

焊接工艺讲义

录

接 基 础

第一章 焊接冶金	1
第一节 熔池表面的气体和熔渣.....	1
第二节 焊缝金属里产生的变化.....	5
第三节 提高焊缝质量的方法.....	10
第四节 焊条.....	15
第二章 焊接应力与变形	24
第一节 焊接应力与变形产生的原因.....	24
第二节 影响结构焊接变形的因素.....	29
第三节 防止变形的的方法.....	33
第四节 矫正变形的的方法.....	36
第五节 减小焊接应力的方法.....	41
第三章 焊接裂纹和气孔	48
第一节 焊接裂纹.....	48
第二节 焊缝中的气孔.....	58

第二篇 焊 接 方 法

第一章 手工电弧焊	62
第一节 焊接电弧.....	62
第二节 接头形式和坡口准备.....	69
第三节 操作技术.....	73
第四节 电焊用具.....	80
第五节 安全防护.....	83
第二章 气焊	84
第一节 氧气、氧气瓶和减压器.....	84
第二节 电石和乙炔发生器.....	91
第三节 焊炬和辅助用具.....	100
第四节 焊接火焰.....	106
第五节 气焊基本操作技术.....	108

第六节 各种位置的焊接	114
第三章 手工氩弧焊	118
第一节 氩弧焊及其应用	118
第二节 氩气电弧的特点	119
第三节 氩气和电极材料	123
第四节 氩弧焊的操作技术	127
第五节 氩弧焊用工具	136
第六节 氩弧焊的安全防护	142
第四章 二氧化碳气体保护焊	147
第一节 二氧化碳气体保护焊的冶金特点	147
第二节 二氧化碳气体保护焊的焊接工艺	150
第五章 钎焊	158
第一节 钎料和熔剂	158
第二节 钎焊工艺	168
第三节 钎焊的应用	171
第六章 堆焊	179
第一节 堆焊的一般工艺	179
第二节 刀具的堆焊工艺	185
第七章 金属切割	190
第一节 气体切割	190
第二节 快速气割	197
第三节 其它切割方法	200

第三篇 焊接检验

第一章 焊接接头中的缺陷	202
第二章 焊接缺陷的检查方法	206
第一节 外观、气密性和强度检验	206
第二节 萤光探伤、着色探伤和液晶探伤	208
第三节 磁力探伤	212
第四节 爱克斯射线探伤和超声波探伤	221
第三章 焊接质量的检验标准	224
第一节 结构钢和不锈钢熔焊的质量检验及缺陷的修补标准	224
第二节 铝合金熔焊的质量检验及缺陷修补标准	231
第三节 焊件缺陷的修补	234

第一篇 焊接基础

随着航空技术的发展,飞机的飞行高度和速度不断增加。在高速高空飞行条件下,为了保障飞机焊接机件的安全可靠和延长使用寿命,要求机件有优良的焊接质量。

伟大领袖毛主席教导说:“一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的”^①。焊缝的形成,金属经历了重新熔化到结晶的过程,在这个过程中,熔化金属与周围气体和熔渣接触,焊缝的化学成分和组织结构都会产生变化,这种变化是具有内部规律性的。认识和掌握这些规律是正确选择工艺,预防焊接缺陷,提高焊接质量的基础。为此,本篇叙述焊接冶金,焊接应力与变形,焊接裂缝和气孔等内容。

第一章 焊接冶金

毛主席说:“没有什么事物是不包含矛盾的,没有矛盾就没有世界。”^②焊接过程中也存在着许多矛盾。如要求飞机的焊接件有很高的机械性能,但焊接过程中,由于熔化金属中产生一系列的物理——化学变化,焊缝的机械性能达不到要求。为了解决这个矛盾,需要理解焊接条件下的冶金反应,掌握其规律,并利用这些规律来指导焊接实践,努力提高焊接质量。为此,本章叙述熔池表面的气体和熔渣,熔化金属里产生的物理——化学反应,改善焊缝质量的方法,以及电焊条等内容。

第一节 熔池表面的气体和熔渣

无产阶级的伟大导师恩格斯指出:辩证法是“从事物的相互联系中理解事物,而不是孤立地理解事物。”^③焊接时熔化金属中产生的物理——化学反应,不是孤立地发生的,而是与周围的事物如熔池周围的气体 and 熔渣有着密切的联系。为此,本节在叙述熔池的形成及其特点的基础上,着重叙述熔池表面的气体和熔渣。

一、熔池的形成及其特点

焊接时,焊条和焊件在电弧或其它热源作用下发生熔化。焊件上熔化的局部金属称熔池。熔池里的金属是由焊条和焊件金属熔化后组成的。熔池的上部充满着气体和熔渣。焊条熔化后,形成细小颗粒,通过电弧空间向熔池过渡,因而与周围气体的接触面积大,熔化金

① 《矛盾论》。《毛泽东选集》,人民出版社1967年11月横排袖珍本,第288页。

② 《矛盾论》。《毛泽东选集》,人民出版社1967年11月横排袖珍本,第280页。

③ 恩格斯:《自然辩证法》。人民出版社1971年8月第1版,第243页。

属与气体和熔渣之间，进行着复杂的冶金反应，这些反应直接影响着焊缝的质量。

焊接熔池有以下几个特点：

（一）温度高

焊接时，电弧的温度很高，电极斑点温度可达 $3200 \sim 3400^{\circ}\text{C}$ ，熔池的平均温度也在 2000°C 以上。

（二）体积小

焊接时采用的是局部加热法，加热范围小，所以，熔池的体积很小，对手工电弧焊来说，熔池的平均体积约为 $2 \sim 10\text{厘米}^3$ 范围。

（三）冷却快

熔池体积小，周围又被固体金属包围着，所以，热量散失很快，冷却速度很大，金属结晶很快。

由于焊接熔池的温度高，所以，在焊接熔池中进行的冶金反应与普通炼钢时的冶金反应相比较，如气体的分解，金属元素的蒸发，气体向熔化金属中溶解，气体、熔渣与熔化金属之间产生的化学反应要剧烈得多。但由于熔池冷却快，熔池中的冶金反应只允许在极短的时间内进行（几秒钟），因此，冶金反应往往达不到平衡，容易使焊缝的化学成分产生不均匀或带来其它缺陷。

二、熔池周围的气体

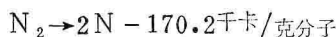
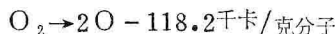
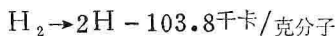
熔池周围充满着气体，这些气体不仅会溶解到金属里去，同时，也会与熔化金属产生化学反应。它们对焊缝的化学成分和机械性能有很大影响。

电弧焊时，焊条药皮熔化后会放出氢气、一氧化碳、二氧化碳和水蒸气；空气里的氧气、氮气和氢气也会钻到电弧里去；焊件表面上有铁锈、油垢等脏物，加热后也会放出二氧化碳和水蒸气。所以，电弧周围被大量的氢气、一氧化碳、二氧化碳、氮气、氧气和水蒸气包围着。

气焊时，火焰是由乙炔和氧气燃烧形成的。乙炔是一种碳氢化合物，与氧燃烧以后会放出氢气、一氧化碳、二氧化碳和水蒸气。同时，空气里的氧气和氮气也会钻到火焰里去。所以，气焊熔池的周围也为氢气、一氧化碳、二氧化碳、氮气和水蒸气包围着。

金属里溶解气体的数量，与熔化金属和气体产生化学反应的剧烈程度，以及气体的形态有关。气体处于分子状态时，因体积大，不易溶解，化学反应也不很活泼；而处于原子状态的气体，体积小，容易溶解到金属里去，化学反应也比较活泼。电弧焊和气焊由于电弧与火焰的温度都很高，有很大一部分气体会发生分解。

如氢、氧、氮由分子状态分解为原子形态：



从反应式来看，氢氧氮气体分解都是吸热的。

气体的分解程度可以用分解度（ α ）来表示。分解度就是分解了的气体分子数与原有总

的气体分子数之比

$$\text{分解度}(\alpha) = \frac{\text{分解了的气体分子数}}{\text{原有总的气体分子数}}$$

气体的分解程度与热源的温度和气体种类有关。温度低，气体分解得少；温度高，气体分解得多。由于氢、氧分解需要的热量少，所以，在较低的温度下就开始分解。氮气分解需要的热量多，要在较高的温度下才能分解。焊接弧柱的温度约5000~8000°K左右，在此温度下，氢和氧几乎全部分解，氮气则分解得较少（见图1—1）。

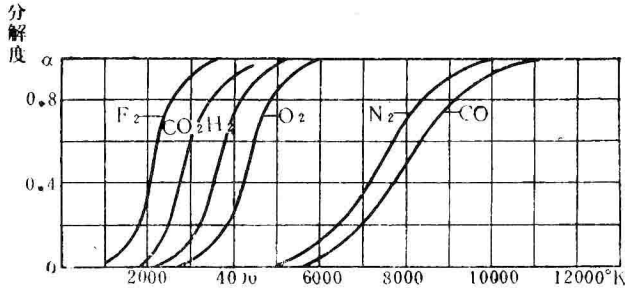
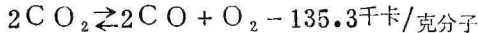
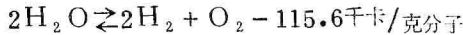
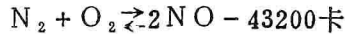


图1—1 氢氧氮的分解度与温度的关系

此外，水蒸气和二氧化碳也会分解。



在电弧高温作用下，氧和氮会相互化合生成一氧化氮



由于气体在高温下分解，有利于溶解到金属里去，与金属产生化学反应也比常温时剧烈得多。反应的结果会引起焊缝化学成分发生变化。

三、焊缝表面的熔渣

熔渣复盖在焊缝和熔池的表面，对焊缝的化学成分影响很大。研究焊缝里产生的变化，需要先了解熔渣的作用、成分、性质及种类。

（一）熔渣的作用

焊接熔渣是由焊条药皮熔化而形成的复盖物，它对焊缝金属起着以下几方面的作用：

1. 机械保护焊缝。熔渣复盖在焊缝表面，可以防止空气与熔化金属接触，减少空气对焊缝的危害。
2. 改善焊缝的化学成分。焊接过程中，由于金属元素氧化和焊接材料中有杂质，熔池中总含有一定数量的氧化物和硫、磷化合物等。熔渣可将氧化物和硫、磷化合物除掉，并对焊缝掺入有益元素。
3. 改善焊缝金属的结晶条件。加热过程中，熔渣形成时要吸收热量，冷却时又会放出热量，这样就可以使金属加热和冷却速度缓慢，金属的结晶条件得到改善，对提高焊缝的机械性能有好处。

（二）熔渣的成分

焊条药皮的种类不同，熔渣的成分也各不相同。毛主席说：“**在特殊性中存在着普遍性，在个性中存在着共性。**”^①熔渣里的成分虽多，也有共同的东西，这就是在常用药皮所形成的熔渣里都含有氧化物。

氧化物按其性质有碱性、酸性和两性三类。

碱性氧化物：属于此类的氧化物有 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 、 FeO 、 MnO 、 Cu_2O 、 NiO 等。

酸性氧化物：属于这一类的氧化物有 SiO_2 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 V_2O_5 、 B_2O_3 、 Cr_2O_3 等。

两性氧化物：这两性氧化物可以呈酸性，也可以呈碱性，如 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等属这一类。

碱性氧化物与酸性氧化物同时存在，会产生中和反应。如碱性的氧化钙、氧化铁与酸性的二氧化硅、二氧化钛等会生成硅酸盐（ $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ， $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ）和钛酸盐（ $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ， $\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2$ ）。这种复合盐的熔化温度比原来的氧化物的熔化温度低，它不溶解在铁里，且比重小，容易浮到熔池的表面上去。

（三）熔渣的性质

熔渣性质包括渣的酸、碱性、熔点、粘度、比重、脱渣性、透气性等。这些性质不仅直接影响到熔池里进行的化学反应，还会引起焊接缺陷。

熔渣里通常是酸性氧化物和碱性氧化物同时存在的。碱性氧化物与酸性氧化物的重量比大于1.5的称为碱性熔渣，小于1.5的称酸性熔渣。

熔渣的熔点要略低于被焊金属的熔点。渣的熔点过低，容易流散，对熔化金属的保护作用差；熔点过高，渣不易熔化，复盖不均匀，对熔化金属的保护作用也差。而且这种熔渣很容易夹入焊缝，造成焊缝夹渣。

熔渣的粘度要适当，比重要轻。熔渣的粘度适当，有利于熔池中冶炼反应的进行，也有利于熔化金属中的杂质和气体浮出。渣的比重轻，使它浮在熔池的表面上，不易形成夹渣。

脱渣性要好。熔渣复盖在焊缝上，若不除掉，容易吸收水分和灰尘，引起焊缝腐蚀。多层焊时不除掉熔渣，会引起焊缝夹渣，降低焊缝质量。因此，机件焊接后要把熔渣敲掉。如果焊条的脱渣性好，就可以减少劳动量，提高工作效率。

熔渣在液体状态时，应能透过和溶解一定数量的气体，使熔池中的气体含量减少，避免产生气孔。但透气性过大，空气容易钻到熔池里去，这就破坏了熔渣隔绝空气的保护作用。

① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第308页。

第二节 焊缝金属里产生的变化

熔池周围存在着各种成分的气体和熔渣，它们在焊接高温下，极易与熔化金属相互作用，引起焊缝里产生下列变化：

一、合金元素蒸发

合金中含有多种元素，各种元素的沸点是不同的。沸点低的合金元素容易蒸发，沸点高的不容易蒸发。锌镁铅锰等元素的沸点较低(见表 1—1)，焊接时，这些元素是容易蒸发的。

表 1—1 元素的沸腾温度

金 属	沸腾温度 (K°)	蒸 发 热 卡/克分子
锌	1180	27430
镁	1376	32520
铅	2013	42060
铝	2773	61020
锰	2423	55150
锡	2473	76100
铬	2703	76630
铜	2860	72800
铁	3023	84620

此外，焊接热源的温度和熔渣对元素的蒸发也有很大影响。温度越高，元素蒸发越厉害。电弧焊时，电弧的温度很高，元素蒸发较多。而气焊时，氧乙炔火焰的温度较低，元素的蒸发就较少。如果熔池表面复盖有熔渣，由于熔渣阻碍合金元素向空中逸散，也可以减少合金元素的蒸发损失。所以，用厚药皮的焊条比光焊条的电弧焊蒸发损失小。

合金元素的蒸发，使焊缝的化学成分发生变化，引起机械性能和防腐性能降低。此外，金属蒸气对人的健康也是有害的。为弥补元素的蒸发损失，可通过焊条掺入一定数量的合金元素；同时，焊接场所的通风应当良好，以便迅速排除有害气体。

二、合金元素氧化

焊接过程中，常可以观察到熔化金属表面有氧化膜，尤其焊不锈钢和铝合金，氧化特别严重。经过对碳钢焊缝成分的化学分析，发现用光焊条焊接后，焊缝金属里的含氧量比被焊

钢板和焊丝中高许多倍（见表1—2）。用薄药皮焊条焊接，焊缝中的含氧量也较高，而碳锰硅元素却比焊丝减少了（见表1—3）。

表1—2 焊 缝 金 属 的 含 氧 量

焊接材料	氧 含 量 %	焊接方法	氧含量%
低 碳 钢 板	0.012~0.02	气 焊	0.045~0.05
焊 丝	0.01~0.02	氢 原 子 焊	0.04~0.05
光 焊 条	0.15~0.3	二氧化碳保护焊	0.02~0.07
厚药皮焊条	0.03~0.04	氩 弧 焊	0.0017

表1—3 薄药皮焊条焊缝的化学成分

项 目	化 学 成 分						
	C	Mn	Si	P	S	O ₂	N ₂
焊 丝	0.18	0.40	0.23	0.024	0.033	0.028	0.005
焊 缝	0.08	0.25	0.08	0.020	0.025	0.178	0.138

就是用气焊和厚药皮焊条的电弧焊，焊缝中的含氧量也比焊丝和被焊钢板的高，这就充分说明了焊接过程中，焊缝金属产生了氧化。

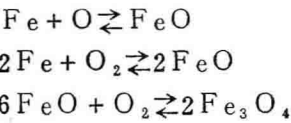
（一）焊接时氧的来源

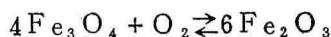
焊接熔池周围的氧首先来源于空气。空气中存在大量的氧气，焊接时保护不好，就会钻到熔化金属中去。如电弧拉得过长，气焊火焰的焰芯离被焊金属太远，以及不正确的操作，空气中的氧就容易钻进去。其次，来源于焊条药皮和被焊金属表面的杂质。焊条药皮中含有碳酸钙（CaCO₃）、锰矿和铁矿石时，加热后氧化物分解会放出氧气。焊条受潮后，药皮中的水份增加，水分被加热也会放出氧气。被焊金属表面有铁锈、氧化膜等，在高温下会分解，还会放出氧气。

此外，被焊材料和焊丝质量不好，含氧量过高，气焊火焰中，氧的比例过大，都会使焊缝中的含氧量增高。

（二）金属氧化的机构

焊缝金属里的氧除有少量溶解外，其余均以化合物形态存在。如钢材中的氧与铁可生成氧化铁、四氧化三铁和三氧化二铁三种氧化物。





分解成原子状态的氧非常活泼，与铁化合最剧烈。

以上三种氧化铁中，只有一氧化铁溶解在铁里，其余两种都不溶解，但可成夹杂物形式存在于焊缝中。钢中有氧化铁（ FeO ）存在时，能使有益元素发生氧化，如使硅、锰等元素氧化。



钢里的氧化铁愈多，有益元素氧化损失就愈严重。为了减少钢中有益元素的氧化损失，应设法防止氧气进入熔池，以降低钢中氧化铁的含量。

（三）氧化对焊缝金属性能的影响

氧在焊缝金属中不论以夹杂物形式存在或固溶体状态存在，对金属组织和机械性能都有很大影响。随着钢中含氧量的增加，强度极限（ δ_b ）屈服极限（ δ_s ）降低，尤其是冲击韧性（ α_k ）和塑性（ δ ）降低更为明显。（见图1—2）焊缝的防腐性和耐疲劳性也是降低的。此外，还使焊缝的脆性和时效倾向增大。

据上所述，氧能使焊缝的化学成分产生变化，引起机械性能显著降低。要提高焊接质量，必须设法减少熔池周围氧的含量，防止焊缝金属氧化。

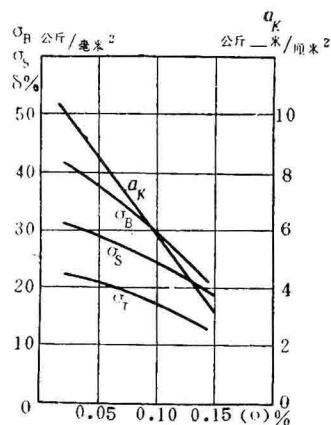


图1—2 钢中的含氧量对机械性能的影响

三、金属的氮化

碳钢焊接后，焊缝中的含氮量都比焊丝和钢材中高（见表1—4）。尤其是用无保护气氛的光焊条施焊后，焊缝中的含氮量很高，竟达0.15—0.2%，比钢材的原始含氮量高一百倍。这就证明了钢材焊接后，焊缝金属产生了氮化。

表1—4

焊接方法对焊缝含氮量的影响

焊 接 材 料	氮 含 量 %	焊 接 方 法	氮 含 量 %
低碳钢板	0.0020	气焊	0.016
焊丝	0.0035	自动焊	0.002
薄药皮焊条	0.1808	氢原子焊	0.017
厚药皮焊条	0.0150	二氧化碳保护焊	0.015

被焊材料和焊丝中，含氮不多，焊缝中的氮气主要来源于空气中。尤其当电弧长度变化，对焊缝的含氮量影响很大。采用短弧焊时（电弧电压低），熔化的焊条很快向熔池过

度，与氮反应的时间短，金属来不及充分氮化，焊缝中的含氮量较少。采用较长的电弧焊接时，熔化焊条成滴状向熔池过渡的距离大，空气中的氮气与熔化金属充分反应，焊缝里的含氮量显著增加（见图 1—3）。另外，焊缝的冷却速度对焊缝中的含氮量也有很大影响。冷却过快，氮气进入金属后来不及析出，焊缝中的含氮量会增加。

氮气能以原子和化合物两种形态存在于焊缝里。氮的原子可以固溶在铁的晶格中，它在铁中的溶解度是随温度和晶格形式变化而变化的（见图 1—5）。低温时，铁原子排列紧密，氮在铁中的溶解度较小，随着温度升高，铁原子的距离增大，氮的溶解度也随之增大；体心晶格的铁中，溶解度较小，面心晶格的铁中，氮的溶解度大。由于氮在铁中的溶解度是随温度和晶格形式而变化的，熔池在冷却过程中，溶解度减小，必然会有多量的氮气要向外排出，如果熔池的冷却速度过大，结晶过快，氮气排不出来，就会使焊缝产生气孔。氮还能与铁产生化学反应

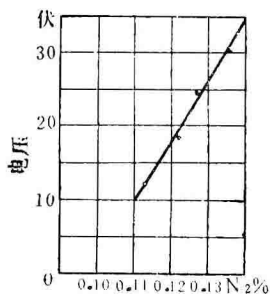
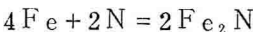
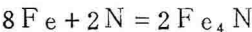


图 1—3 电弧长度对焊缝含氮量的影响

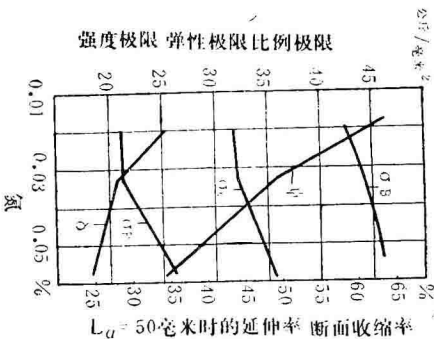


图 1—4 氮对焊缝机械性能的影响

氮除了能与铁化合外，也能与锰硅钛铝等元素化合，生成化合物存在于焊缝里。

氮溶解在铁中，与铁生成固溶体，造成晶格歪扭。而氮化铁又是硬而脆的物质，焊缝中随着含氮量的增加，强度极限、屈服极限和硬度增大，但塑性却显著降低（见图 1—4）。并使钢材产生时效和冷脆倾向。尤其是含氮的铁中冷却速度对机械性能有很大影响。氮化并迅速冷却了的铁，延伸率趋近于零，缓慢冷却的铁，延伸率较高。氮化并迅速冷却的铁，经过低温回火，塑性可以提高。冷却速度对含氮铁机械性能的影响具体数据见表 1—5。

表 1—5 冷却速度对含氮铁机械性能的影响

铁 的 处 理	强度极限 σ_b (kg/mm ²)	延伸率(δ)
原始金属	26.5	48
氮化并缓慢冷却后的铁	28.4	35
氮化并迅速冷却后的铁	31.5	0
氮化迅速冷却并在温度250°回火后的铁	31.9	30

由于氮在铁中的溶解度是随温度降低而减小的，低温时溶解度很小，焊缝快速冷却，氮被强迫固溶在铁中，使金属呈显应力状态，因而塑性迅速降低。焊缝缓慢冷却，有利于氮从固溶体中析出，减小应力，使焊缝的塑性提高。

氮虽能提高焊缝的强度和硬度，但使焊缝的塑性和冲击韧性降低太多，还会引起焊缝产生气孔。碳钢和合金钢的焊接，应设法防止氮气与熔化金属接触。氮对铜和不锈钢则没有什么坏影响，可以利用氮作保护气体。

四、氢气的溶解

氢与铁不生成化合物，主要是溶解在铁中。它在铁中的溶解度也和氮一样，低温时溶解度小，高温时溶解度大。铁发生同素异型变态和由固态变成液态时，溶解度都发生突变（见图 1—5）。金属由液态变成固态时，由于溶解度突然降低，溶解在铁里的氢，会聚集成分子，形成气泡向外排出。如溶池冷却速度大，结晶过快，就会生成气孔。

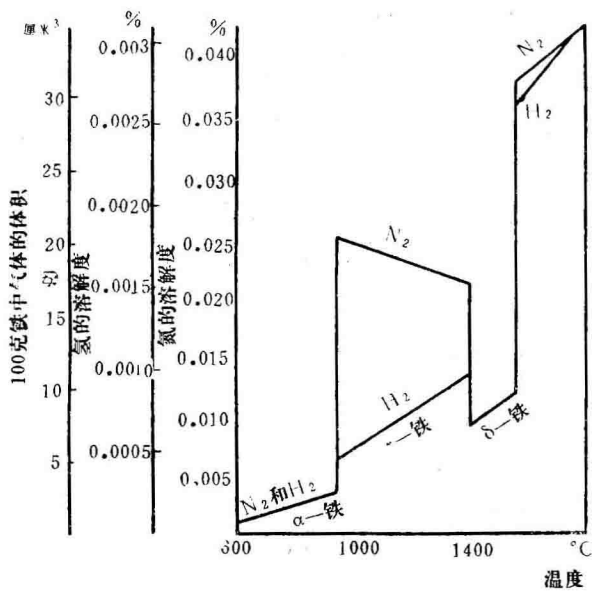
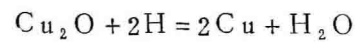


图 1—5 氮和氢在铁中的溶解度

金属结晶后，氢的溶解度继续降低，焊缝中的氢处于过饱和状态。它一方面向焊缝气孔和焊缝外部扩散；另一方面又向近缝区扩散，遇空隙或夹杂物又聚集成分子，造成金属的局部应力区。随着氢的继续聚集，局部应力增大，材料塑性降低，甚至引起裂纹。

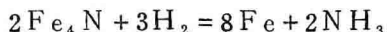
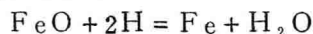
氢不仅能溶解在铁中，也能溶解在镍铝钴铜等金属中，能引起这些金属焊缝产生气孔。焊接铜及其合金时，因为铜合金中，总含有铜的氧化物，氢气溶入铜合金后，能与氧化亚铜产生化学反应，



反应后生成的水蒸气不溶解在铜中，只能聚集在孔隙中，造成很大的局部应力，引起铜合金

裂纹。铜合金焊接时由于氢气所产生的这种缺陷称“氢素病”。

毛主席说：“事物都是一分为二的。”^①焊接时氢气虽然有不利方面，但氢气是一种还原性气体，它能使氧化物和氮化物还原，减小氧和氮对金属的危害。



对某些塑性好，不易裂纹的金属，如焊接低碳钢等，可以用氢气作保护气体，防止金属氧化和氮化。至于气孔问题，可以采用其它措施予以防止。

五、焊缝中的夹渣

金属焊接后，焊缝中会产生夹渣，引起焊缝金属机械性能和防腐蚀性能降低。

焊接碳钢时，常夹入焊缝的氧化物有二氧化硅、氧化锰、氧化铁和三氧化二铝等，其中以二氧化硅夹得最多。这些氧化物来源于熔渣和焊件表面的铁锈等杂质中。熔渣中的酸性和碱性氧化物相互作用生成熔点低的复杂化合物时，夹入焊缝的可能性较小，如反应不完全，氧化物成游离状态时，氧化物的熔点高，不易排出焊缝而成为夹渣。

除氧化物以外，还有氮化物和硫磷化合物夹入焊缝。硫磷化合物能与铁、氧化铁形成熔点低的物质，分布在晶粒边界上，使焊缝金属产生冷脆和热脆，甚至引起裂纹。

据上所述，焊接过程中，由于金属蒸发，氢气的溶解，金属氧化、氮化和产生夹渣，这一系列的物理化学变化，对焊缝的化学成分和机械性能影响很大。为了提高焊接质量，就必须在焊接过程中采取有效措施，改善焊缝的化学成分和机械性能。

第三节 提高焊缝质量的方法

伟大领袖毛主席说：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”^②我们认识了焊缝里产生变化的规律以后，就应采取适当措施，改善焊缝的化学成分和性能，努力提高焊接质量。常采用的方法如下：

一、防止有害气体与熔化金属接触

为了防止有害气体对焊缝金属的危害，焊接过程中常采用气体和熔渣进行保护。

（一）用气体保护

常用来作保护气体的有氩气、一氧化碳、二氧化碳和氢气。氩气是惰性气体，与金属不起化学反应，而且能严密地保护熔化金属，焊接质量高，但价钱贵，一般金属的焊接均不采用，对某些重要的又非常容易氧化的机件焊接时，才采用氩气作保护。一氧化碳与二氧化碳能防止氮和氢对金属的危害，但二氧化碳对金属仍有氧化作用。氢气对氧化物有很好的还原作用，能防止氧和氮对金属的危害，但容易溶解到金属里去，形成气孔。此外，对易淬火的

^① 毛主席指示。转1969年第3—4期《红旗》杂志。

^② 《实践论》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第268页。

合金钢，氢气能引起脆性增大，甚至形成裂纹。所以，这种钢材焊接时，焊接电弧中常用一氧化碳与二氧化碳作保护气体。碳钢焊接时，一氧化碳、二氧化碳和氢气都可以作为保护气体。电弧焊和气焊采用的保护气体成分见表 1—6。

表 1—6 电弧焊和气焊的保护气体成分

焊 接 方 法 及 药 皮 种 类	气 体 成 分				
	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	N ₂
手工电弧焊(药皮中含有 5 %以下的纤维素)	34.2	3.8	41.4	20.6	
手工电弧焊(药皮由纤维素组成)	42.1	1.1	51.2	5.6	
手工电弧焊(药皮中含有碳酸盐,不含有有机物)	77.1	18.7	2.1	2.1	
手工电弧焊(含锰焊剂)	89~93		7~9		<1.5
气焊(B ₀ = 1.1~1.2)	60~66		34~40	—	

(二) 用熔渣保护

在熔池表面复盖一层熔渣，可以防止空气进入熔池，减少有害气体与熔化金属接触的机会，对提高焊接质量是有利的。目前，电焊用的焊丝上都涂有一定厚度的药皮，药皮熔化后形成熔渣，起保护焊缝的作用。

根据以上的叙述，防止有害气体与熔池接触的办法有两种：一是用气体保护，另一种是用熔渣保护。属于气体保护的焊接方法有气焊、氩弧焊、二氧化碳气体保护焊和氢原子焊。属于用熔渣保护的有电弧焊和电渣焊。手工电弧焊除了用熔渣保护外，药皮熔化后，还会放出保护气体，所以，厚药皮焊条的电弧焊有气体和熔渣共同保护的作用。

二、消除焊缝里的夹杂物

焊缝里氧化物和硫磷化合物的存在，改变了焊缝的化学成分，使机械性能和防腐性能降低。但“一切矛盾都依一定条件向它们的反面转化着。”①只要充分发挥人的主观能动性，采取合理措施，就可以减少焊缝里的夹杂物，提高焊接质量。消除焊缝里夹杂物的措施是对熔池脱氧和脱硫脱磷。

(一) 对熔池脱氧

排除熔池中氧化物的过程叫脱氧。毛主席说：“完全的纯是没有的。”②要做到焊缝金属中完全没有氧化物是不可能的，脱氧的目的只是尽量减少焊缝金属中氧的含量，使焊缝金属的性能不致严重降低。焊接时的脱氧主要有置换脱氧和扩散脱氧两种方式。

1. 置换脱氧

碳钢和低合金钢的焊接过程中，焊缝中氧化铁含量较多，对焊缝机械性能的影响较大，所以，脱氧的任务主要是减少焊缝中氧化铁(FeO)的含量。

① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第304~305页。

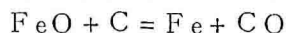
② 《毛主席论教育革命》。中国人民解放军战士出版社1968年1月第1版，第77页。

用某种元素或化合物与氧化铁(FeO)发生反应,夺取氧使氧化铁还原,元素或化合物本身成为氧化物而逸出熔池金属的过程叫做置换脱氧。用于置换脱氧的元素或化合物叫脱氧剂。用作脱氧剂的物质应是容易氧化的元素,它对氧的亲合力应大于铁对氧的亲合力。下面排列的金属元素中,与氧亲和力的大小是由左向右逐渐减小的。

Na、K、Mg、Al、Ti、Si、C、Mn、Cr、V、Fe、W、Mo、Cu。愈靠近左边的元素愈容易氧化。使铁的氧化物还原应选择铁左边的元素作脱氧剂。

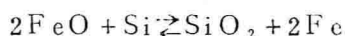
碳钢焊接过程中,常采用碳硅锰钛和铝作脱氧剂,使氧化铁还原。

碳在高温下的脱氧能力很强,它能使氧化铁还原生成铁,并放出一氧化碳。



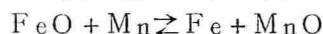
用碳脱氧数量太多,容易使金属渗碳,引起焊缝塑性和韧性降低。熔池冷却过快,一氧化碳来不及逸出熔池,会产生气孔。

硅与氧化铁反应后,生成二氧化硅和铁



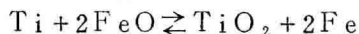
硅的脱氧能力略次于碳,但过剩的硅(0.2~0.3%)渗入焊缝,能提高机械性能。但二氧化硅熔点高,易夹入焊缝。

锰也是很好的脱氧剂,能与氧化铁反应生成铁与氧化锰



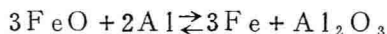
氧化锰不溶解在金属里,能与硫磷化合物反应,消除硫磷的危害。过剩的锰元素(1%)渗入焊缝,可以提高机械性能。锰的氧化物是碱性的,能与酸性的二氧化硅生成熔点低的复合物,浮到熔渣里去,所以,锰和硅总是同时被用来作脱氧剂的。

钛的脱氧能力较强,它能与氧化铁反应生成二氧化钛,



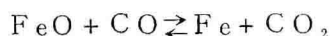
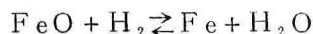
二氧化钛不溶解在铁中,熔点高,能作为熔化金属的结晶核心,使晶粒细化。钛还能与铁中的氮作用,减少氮的危害。

铝的脱氧能力也很强,能与氧化铁反应生成三氧化二铝和铁,铝氧化是剧烈的放热反应,能提高焊接生产率。



但新生成的三氧化二铝熔点高,容易夹入焊缝,所以,用铝脱氧数量不能太多。另外,用铝脱氧还可能引起焊缝气孔。

此外,气焊火焰和酸性焊条的电弧中,存在大量一氧化碳和氢气,它们也能与氧化铁反应,减少熔池中氧的含量



2. 扩散脱氧

氧化铁可以溶解在铁中,也可以溶解在熔渣中。使它由熔化金属中扩散到熔渣里去的脱氧方式叫扩散脱氧。

一定条件下,熔渣里游离的氧化铁与熔化金属中的氧化铁浓度呈一定的比例。熔渣中氧

化铁增多，熔化金属中的氧化铁也增多；反之，则减少。熔渣中如有酸性的二氧化硅和二氧化钛存在时，能与碱性的氧化铁生成盐，这样就减少了熔渣中游离氧化铁的数量，熔化金属中就有一部分氧化铁扩散到渣中去，所以，酸性熔渣有利于氧化铁向渣中扩散，碱性熔渣不利于氧化铁向渣中扩散，但却有利于酸性氧化物向渣中扩散。

焊接材料的化学成分不同，生成的氧化物性质是不一样的。对熔池脱氧时应遵照毛主席的教导：“用不同的方法去解决不同的矛盾”^①。

碳钢的主要成分是铁，并含有少量的碳硅和锰，焊接过程中会产生较多的碱性氧化物，尤其是氧化铁数量多，危害性也大，碳钢焊接的主要脱氧任务是除掉熔化金属中的一氧化铁。所以常在焊丝和药皮中加入碳、硅和锰对熔化金属进行置换脱氧。由于碳对氧的亲合力大，金属加热过程中，碳首先氧化，金属开始冷却时，碳几乎被氧化掉，这时主要靠硅和锰还原一氧化铁。此外，还采用酸性熔渣对熔化金属进行扩散脱氧，除掉熔化金属中的氧化铁。如果一氧化铁预先被硅还原，熔化金属里存在过量的二氧化硅，则最好选用碱性熔渣。

合金钢和耐热钢中含有多种合金元素，如硅锰铬钛钼镍等，这些元素中镍和钼与氧的亲合力小，当有铁存在时，它们不会氧化，但硅锰铬钛与氧的亲合力比铁大，非常容易氧化，为了防止氧化，常采用脱氧能力强的脱氧剂，如铝钛硅锰等。由于硅和铬的氧化物是酸性的，因此，焊接合金钢和耐热钢广泛采用碱性熔渣，这样有利于对酸性氧化物进行扩散脱氧。

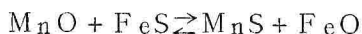
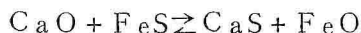
焊接铜和铜合金时，铜的氧化是碱性的，最好选用酸性的熔渣，为此，硼砂和硼酸广泛用来作焊药，因为它们分解后，生成酸性的三氧化二硼，有利于对熔化金属进行扩散脱氧。

焊接铝和镁合金时，产生难熔的氧化物（ Al_2O_3 和 MgO ），不易用中和反应的方式将它除掉，只能用氯和氟的化合物作熔渣，以除掉难熔的铝和镁的氧化物。

（二）对熔化金属脱硫脱磷

硫在钢材中主要呈硫化铁和硫化锰两种形式存在。硫化锰不溶解在铁中，只能以夹渣的形式留在焊缝中，它对机械性能的影响较小。硫化铁能与铁、以及氧化铁生成熔点低的共晶体，分布在晶界，减弱了晶粒间的联系，降低塑性，能引起焊缝裂纹。

为了消除有害的硫化铁，通常采用锰和钙的氧化物对焊缝脱硫。焊接过程中它们与硫化铁产生下列反应

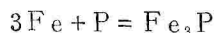


反应的产物硫化钙和硫化锰比重小，易浮到熔渣中去，从而减少焊缝中的含硫量。

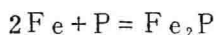
铝与硫比铁与硫的亲合力大，能形成稳定的硫化铝，且不溶于金属中，它是良好的脱硫元素。

硫在酸性熔渣中溶解得很少，而在碱性熔渣中却溶解得较多，碱性熔渣有较好的除硫作用。

磷对钢材也是一种有害的元素，它与铁能生成两种化合物，磷化二铁与磷化三铁



^① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第286页。



磷化铁与铁、碳化铁能生成易熔共晶，破坏晶粒联系，降低塑性。

磷是容易氧化的，熔化金属中有氧化铁存在时，会与磷化铁反应，生成酸性的五氧化二磷，采用碱性熔渣容易将它除掉。

焊接时熔池存在的时间不长，脱硫脱磷反应的效果是有限的，为了降低焊缝中的含硫磷量，焊丝和焊药中的含硫磷量应严格限制；同时应尽量选用碱性熔渣。

三、掺合金

对焊缝掺合金有两方面的作用：一是为了弥补合金元素在焊接过程中烧损和蒸发损失，使焊缝的化学成分不致发生显著变化，以便提高焊缝的机械性能；另一方面是为了获得特殊性能的金属层，如模具、刀具的表面要求有很高的硬度和耐磨性，可以通过堆焊方法掺入合金元素以获得特殊性能的表面层。

下列元素都可用于焊接时掺合金：

碳：向焊缝掺碳可增大钢的淬透性，提高强度和硬度，尤其是堆焊耐磨表面时，它能与合金元素形成硬度高的碳化物，提高堆焊层的耐磨性。但碳使金属的塑性和韧性降低，促进焊接裂纹的产生，焊接过程中飞溅严重，还会引起气孔，通常在焊丝中的含碳量不超过0.2%。

锰：向焊缝中掺入2%的锰，可提高强度和韧性，增大淬透性和耐磨性，它可以消除硫的危害，普通焊丝中约含0.4~0.6%的锰。

硅：焊缝中含硅量不大于1.2%，能提高强度和淬透性，且塑性不降低，数量过多，金属的塑性和韧性会降低，焊接过程会引起飞溅和焊缝气孔。

铬：对焊缝掺铬可以提高强度硬度、淬透性和耐磨性，以及耐腐蚀性，但铬是容易氧化的元素，且价钱贵。

钼：向焊缝掺钼可以细化晶粒，提高强度和淬透性，并能防止回火脆性，大大提高抗冲击破坏的能力。

钨：能与碳形成稳定的碳化物，可提高高温时钢的硬度，增大淬透性，且钨不易氧化，较易掺入焊缝。

钒和钛：它们都是良好的脱氧剂，能使晶粒细化，改善机械性能，并能消除钢中氮的危害，通常钢中钛和钒的含量都在0.5%以下。

向焊缝掺合金可以将合金元素放在焊丝或焊药中，也可以把合金元素填充在管状焊丝中，熔化后向熔池过渡。用特制的含有合金元素的焊丝，可以获得一定化学成分和机械性能的焊缝，这种方法是经常用的，但制作特殊成分的焊丝比较困难。如将掺合金的元素放在焊药里，虽然比较方便，但元素氧化损失大，掺合金的效果不很好。利用管状焊丝掺合金是一种较好的方法，填充合金元素比较方便，而且还由于合金元素填充在空芯管子中，元素的氧化损失小，对焊缝掺合金的效果较好。采用这种方法掺合金时，需要将药粉混合均匀。如果药粉混合不均匀，会影响到合金元素在焊缝中均匀分布。

焊缝里掺合金的效果与许多因素有关系：焊接电弧和气焊火焰中氧、水蒸气和二氧化碳