体  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  等大量分解：



分解后的气体原子或离子很容易溶解在液态金属中，随着温度下降溶解度也下降，如果来不及析出，易造成气孔。

熔池温差大，熔池的平均温度在  $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上，并被周围的冷却金属所包围，温度梯度大，两者温差相当大，因此使焊接产生应力并引起变形，严重者还产生裂纹。

### 2. 熔池体积小，熔池存在时间短

焊接熔池的体积较小，焊条电弧焊时熔池的质量通常是  $0.6\sim 16\text{ g}$ 。同时，加热及冷却速度很快，由局部金属开始熔化形成熔池，到结晶完了的全部过程一般只有几秒钟的时间，而温度又在急剧变化，因此整个冶金反应常常达不到平衡。在很小的金属体积内化学成分就有较大的不均匀性，形成偏析。

### 3. 熔池金属不断更新

在焊接时，由于熔池中参加反应物质经常改变，不断有新的铁水及熔渣加入到熔池中参加反应，增加了焊接冶金的复杂性。

### 4. 反应接触面大，搅拌激烈

焊接时，熔化金属是滴状从焊条（焊丝）端部过渡到熔池的，因此熔滴与气体及熔渣的接触面就大大超过了一般炼钢的情况。接触面

大可以加速反应进行，但同时气体侵入液体金属中的机会也增加了，使焊缝金属易产生氧化、氮化及气孔。此外熔池搅拌激烈有助于加快反应速度，也有助于熔池中气体的逸出。

## 二、气体与金属的作用

在焊接过程中，熔池周围充满着各种气体，这些气体主要来自以下几个方面：焊条药皮或焊剂中造气剂产生的气体；来自周围的空气；焊芯、焊丝和母材在冶炼时残留的气体；焊条药皮或焊剂未烘干在高温下分解出的气体；母材表面未清理干净的铁锈、水分、油、漆等，在电弧作用下分解出的气体。这些气体都不断地与熔池金属发生作用，有些还进入到焊缝金属中去，使主要成分为  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  及少量的金属于熔渣的蒸气，气体中以  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$  对焊缝的质量影响最大。

### 1. 氢与焊缝金属的作用

焊接区的氢主要来自受潮的药皮或焊剂中的水分、焊条药皮中的有机物、焊件表面的铁锈、油脂及油漆等。

通常情况下，氢不和金属化合，但是它能够溶解于  $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$  等金属，氢在铁中的溶解度如图 1-1 所示。氢在铁中的溶解

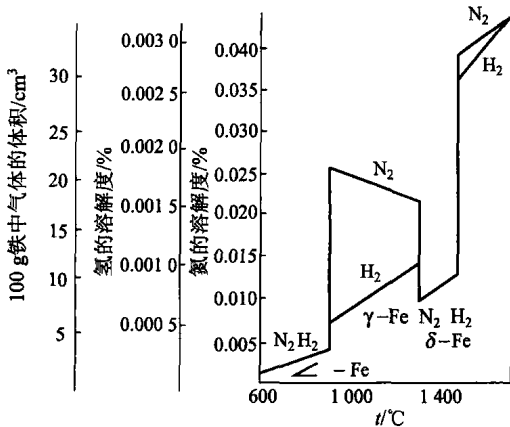


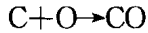
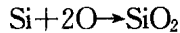
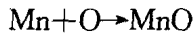
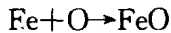
图 1-1 压力为 0.1 MPa 时氮和氢在铁中的溶解度

度与温度和铁的同素异构体有关，还与氢的压力有关。氢在铁中的溶解，只能以原子状态或离子状态熔入金属。由图 1-1 可以看出，温度越高，氢溶解在金属中的数量也越多，而在相变时气体的溶解度发生突变。焊接时的冷却速度快，容易造成过饱和氢残留在焊缝金属中，当焊缝金属的结晶速度大于它的逸出速度时，就形成气孔。

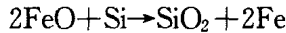
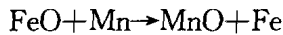
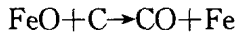
氢是还原性气体，它在电弧气氛中有助于减少金属的氧化性，但是在大多数情况下，这种好作用不仅完全被抵消，而且还产生许多有害的作用，如引起氢脆性；白点、硬度升高；使钢的塑性严重下降；严重时将引起裂纹。

## 2. 氧与焊缝金属的作用

焊接区的氧气主要来自电弧中氧化性气体（ $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等）、药皮中的高价氧化物和焊件表面的铁锈、水分等的分解产物。氧在电弧高温作用下分解为原子，原子状态的氧比分子状态的氧更活泼，能使铁和其他元素氧化。



其中能溶解于液体金属，由于有的元素存在，还使其他元素进一步氧化。



由于氧化的结果，使焊缝中有益元素大量烧损，氧化的产物一般上浮到熔渣中去，有时也会以夹杂形式存在于焊缝中。焊缝金属中的含氧量增加，使其的强度极限、屈服点、塑性和冲击韧性降低更为明显。此外，还使焊缝金属的抗腐蚀性能降低，加热时有晶粒长大趋势，冷却的倾向增加。

氧与碳、氢反应，生成不溶于金属的气体  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，若这种反

应是在结晶温度时进行的，那么由于熔池已开始凝固，CO 和 H<sub>2</sub>O 不能顺利逸出，便形成气孔。

由于氧有这些危害，所以焊接时必须脱氧。焊条电弧焊焊缝中氧的含量除了与焊条的成分有关以外，还和焊接电流、电弧长短有关。电流越大，熔滴越细，则增大了熔滴与氧的接触面积；电弧越长，使熔滴过渡的路程越长，从而增加了熔滴与氧的接触机会与时间，结果都使焊缝金属的含氧量增加。

### 3. 氮与焊缝金属的作用

焊接区中的氮主要来自空气，它在高温时溶入熔池，并能继续溶解在凝固的焊缝金属中。氮随着温度下降，溶解度降低，析出的氮与铁形成化合物，以针状夹杂形式存在于焊缝金属中，氮的含量较高时，对焊缝金属的力学性能有较大的影响，如硬度和强度提高，塑性降低。此外，氮也是形成气孔的原因之一。由于氮主要来源于空气，故电弧越长，氮侵入也越多；熔池保护差，氮侵入也越多。目前使用的气体保护焊，埋弧自动焊和焊条电弧焊，保护情况都比较好，因此能显著地降低焊缝中的含氮量。

## 三、焊接熔渣的酸、碱性

焊接过程中，焊条药皮或焊剂熔化后经过一系列化学变化，形成覆盖于焊缝表面的非金属物质，称为熔渣。钢焊条熔渣主要由氧化物组成，这些氧化物有的是金属氧化物，有的是非金属氧化物。如果按化学性质来分，可分为碱性氧化物（CaO、MgO、FeO、MnO 等）、酸性氧化物（SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等）和两性氧化物（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等）。熔渣中除氧化物外，还有氟化物（CaF<sub>2</sub>、NaF、KF 等）和氯化物（KCl、NaCl 等）及少量的硫化物、碳化物。

碱性氧化物多时，熔渣表现为碱性，反之熔渣的酸性氧化物多时表现为酸性。为了表示熔渣碱性的强弱，可用“碱度”表示：

$K = \text{各种碱性氧化物的总质量} / \text{各种酸性氧化物的总质量}$

式中  $K$  表示熔渣的碱度，当  $K > 1.5$  时，化学性质呈碱性的熔渣为碱

性渣； $K < 1.5$  时，化学性质呈酸性的熔渣称为酸性渣。

E4320 焊条的焊接熔渣由  $\text{FeO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$  构成，是以酸性氧化物为主的；E4303 焊条的熔渣由  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$  构成，也以酸性氧化物为主，所以称为酸性焊条。E5015 焊条的熔渣由  $\text{CaO}$ 、 $\text{CaF}_2$  构成，是以碱性物为主，称为碱性焊条。

#### 四、焊缝金属的脱氧

焊接金属的含氧量增多，将使焊缝金属的强度、硬度、塑性、韧性及抗腐蚀性能均降低，而且使飞溅、气孔和冷、热脆性倾向增大。因此，为了保证焊缝金属的力学性能，必须在熔池结晶前进行脱氧（对低碳钢和低合金钢来说危害性最大的是  $\text{FeO}$ ），使焊缝金属中氧化夹杂物减少到最低限度。

焊缝金属的脱氧主要有二个途径：脱氧剂脱氧（根据脱氧的时间可分为先期脱氧、沉淀脱氧）及扩散脱氧。

选择脱氧剂的原则是：脱氧剂在焊接温度下对氧的亲合力应比被焊金属对氧的亲合力大。元素对氧的亲合力大小顺序为： $\text{Al}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ 。在实际生产中，常用它们的铁合金或金属粉，如锰铁、硅铁、钛铁、铝粉等作为脱氧剂。元素对氧的亲合力越大，脱氧能力越强；脱氧后的产物应不溶于金属而容易被排除入渣固定；脱氧后的产物熔点应较低，密度应比金属小，易从熔池中上浮入渣。

根据酸性焊条和碱性焊条的药皮类型不同，他们采用的脱氧途径及脱氧选用的元素也有所区别。

#### 五、焊缝金属的脱硫

硫是钢中的有害杂质之一，在钢材和焊芯中都要加以限制，但在焊条药皮中某些物质常含有硫，如钛白粉在未出理前含硫量高达 0.14% 以上，因此需经高温焙烧使含量降至  $< 0.05\%$ ，才能满足焊条生产的要求。

硫在低碳钢中主要以  $\text{FeS}$  和  $\text{MnS}$  形式存在。 $\text{FeS}$  可无限的溶解

于液态铁中，而溶于固态铁却很少，只有 0.015~0.020%，因此熔池凝固时 FeS 即析出，并与  $\alpha$ -Fe、FeO 及  $(\text{FeO})_2 \cdot \text{SiO}_2$  及等形式低熔点共晶（硫化物熔点的比较见表 1-1）在焊缝结晶过程中析集于晶界上呈液态薄膜，因而在焊缝冷却时所造成的内应力作用下容易引起结晶处的开裂——热裂纹。

表 1-1 硫化物熔点的比较

共晶物	Fe+ $\alpha$ -Fe	FeS+FeO
熔点	985 °C	940 °C

MnS 在液态铁中溶解度较小，所以容易排除入渣，即使不能排走而留在焊缝中，也由于 MnS 熔点高（1 620 °C）并呈球状分布焊缝中，因而不易裂开。

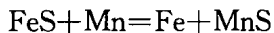
### 1. 脱硫方式

在焊接过程中脱硫的主要办法有元素脱硫和熔渣脱硫。

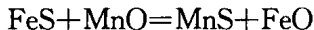
(1) 元素脱硫各种常见元素与硫的亲合力大小排列如下：



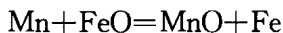
这些元素中的 Al、Ca、Mg 脱硫能力较强，但因极易氧化，故一般不采用。在焊接中最常用的是 Mn。其反应式为：



(2) 熔渣脱硫 MnO 脱硫反应式为：

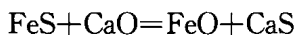


从反应式可知，当焊缝和熔渣中 MnO 增加或 FeO 减少时，反应易向右进行，脱硫作用加强，这说明脱硫反应和脱氧反应同时进行，如果有足够的 Mn，则按下列公式反应：



既减少 FeO，又增加了 MnO 用以脱硫，但因焊接冶金时间短，MnO 脱硫反应不可能进行充分。

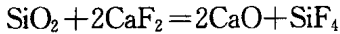
CaO 脱硫反应式为：





Ca 比 Mn 对硫的亲合力强，并且 CaS 完全不溶于金属，所以 CaO 脱硫效果好，要增加 CaO 的脱硫能力，同样要增加 CaO 或减少 FeO，也就是 CaO 以脱硫时也必须同时脱硫。

CaF<sub>2</sub> 脱硫，一方面是与硫化合生成挥发性的硫化物 (SF<sub>2</sub>)，另一方面 CaF<sub>2</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 作用可能增加 CaO，有利于脱硫。



## 2. 酸性焊条和碱性焊条的脱硫

总的来说，碱性焊条的脱硫能力比酸性焊条强。焊接冶金由于时间短，脱硫反应往往来不及达到完全，加上其他条件的限制，因此焊接冶金的脱硫总比炼钢冶金时的脱硫效果差，所以必须严格控制焊接材料（包括焊芯及药皮）中的含硫量。

## 六、焊缝金属的脱磷

磷以铁磷化物 (Fe<sub>2</sub>P、Fe<sub>3</sub>P) 形式存在与钢中，它能与铁形成低熔点共晶，聚于晶界，易引起热裂。更严重的是，这些低熔点共晶削弱了晶粒间的结合力，使钢在常温和低温时变脆（即冷脆性），造成冷裂，故磷在钢中是有害的杂质。因此在低碳钢和低合金钢焊缝中，含磷量一般限制在 0.045% 以下；合金焊缝限制在 0.035% 以下。

脱磷的过程有两个阶段：首先将 P 氧化成 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>；然后利用碱性氧化物与 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合成稳定的磷酸盐。

一般来说，酸性焊条脱硫效果较碱性焊条更差。由于脱磷较难，所以一般是以严格控制原材料中的含磷量为主。

## 七、焊缝金属的渗合金

焊接过程中，熔池金属中的合金元素会由于氧化和蒸发等造成烧损，因而降低了焊缝金属的合金成分和力学性能。为了使焊缝金属的成分，组织性能符合预定的要求，就必须根据合金元素可能损失的情况，向熔池中添加一些合金元素，这种方法称为焊缝金属的渗合金。渗合金不但可以获得成分、组织和力学性能与母材相同或相近的焊缝