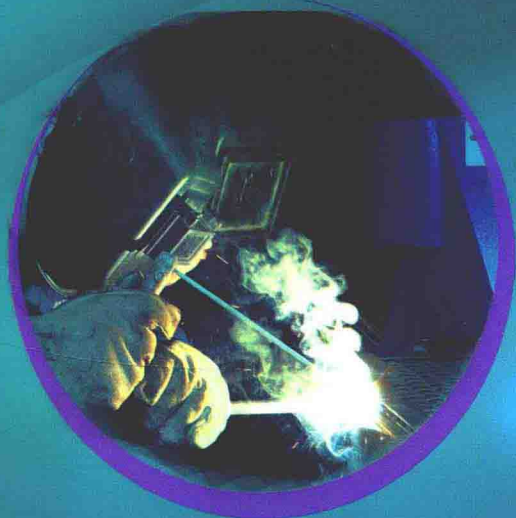




CO₂ 气体保护焊工艺

建军 主编

CO₂ 气体保护焊工艺

主 编 郝建军

内容提要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践和焊接技术的发展状况编写而成。本书的内容编排结合岗位技术特点,贴近生产实际,力求实现先进性和实用性等特色。在尊重教学规律的前提下,注重对焊接工艺相关知识的重新整合和对学生实践能力的培养。本书主要阐述了 CO₂ 气体保护焊基础、CO₂ 气体保护焊工艺与操作、常用金属材料的 CO₂ 气体保护焊、CO₂ 气体保护焊技能实训等,并对 CO₂ 气体保护半自动点焊、CO₂ 气体保护焊自动堆焊等新工艺等进行了阐述。

本书可供焊接技术、机械制造等专业的师生使用,也可供从事与焊接技术相关的工程技术人员、管理人员和操作人员使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

CO₂ 气体保护焊工艺 / 郝建军主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5682-1951-8

I. ①C… II. ①郝… III. ①二氧化碳保护焊-焊接工艺 IV. ①TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 043706 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 310 千字

版 次 / 2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 / 44.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

本套教材根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,结合职业技能鉴定需求和焊接专业特点编写而成。全套教材包括《熔焊方法与工艺》《焊接电工电子技术》《焊接工程制图与 CAD》《焊接结构生产》《焊接检测技术》《熔焊基础与金属材料焊接》《工程材料与热加工基础》《焊接方法与设备》《机械工程基础(焊接专业)》《焊接安全与卫生》《金工实习(焊接专业)》《材料连接与切割技术》《焊条电弧焊工艺》《CO₂气体保护焊工艺》《氩弧焊工艺》《气焊气割工艺》《埋弧焊工艺》《钳工工艺》《钣金连接与工艺》《焊接识图》等。

在教材的编写过程中,我们始终坚持了以下几个原则:

(1) 坚持中高级技能人才的培养方向,从职业(岗位)需求分析入手,强调实用性,使学生掌握一定理论知识,培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际,提高学生操作技能水平。

(2) 紧密结合教育教学实际情况,化繁为简,化难为易,全书以国家职业资格标准为依据,力求使教材内容在覆盖职业技能鉴定的各项要求的基础上拓展外延,以满足不同层次的各级各类学校和工矿企业的需求。

(3) 突出教材的时代感,力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容,较全面地反映焊接技术发展趋势。

(4) 打破传统教材编写模式,树立以学生为主体的教学理念,强调培养学生自主学习能力。

本套教材是基于编者多年的教学实践积淀而成。编写时,取材力求少而精,突出实用性,内容紧密结合工程实践。本套教程可供焊接技术、机械制造、材料加工等专业师生使用,也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

目 录

第一部分 理论基础

课题一 CO ₂ 气体保护焊基础.....	1
课目一 CO ₂ 气体保护焊概述.....	1
课目二 CO ₂ 气体保护焊的冶金特点.....	5
课目三 CO ₂ 气体保护焊的熔滴过渡.....	15
课目四 CO ₂ 焊缺陷及安全技术.....	23
课题二 CO ₂ 焊工艺.....	32
课目一 CO ₂ 焊设备.....	32
课目二 CO ₂ 焊焊接材料.....	50
课目三 焊前准备.....	61
课目四 焊接参数及其选择.....	69
课题三 CO ₂ 焊操作.....	79
课目一 半自动CO ₂ 焊的操作.....	79
课目二 自动CO ₂ 焊工艺及操作.....	106
课题四 CO ₂ 焊新工艺.....	110
课目一 混合气体保护焊.....	110
课目二 CO ₂ 气体保护半自动点焊.....	112
课目三 CO ₂ 保护自动堆焊.....	115
课目四 CO ₂ 保护振动堆焊.....	129
课目五 药芯焊丝CO ₂ 气体保护焊.....	132
课目六 半自动CO ₂ 气体保护螺栓焊.....	140
课目七 CO ₂ 气电立焊.....	141
课目八 双层气流CO ₂ 保护脉冲焊.....	142
课题五 常用金属材料的CO ₂ 气体保护焊.....	144
课目一 碳素钢的CO ₂ 气体保护焊.....	144
课目二 低合金高强度结构钢的CO ₂ 气体保护焊.....	147
课目三 不锈钢CO ₂ 气体保护焊.....	150
课目四 铸铁的CO ₂ 气体保护焊.....	153

第二部分 技能实训

任务一 T形接头平角焊.....	155
任务二 T形接头立角焊.....	159
任务三 板对接平焊.....	161
任务四 板对接立焊.....	165
任务五 板对接横焊.....	169
任务六 板对接仰焊.....	172
任务七 管对接水平转动焊.....	174
任务八 管对接水平固定焊.....	177
任务九 管对接垂直固定焊.....	180
附录A 二氧化碳气体保护焊工艺规程 (JB/T 9186-1999)	183
附 录 B.....	199
参考文献.....	201

第一部分

理论基础

课题一 CO₂气体保护焊基础

学习目标

- ①了解CO₂气体保护焊的工作原理、特点及应用。
- ②理解CO₂气体保护焊的冶金特点，掌握CO₂保护焊的气孔的种类及形成原因。
- ③理解CO₂气体保护焊的熔滴过渡种类及改善熔滴过渡的措施。
- ④了解CO₂气体保护焊设备的组成、使用及保养，会正确使用CO₂保护焊设备。
- ⑤了解CO₂气体的性质，掌握CO₂气体的净化方法。
- ⑥熟悉CO₂气体保护焊焊丝的种类、型号和牌号，学会正确选择合使用CO₂保护焊焊丝。
- ⑦理解CO₂气体保护焊常见缺陷及防止措施，掌握CO₂保护焊安全生产与卫生技术。

课目一 CO₂气体保护焊概述

一、CO₂气体保护焊的工作原理

CO₂气体保护电弧焊（简称CO₂焊）是以CO₂气作为保护气体的熔化极气体保护焊，是以燃烧于焊件与焊丝间的电弧作热源的一种焊接方法，其原理如图1-1所示。焊接时使用成盘的焊丝，焊丝由送丝机构经软管和焊枪的导电嘴送出。当焊丝与焊件接触后便产生电弧，在高温电弧的作用下，则焊件局部熔化形成熔池，而焊丝末端也随着熔化，形成熔滴过渡到熔池中去。同时，气瓶中

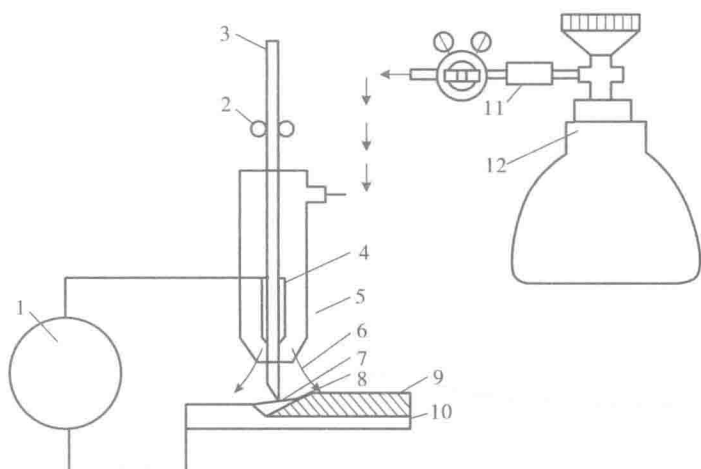


图1-1 CO₂气体保护焊接过程示意图

1—焊接电源；2—送丝滚轮；3—焊丝；4—导电嘴；5—喷嘴；6—CO₂气体
7—电弧；8—熔池；9—焊缝；10—焊件；11—预热干燥器；12—CO₂气瓶

送出的CO₂气体以一定的压力和流量从焊枪中的喷嘴喷出，在电弧周围形成了一个具有挺直性的气体帷幕，像保护罩一样，保护了熔化的液态金属，阻止外界有害气体的侵入，随着焊枪的不断移动，熔池凝固后便形成了焊缝。

二、CO₂气体保护焊的发展及应用

CO₂气体保护焊是50年代发展起来的一种新的焊接技术。半个世纪来，它已发展成为一种重要的熔焊方法。据不完全统计，1998年美国CO₂气体保护焊的焊接工作量占当年焊接工作量的56%，日本的CO₂气体保护焊工作量占当年焊接工作量的71%，与此同时，日本的焊条生产量却由1930年占焊接材料总产量的57.7%下降到1999年的19.4%，苏联在1980—1987年间，焊条的产量下降32%，而CO₂气体保护焊用的焊丝产量却增长了23%。

在我国，CO₂气体保护焊也得到了飞速的发展，并广泛应用于汽车制造、船舶制造、动力机械制造、机车车辆制造、集装箱制造、矿山机械及工程机械制造、锅炉压力容器制造和金属结构制造等方面，是目前黑色金属材料最重要焊接方法之一。

CO₂气体保护焊可以焊接低碳钢、屈服点 $\sigma_s \leq 500$ MPa的低合金钢和经过焊后热处理，抗拉强度 $\sigma_b \leq 1\,200$ MPa的低合金高强度钢的薄、中、厚板焊接；与药芯焊丝配合可以焊接低合金高强钢、耐热钢、耐候钢、不锈钢；还可用于堆焊耐磨零件，补焊铸钢件和铸铁件。

三、CO₂气体保护焊的特点

1. 优点

（1）高效节能

CO₂气体保护焊是一种高效节能的焊接方法，例如水平对接焊10 mm厚的低

碳钢板时, CO_2 气体保护焊的耗电量比焊条电弧焊低 $2/3$ 左右, 与埋弧焊相比也略低些。同时考虑到高生产率和原材料价格低廉等特点, CO_2 气体保护焊的经济效益是很高的。

(2) 生产效率高

CO_2 气体保护焊的高效率主要体现在以下几方面: CO_2 气体保护焊采用的电流密度比手工电弧焊和埋弧焊大得多, 焊丝熔化速度快, 母材熔深大, 对于 10 mm 以下钢板开 I 形坡口可一次焊透。对于厚板可加大钝边, 减小坡口角度, 减少填充金属, 提高生产率; CO_2 气体保护焊时产生的熔渣极少, 多层多道焊时, 层间几乎不必清渣; CO_2 气体保护焊采用整盘焊丝, 减少了更换焊条的时间, 又不需扔焊条头, 还减少了引弧、收弧和接头, 既节省了时间, 又节省了填充金属, 还减少了接头缺陷。

(3) 焊接变形小

因 CO_2 气体保护焊时焊接电流密度高, 电弧热量集中, CO_2 气体有冷却作用, 工件受热面积小, 所以焊后工件变形小, 特别是焊薄板时, 可减少矫正变形工作量。另外, 用细丝 (焊丝直径 $\leq 1.6\text{ mm}$) 焊接时可以使用较小的电流, 实现短路过渡方式。这时电弧对焊件间断加热, 电弧稳定, 热量集中, 焊接热输入小, 焊接变形很小。

(4) 对油锈不敏感

因 CO_2 气体保护焊过程中 CO_2 分解, 放出氧, 保护气氧化性强, 对工件上的油、锈及其他脏物的敏感性较小, 故对焊前清理要求不高, 只要工件上没有明显的黄锈和氧化皮, 一般不必清除。 CO_2 气体保护焊是一种低氢焊接方法, 焊后熔敷金属中扩散氢含量低, 在焊接低合金高强钢时, 出现冷裂纹的倾向小, 同时也不易产生氢气孔。

(5) 成本低

CO_2 气体保护焊所使用的气体和焊丝价格便宜, 来源广泛, 焊接设备在国内已定型生产, 为该法的应用创造了十分有利的条件。据统计, CO_2 气体保护焊的成本仅为手工电弧焊的 $40\% \sim 50\%$ 。

(6) 易实现自动化

CO_2 气体保护焊是一种明弧焊接法, 便于监视和控制电弧和熔池, 有利于实现焊接过程的机械化和自动化。用半自动焊焊接曲线焊缝和空间位置焊缝也十分方便。

2. 缺点

①焊接过程中金属飞溅较多, 焊缝外形较为粗糙, 特别是当焊接参数匹配不当时, 飞溅更为严重。但焊接工艺参数合适时, 产生的飞溅比采用低氢型焊条的手工电弧焊少。

②焊接过程弧光较强, 尤其是采用大电流焊接时, 电弧的辐射较强, 故要特别重视对操作人员的劳动保护。

③不能焊接易氧化的金属材料，且不适于在有风的地方施焊。室外施焊时，须采取防风措施。

④不够灵活。 CO_2 气体保护焊焊枪和送丝软管较重，在小范围内施焊时不如手弧焊灵活，特别是使用水冷焊枪时很不方便。

⑤设备比较复杂，需要有专业人员负责维修。

四、 CO_2 气体保护焊的分类

CO_2 焊通常是按采用的焊丝直径来分类。当焊丝直径小于或等于1.6 mm时，称为细焊丝 CO_2 焊，主要用短路过渡形式焊接薄板材料。常用这种焊接方法焊接厚度小于3 mm的低碳钢和低合金结构钢。当焊丝直径大于1.6 mm时，称为粗焊丝 CO_2 气体保护焊，一般采用大的焊接电流和高的电弧电压来焊接中厚板，熔滴以颗粒形式过渡。

按操作方式， CO_2 气体保护焊可分为自动焊及半自动焊两种。半自动 CO_2 焊是由手工操作焊枪控制焊缝成形，而送丝、送气等功能同自动 CO_2 焊一样，由相应的机械装置自动完成。半自动 CO_2 焊适用性较强，在生产中被广泛采用，可以焊接较短的或不规则的曲线焊缝，还可以进行定位焊操作。自动 CO_2 焊主要用于较长的直线焊缝和环缝的焊接。

为了适应现代工业某些特殊应用的需要，目前在生产中除了上面提到的一般性 CO_2 气体保护焊方法之外，还派生出下列的一些方法：如药芯焊丝 CO_2 气体保护焊、 CO_2 电弧点焊、气电立焊、 CO_2 保护窄间隙焊等。

实芯焊丝 CO_2 气体保护焊时，保护气体为100%的 CO_2 气，焊接过程中飞溅大，焊接烟尘大，焊缝的冲击韧性较低但能满足力学性能要求，保护气体价格便宜（与Ar气、He气相比），是 CO_2 气体保护焊最常用的方法。如果采用 $\text{CO}_2 80\% + \text{O}_2 20\%$ （体积分数，以下同）进行气体保护焊时，比用纯 CO_2 气体保护具有更强的氧化性，焊接电弧热量更高，可以提高焊接速度和焊缝熔透深度。

药芯焊丝是由钢带和焊药组成的，焊药放在特制的钢带上，经包卷机的包卷和拉拔而成。焊接过程中可以用气体作保护的叫做气体保护焊用药芯焊丝，药芯焊丝用于 CO_2 气体保护焊的称为药芯焊丝 CO_2 气体保护焊。焊接过程中，药芯焊丝在电弧的高温作用下产生气体和熔渣，起到造气保护和造渣保护作用，不另加气体保护的称为自保护药芯焊丝，用这种焊丝焊接的方法称为自保护药芯焊丝焊接。

气电立焊是由普通熔化极气体保护焊和电渣焊发展而产生的一种新的熔化极气体保护电弧焊方法。保护气体可以是单一的气体（如 CO_2 气），也可以是混合气体（如Ar+ CO_2 ）。焊丝可以是实芯焊丝，也可以是药芯焊丝。焊接过程中，利用水冷滑块挡住熔化金属，使之强迫成形，实现立向位置焊接。这种焊接方法的优点是：开I形坡口的厚板可一次焊接成形，生产效率高。气电立焊常用于焊接12~80 mm厚的低碳钢或中碳钢板，也可以焊接奥氏体不锈钢板和其他

金属合金。

用CO₂气体作保护，在两块搭接的薄板上，利用燃烧的电弧来熔化上、下两块金属构件，焊枪及焊件在焊接过程中都不动，由于焊丝的熔化，在上板表面形成一个铆钉形状。这种焊接方法是通过电弧把一块板完全熔透到另一块板上来实现电弧点焊的。CO₂气体保护电弧点焊的板材一般不大于5 mm。较厚的板材也可以进行电弧点焊，但焊前要在上板进行钻孔或冲孔，电弧通过该孔直接加热下板而形成焊缝，这种焊接方法也称为塞焊。

CO₂气体保护电弧点焊不同于电阻点焊，电阻点焊是通过电极压紧两块薄金属板，此时，电极接通电流，电流则在两块薄金属板的接触面上产生电阻热，使接触面上流过电流的接触点熔化而形成焊点。气体保护电弧点焊与电阻点焊焊缝截面示意图如图1-2所示。CO₂气体保护电弧点焊焊接过程的特点是：被焊接的两个金属板要贴紧，中间无间隙，焊接电流要大，燃弧时间要短，焊机的空载电压要高（大于70 V），以保护点焊焊接过程频繁引弧的可靠性。

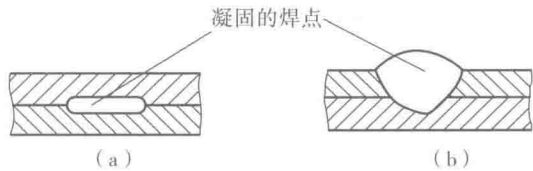


图1-2 CO₂气体保护电弧点焊与电阻点焊的焊缝截面
(a) 电阻点焊；(b) 电弧点焊

课目二 CO₂气体保护焊的冶金特点

一、CO₂气体保护焊过程的氧化

1. 原子态氧与金属反应

当采用光焊丝焊接时，空气将直接与液体金属接触，由于空气中含有氧气和氮气，所以，液态金属中将溶入大量的氧和氮，当这些气体在焊缝金属中含量超过一定值后，不仅使焊缝金属的力学性能变差，而且还会导致焊缝在凝固时产生大量气孔。所以，光焊丝在无保护焊接时，焊缝变脆，强度降低，不能用于受力较大的焊接结构，更不能焊接承受动载荷的焊接结构。

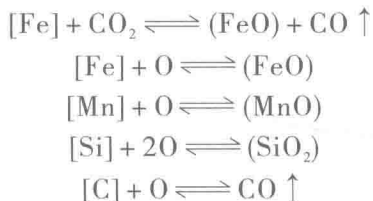
当光焊丝在CO₂气体保护下熔化焊接时，由于CO₂气体的密度较大，在焊接过程中能够很好地隔离空气，故起到了保护焊接区的作用。但是，CO₂气体是一种活性气体，特别是在高温时，它要分解成CO和原子态氧：



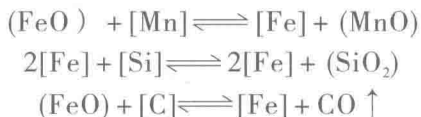
在焊接电弧区域里，同时存在CO₂、CO、O三种成分。其中CO气体在焊接的

条件下,既不溶解于金属,也不与金属发生作用。但是,CO₂和O却能与Fe和其他合金元素发生化学反应而使金属氧化。

合金元素的氧化不但与它在焊接区域的浓度有关,而且与它跟氧的亲合力有关。各种合金元素与氧亲合力的大小,还与其所在焊接区域的温度有关。所以,在温度较高的电弧空间和接近焊接电弧的焊接熔池中,将会发生如下反应:



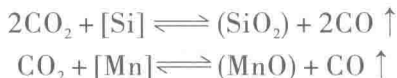
在离焊接电弧较远的焊接熔池的低温区内发生如下反应:



式中, []表示液态金属中的反应物; ()表示渣中的反应物。

2.CO₂气体与金属反应

在焊接熔池中,CO₂气体与金属反应为:

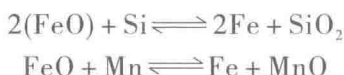


合金元素的氧化在焊丝熔滴和焊接熔池中均会发生,在焊丝熔滴上的氧化更为强烈。无论是在焊接区域的较高温度区,还是在较低的温度区,都能产生CO气体的反应,这种反应如果发生在焊接熔池中,随着焊接熔池的冷却结晶而CO气体又来不及逸出时,则会在焊缝中形成气孔。如果生成CO气体的反应发生在熔滴中,则由于气体的受热膨胀而导致焊丝熔滴爆炸,这种熔滴爆炸现象就是焊接飞溅。

合金元素Mn、Si等被氧化后,生成MnO、SiO₂成为熔渣浮在焊接熔池表面上,而C元素被氧化后则成为CO气体逸出焊接熔池,来不及逸出的则留在焊缝中形成气孔。由于焊缝中合金元素因氧化而减少,所以,焊缝金属的力学性能也就有所降低。

为了解决焊接过程中合金元素的氧化与脱氧,补充被烧损的合金元素,所以,在CO₂气体保护焊用焊丝中加入了足够数量的、对氧亲和力比Fe大的脱氧元素,一部分用于使Fe从FeO中还原,另一部分留在焊缝金属中,补充被烧损的合金元素。

常用的脱氧元素有Al、Ti、C、Si、Mn等，CO₂气体保护焊用焊丝则用Si和Mn联合脱氧：



Si元素和Mn元素的配合比例要合适，才能起到脱氧的作用。低碳钢或低合金结构钢焊接用CO₂气体保护焊用焊丝，Si元素的质量分数在1%左右，Mn元素的质量分数在2%左右。

二、CO₂气体保护焊中的气孔

焊接熔池中的气体在熔池凝固过程中来不及逸出，则在焊缝中形成气孔。CO₂气体保护焊过程中，CO₂气体在隔离空气，保护焊接熔池、熔滴的同时，CO₂气流还起到了冷却焊接熔池的作用，这样就会加快熔池的凝固，从而增大了形成气孔缺陷的可能性。CO₂气体保护焊焊缝内的气孔有CO气孔、H₂气孔、N₂气孔等。

1.CO气孔

CO气孔的形成与焊接过程中C元素的烧损，以及在熔池结晶时从熔池金属中析出CO气体有关，如下式所示：



上述反应在熔池温度较低的区域内进行得较为激烈，这是因为CO气体的急剧析出使熔池出现沸腾现象，由于此时的熔池温度已经较低，并且开始凝固，来不及逸出的CO气体就留在焊缝中形成CO气孔。这类气孔通常出现在焊缝的根部或近表面的部位，且多呈针尖状。

2.H₂气孔

H₂可以溶解于液态金属，在焊接熔池金属结晶的瞬间，由于溶解度的突然减小，熔池中存在的溶解态H₂来不及逸出焊接熔池时，就会留在焊缝中形成圆球形的气孔。H₂在Fe的液体中和固体中的溶解度与温度的关系如图1-3所示。

焊接熔池中的氢主要来自焊接电弧区，而焊接电弧区氢的来源有两方面：

①来自焊件和焊丝表面的油污、铁锈等。油污是碳氢化合物，在焊接电弧的高温作用下，会分解出氢；铁

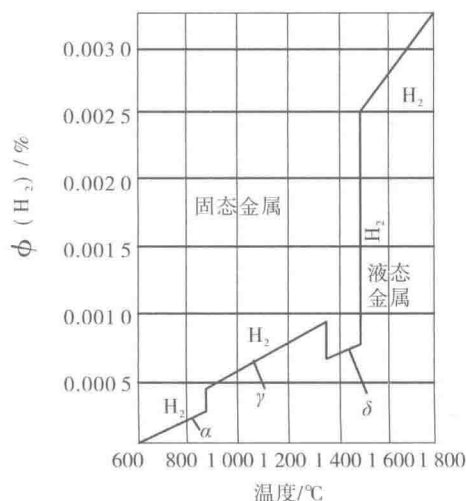
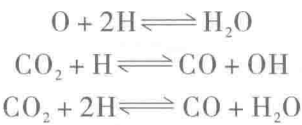


图1-3 H₂在Fe的液体与固体中溶解度

锈是含有结晶水的氧化铁，即 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ，在焊接电弧的高温作用下，铁锈中的结晶水将发生分解，发生如下反应：



但是，在 CO_2 气体保护焊过程中，电弧气氛中的 CO_2 和 O 的浓度值很高，将会阻止结晶水的分解，形成下列反应：



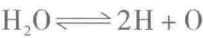
上述各反应式都是向右进行的，其生成物是焊接熔池中溶解度很小的水蒸气和羟基，从而减弱了氢的有害作用。此外，焊接电弧的高温也把铁锈中的结晶水大部分蒸发或被 CO_2 保护气流所带走，因此 CO_2 气体对抑制氢气孔的产生起到了有益的作用。

②来自 CO_2 气体中所含的水分。实验表明，焊接熔池中氢的含量与焊接电弧空间氢的含量成正比。随着 CO_2 保护气体所含水分的增加，会提高在焊接区域内氢的分压，同时也提高了焊缝金属中氢的含量。 CO_2 气体内的含水量与焊缝金属中的氢含量的关系见表1-1。

表1-1 CO_2 气体内含水量与焊缝金属中的氢含量关系

CO_2 气体内含水量 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	100g 焊缝金属中的氢含量 /mg	CO_2 气体内含水量 /($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	100g 焊缝金属中的氢含量 /mg
0.85	2.9	1.92	4.7
1.35	4.5	15.00	5.5

液态 CO_2 中可以溶解质量分数为0.005%左右的水（按 CO_2 液态重量），成自由状态沉积于瓶底。溶解于液态 CO_2 中的水分，将随着焊接过程中液态 CO_2 蒸发为气态 CO_2 而蒸发，瓶内底部沉淀的水也随之蒸发进入流出 CO_2 气瓶外的 CO_2 气中，从而大大提高了用于焊接保护的 CO_2 气体的含水量。这些水在焊接电弧的高温作用下，分解为自由状态的氢，自由状态的氢在焊接电弧中被电离，以氢离子的形式溶入熔池金属中，当液态溶池温度下降时，氢在熔池金属中的溶解度急剧下降，析出的氢不能及时逸出熔池时，就有可能形成 H_2 气孔。 CO_2 气体中的水被高温电弧分解成自由状态氢的反应式如下：



要避免 H_2 气孔，就要杜绝氢的来源。应去除焊件及焊丝上的铁锈、油污及其他杂质，更重要的要注意 CO_2 气体中的含水量。

CO₂气体具有氧化性，可以抑制氢气孔的产生，只要焊前对CO₂气体进行干燥处理，去除水分，清除焊丝和焊件表面的杂质，产生氢气孔的可能性很小。

3. N₂气孔

CO₂气体保护焊过程中，由于焊接参数选择不当，焊接作业现场环境的变化，使CO₂气体保护作用变差，空气侵入电弧区内，在焊接电弧的高温作用下，空气中的N₂会溶解到熔池金属中，当熔池开始冷凝时，N₂在熔池液态金属中的溶解度下降，析出的N₂如果来不及逸出焊接熔池，就会形成N₂气孔。N₂在液态Fe和固态Fe中的溶解度与温度的关系如图1-4所示。

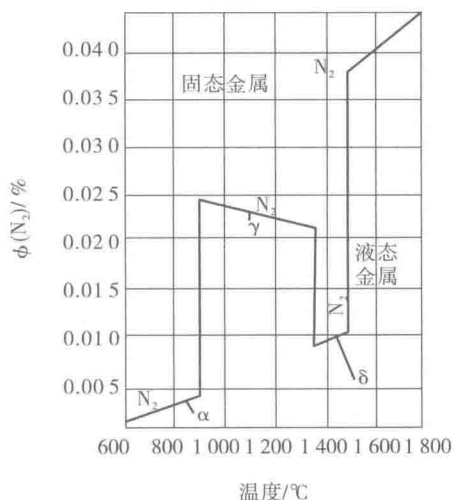


图1-4 N₂在Fe的液体与固体中溶解度

N₂气孔常出现在焊缝近表面的部位，呈蜂窝状分布，严重时还会以细小气孔的形式广泛分布在焊缝金属之中。这种细小气孔往往在金相检验中才能被发现，或者在水压试验时被扩大成渗透性缺陷而表露出来。

氮气孔产生的主要原因是保护气层遭到破坏，使大量空气侵入焊接区。造成保护气层破坏的因素有：使用的CO₂保护气体纯度不合要求；CO₂气体流量过小（流量过小，不足以在焊接电弧周围形成保护区，阻止空气侵入）或过大（流量过大，焊接电弧保护区产生涡流，卷入空气）；喷嘴被飞溅物部分堵塞；喷嘴与焊件距离过大、焊接速度过快、焊接场地有侧向风等。要避免N₂气孔，必须改善气保护效果。要选用纯度合格的CO₂气体，焊接时采用适当的气体流量参数；要检验从气瓶至焊枪的气路是否有漏气或阻塞；要增加室外焊接的防风措施。此外，在野外施工中最好选用含有固氮元素（如Ti、Al）的焊丝。

三、CO₂气体保护焊的脱氧

CO₂气体保护焊过程中，由于CO₂的氧化性，一方面使合金元素烧损，甚至在焊缝中产生大量气孔，从而降低了焊缝金属的力学性能；另一方面，氧化过程如果发生在焊丝熔滴过渡过程中，还会使焊接飞溅增大。同时，氧化过程生成物FeO，留在焊缝内部形成夹渣，也会降低焊缝的力学性能。为了保证焊缝的质量，焊接过程中要采取相应的措施进行脱氧。

在进行脱氧过程中，所填加的合金元素对氧的亲合力必须比Fe大，而且还应考虑到脱氧后的生成物不应该是气体，因为气体在焊接熔池凝固前来不及逸出，留在焊缝内就会形成气孔。脱氧物质最好是熔点低、密度小、不溶于液态金属的焊渣，在焊接过程中有利于浮出焊接熔池表面，不会在焊缝内部

形成夹渣。

CO₂气体保护焊时，常用Si、Mn进行脱氧。Si、Mn脱氧的反应式如下：



式中，[]内为液态金属反应物；()内为焊渣中的反应物。

Si具有较强的脱氧能力，焊缝中如果含有质量分数在0.3%以上的Si，焊接熔池不会因为产生大量的CO气体造成熔池的液态金属沸腾，而是保持了焊接熔池的镇定，从而避免了CO气孔的形成。但是，用Si脱氧后的生成物SiO₂，是尺寸较小的针状固体，不容易浮出焊接熔池表面，最终以夹渣的形式留在焊缝金属中，降低焊缝金属的冲击韧度和抗裂纹能力。

Mn比Si的脱氧能力差，脱氧生成物是MnO，密度比较大，约为5.11 g/cm³，也不容易浮出焊接熔池表面，在焊缝金属内形成夹渣。所以，单独用Mn脱氧也不可取。

采用适当含量的Si和Mn联合脱氧的效果很好，其中一部分用于使FeO脱氧，一部分被直接氧化和蒸发掉，剩余部分成为焊缝金属的合金元素。为此，CO₂气体保护焊的脱氧措施，是在焊丝中加入适当比例的Mn和Si，Mn/Si=2.0~4.5，常用的CO₂气体保护焊实芯焊丝是H08Mn2Si。

四、CO₂气体保护焊的飞溅

CO₂气体保护焊过程中，焊接飞溅较大是主要的缺点，飞溅严重时甚至影响CO₂气体保护焊的正常进行，不仅使焊缝成形不良，降低熔敷效率，而且还恶化了劳动条件。

CO₂气体保护焊的飞溅大致分为短路过渡飞溅和大滴过渡飞溅两种。

1. 短路过渡飞溅

(1) 短路过渡结束时，短路小桥缩颈处爆断产生飞溅

焊接过程中，焊丝熔滴与焊接熔池接触后形成液桥，在电磁力和表面张力等力的作用下，液桥逐渐变细而形成缩颈。在短路大电流密度的作用下，迅速加热缩颈处的液体金属，最终因其强烈汽化而爆断，形成金属飞溅。

从短路过渡过程得知，只有在焊丝熔滴液桥刚形成时，为提供较大的电磁收缩力，促使液桥形成缩颈，才需要较大的电流增长速度。当缩颈形成以后，在表面张力的作用下，熔滴缩颈能够被拉得更细，直至被拉断而平稳地过渡到焊接熔池中。所以，在焊丝熔滴缩颈被拉断前，无需通过很大的短路电流，这样就可以避免熔滴缩颈处的液体金属因强烈过热爆炸而形成的飞溅。

(2) 焊丝熔滴短路小桥缩颈断裂后，重新引弧产生的飞溅

当熔滴短路小桥缩颈断裂后，重新引弧时，产生强烈的气动冲击力，焊接熔池和焊丝端头上的熔滴在泼力的冲击下被抛出而形成飞溅。

(3) 操作错误时, 产生飞溅

在引弧操作或焊接参数选择不正确时(如焊丝伸出长度过大、焊接回路电感过大、焊丝送丝速度过快而电弧电压过低等), 常发生焊丝短路, 在短路电流的作用下, 短路焊丝的端部和焊接熔池金属都被抛出而形成飞溅。

2. 大滴过渡飞溅

①焊接过程中, 引弧或焊接参数选择不正确, 出现焊丝短路, 在短路电流作用下, 被抛出的焊丝端头和焊接熔池金属形成飞溅。

②焊接过程中, 焊接熔池冶金反应生成的CO气体、焊丝或焊件表面待焊处焊前清理不彻底, 表面的油、污、锈等在焊接时产生较多的气体, 这些气体从焊接熔池或熔滴中喷出, 形成飞溅。

③大滴过渡时, 熔滴从焊丝端部脱离后, 在焊丝端部与熔滴之间, 熔滴与焊接熔池之间会形成串联电弧, 在电弧力的作用下, 有时熔滴会被抛出熔池外面而成为飞溅。

④熔滴重心与焊丝端部电极斑点上的压力作用, 不在同一点上而形成力矩, 这个力矩使熔滴成非轴向过渡, 有的熔滴就过渡到焊接熔池以外而成为焊接飞溅。

⑤焊丝与熔滴间的缩颈, 在大电流密度的加热下爆断形成焊接飞溅。

3. 减少焊接飞溅的措施

(1) 正确选择焊接参数

①焊接电流与电弧电压。 CO_2 焊时, 不同直径的焊丝, 其飞溅率和焊接电流之间的关系如图1-5所示。在短路过渡区飞溅率较小, 细滴过渡区飞溅率也较小, 而混合过渡区飞溅率最大。以直径1.2 mm焊丝为例, 电流小于150A或大于300A飞溅率都较小, 介于两者之间则飞溅率较大。在选择焊接电流时应尽可能避开飞溅率高的混合过渡区。电弧电压则应与焊接电流匹配。

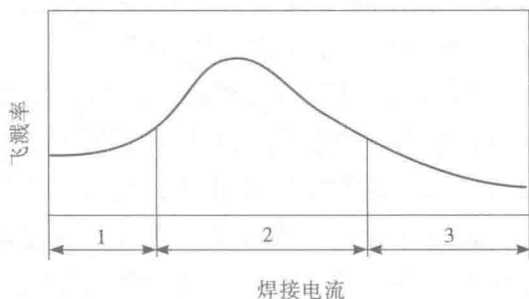


图1-5 CO_2 气体保护焊飞溅与电流的关系
1—短路过渡区; 2—混合过渡区; 3—细滴过渡区

②焊丝伸出长度。一般焊丝伸出长度越长, 飞溅率越高。例如直径1.2 mm焊丝, 焊丝伸出长度从20 mm增至30 mm, 飞溅率约增加5%。所以在保证不堵塞喷嘴的情况下, 应尽可能缩短焊丝伸出长度。

③焊枪角度。焊枪垂直时飞溅量最少, 倾斜角度越大, 飞溅越多。焊枪前倾或后倾最好不超过 20° 。

(2) 细滴过渡时在 CO_2 中加入Ar气

CO_2 气体的物理性质决定了电弧的斑点压力较大, 这是 CO_2 焊产生飞溅的最主