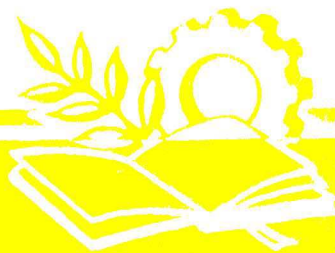


高等学校教学用书

石油厂设备制造与安装

中 册

石油院校教材编写组



中国工业出版社

本書是在學習蘇聯先進經驗的基礎上，結合了幾年來的教學實踐，和總結了我國生產中的實際經驗而編寫的。

全書共三大篇十三章，分上、中、下三冊出版。本書是中冊，為第二篇石油廠金屬結構的製造。內容包括合金鋼與有色金屬設備，鋼結構，油罐與管束式熱交換器四大章。着重介紹這些金屬結構的製造特點。在第六章內着重介紹合金鋼與有色金屬設備（包括襯里設備）的焊接工藝特點。在第七章內着重介紹桿件焊接時變形問題，柱端跳平技術。在第八章內着重介紹兩種油罐施工方法——倒裝法與捲裝法。在第九章內着重介紹脹管理論及其工藝。

本書是作為煉廠機械專業的专业課教材、也可供從事於這方面工作的工廠技術人員參考。

石油廠設備製造與安裝

中 冊

石油院校教材編寫組編

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

北京市書刊出版事業許可證出字第110號

石油工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

開本787×1092¹/₁₆·印張6³/₄·字數157,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印數(001—533·定價(10—6)0.85元

統一書號：15165·425（石油—65）

目 录

第二篇 石油厂金属结构的制造

第六章 合金钢及有色金属设备的制造

第1节 概 述	1
第2节 热处理及加热设备	2
第3节 合金钢设备的制造	4
第4节 有色金属设备的制造	10
第5节 衬里设备的制造	18

第七章 钢架结构的制造

25

第1节 概 述	25
第2节 钢杆件的拼装焊接	29
第3节 柱接头端面铣平工艺	45
第4节 钢架结构的总装配	49

第八章 钢质油罐的施工

51

第1节 油罐设计概论	51
第2节 油罐施工概论	59
第3节 油罐逐块拼装施工法	65
第4节 油罐捲装施工法	67

第九章 管束式热交换器的制造

75

第1节 管束式热交换器的制造特点	75
第2节 胀接过程的实质及影响胀接质量的因素	79
第3节 管子与管板的预加工	88
第4节 管束式热交换器的总装配	95

参考文献	103
------------	-----

第二篇 石油厂金属结构的制造

第六章 合金钢及有色金属设备的制造

第1节 概 述

一、石油厂常用合金钢及有色金属的种类

由于石油炼制工业的发展和在石油炼制工业中应用了新的工艺过程，对于设备及其制造方法提出了更新的要求。制造石油设备用的材料除碳钢外，在很多的情况下还需用合金钢及有色金属，以满足各种油品在高温、高压、低温、低压和介质腐蚀等操作条件下对设备的特殊要求，其中最主要的是温度和腐蚀问题。

为了满足工艺要求，但又要考虑到节约昂贵的合金元素及有色金属，特别是我国较为缺乏的元素及国防上急需的金属，如镍、铜等；一般可以采用三种途径：（1）采用双层金属或衬里；（2）采用非金属代用料或非金属衬里；（3）采用我国产量丰富的钨、硅、锰等元素组成的新的合金钢体系。但后两种途径目前尚不成熟，所以一些沿用较久的合金钢及有色金属，在石油厂设备制造中仍佔有一定地位。

石油和化工设备所采用的合金钢和有色金属种类很多，主要的有下列几大类：

1. 主要用来提高材料耐热性（ 450°C — 540°C ）的铬钼钢体系。如12XM；X5M等。
2. 主要用来提高设备耐腐蚀性能的高铬不锈钢体系。如1X13；ЭИ496；X17等。
3. 主要用来耐高温下、特殊腐蚀或其他特殊用途的高铬镍奥氏体钢体系。如1X18H9T（18—8钢）；X25H20等。
4. 用在 -200°C 以下如深度冷冻设备上的铜及其合金。
5. 专为在不高温下耐腐蚀用的铝和铅及其合金。

以上几类有的是作成整体设备用，如12XM、X5M、铜、铝等；有的是作成衬里用的，如ЭИ496、铅等。

二、合金钢及有色金属设备的制造特点

合金钢及有色金属设备的制造，从整个制造工艺过程来看，与碳钢设备制造大致相同。但由于各种材料的特殊性能及其在热过程和塑性变形过程中所具有的特殊的变化规律，所以也带来不少制造上的特点及新问题，尤其是焊接问题。最主要的特性及其对制造工艺过程的影响大致可归纳如下几大类：

1. 导热导电性能 导热导电性能良好的铜、铝等有色金属，焊接时热量不易集中和保持，就需预热或用较大电流。而对导热导电性能很差的奥氏体铬镍钢，为了缩短在高温下的停留时间以减少热影响区，常用小电流多层焊法；而在热压加工时，又要用较小的加热速度使之热透。

2. 热膨胀系数 由于膨胀系数的不同，产生变形及应力的程度也不同，膨胀系数大（如奥氏体铬镍钢及铜、铝等）容易产生变形与应力，在焊接时就易产生裂纹；在热压加工时

就要注意模具設計及冷后收縮量；在用作衬里时更須特別注意。

3. 化学稳定性 各种元素在高温下化学稳定性也不同，有的易氧化燃烧，如Cr、Ti元素在焊接时容易烧损，会改变焊缝金屬的組織及化学成分，与母体金屬性質不同，这就反而加剧了腐蝕作用，或大大降低了焊缝的強度及冲击韌性。又如鋁易氧化生成堅固細致的 Al_2O_3 薄膜，阻碍焊接，这是焊鋁中最大的难关。銅氧化产生低熔点共晶体，而极易产生裂紋。銅与鋁的吸气性大，会产生气孔等缺陷。

4. 金相組織 这是个最主要的因素，一方面，由于合金元素会改变相平衡图上的 A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{r1} 、 A_{r3} 点的温度范围值，使奥氏体转变的速度及温度发生改变；馬丁体区域温度上限也改变；从而有必要采用各种热处理以防止焊接裂紋的产生，並制定热处理规范。另一方面，合金元素加多到一定程度后，就会形成純鉄体及奥氏体等单相組織，它們在热过程中又会出现新的問題，如晶粒易长大变脆、在高温作用下易析出碳化鋁或 σ 相而引起晶間腐蝕及脆裂等等，这就要求快冷，而又不是一般的热处理的問題了。

从上看出，不同的金屬材料，在制造中所表現的特殊問題也不同，凡是涉及到热过程及塑性变形过程的許多制造工艺，均須加以特殊考虑。

第2节 热处理及加热設備

一、热处理的种类与作用

在焊接及冷加工后，有时需要进行热处理。

热处理的方法是較多的，基本上可分为两大类：預先热处理和事后热处理。預先热处理簡称預热，它包括焊前加热，焊时伴热及焊后冷却过程中的保温加热等三种。預热主要是提高材料的变形能力和降低焊缝冷却速度，从而达到减小焊接应力和克服焊接裂紋的目的。預热的加热温度都选定在 A_{c1} 点以下，与焊接过程不可分割，且以用局部热处理为主。事后热处理都是在完全焊完后进行的，它与焊接过程可以截然分开。事后热处理主要作用有三：改善焊接热影响区内金屬或本体金屬的金相組織；改善它們的机械性能以及消除焊接应力。为此它的加热温度可以选定在 A_{c1} 点以下，也可以在 A_{c3} 点以上，視所需完成的目的而定。事后热处理可以是局部的也可以是全部的，視当时条件及要求而定。热处理是一道最为昂貴且費時間的工序，尤其是事后的全部热处理，所以应尽量縮小其应用范围；其途径有四：

1. 采用可焊性良好的新鋼种；
2. 在焊缝中通过控制焊条成分加入特殊的附加元素；
3. 采用适宜的焊接方法与规范；
4. 采用合适的热处理规范，如专为焊缝而言，可采用局部加热法；只有在需要改变本体金屬性能时才須全部加热。

二、預先热处理

1. 預先热处理由于降低温度梯度，故可减小冷却速度，增加奥氏体分解的时间，防止馬丁体的出現。

在决定預热温度时，应考虑到促使奥氏体分解为馬丁体的温度范围，否則会引起相反的效果。如图6—1所示的奥氏体改变的C曲綫中，当預热温度不高（例如B点）时，在热影

响区内还有馬丁体出現；当預热温度再低时，馬丁体含量亦增加；所以預热温度应高于馬丁体区的温度上限（M点），如C点的温度。此外預热温度还要有与之相适应的冷却速度，或持續時間。若持續時間不足，將过早的終止奧氏体的分解，而奧氏体的完全分解即会伴随有馬丁体的出現。

2. 預热还可降低焊接应力，这是由于鋼材的塑性随温度升高而提高的原因。这样对于防止热裂縫及减小焊接应力均有好处。

3. 預热规范应根据热循环計算和C形曲綫来制定。若預热后仍不能获得适宜的金相組織时，就必须再行事后热处理。

对于鍋炉及石油設備制造，决定要否預热，可引用一个預热准数K，其值为

$$K = 100\%C + 25\%Mo + 20\%V + 20\%Cr + 16\%Mn + 7\%Ni$$

当K值与板厚S有如下关系时，就应进行預热：

用碱性涂料的焊条手工焊时， $K > 70 - 1.5S$ ；

用其他焊条时， $K > 50 - 1.5S$ ；

最后，当 $S > 32$ 毫米时，一般也要进行預热。

碳鋼与低合金結構鋼的預热温度范围为50—350℃。当板較厚，含碳量及含合金元素多时，預热温度要求高一些。几种常用鋼的預热温度可参考表6—1

表 6—1 各种鋼的預热温度

鋼 号	近似的化学成份 (%)			推荐的預热温度 (°C)
	C	Cr	Mo	
碳 鋼	0.2—0.3			100—150
	0.3—0.45			150—260
	0.45—0.8			260—430
鉻 鉬 鋼	≤0.15	5.0	0.5	260—430
	0.05—0.25	5.0	0.6	320—480
高 鉻 鋼	0.1	13.0		150—260
	0.1	17.0		150—260
	0.1	26.0		150—260

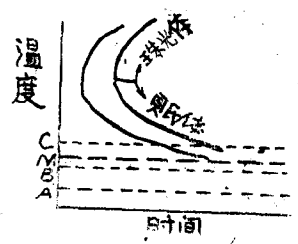


图 6—1 預热温度与C曲綫的关系
M—馬丁体区的温度上限；A—常温。

三、事后热处理

事后热处理还可有两种形式。一为在 A_{c1} 以下加热，或叫退火处理。以消除焊接残余应力为主。另一为在 A_{c3} 以上加热，或名相变处理。

1. 退火处理。其主要目的是去除内应力，以防发生脆裂现象；亦可防止被焊件在冷加工后产生应力的重新分布及弯曲，以提高另件尺寸的精确性。此外，它还有再结晶及球化作用。

退火去除应力的原因是由于高温下塑性升高。应力去除程度与持续时间及温度有关，其中最有效的是开始一段时间，再长就没什么作用。如图 6—2 所示。

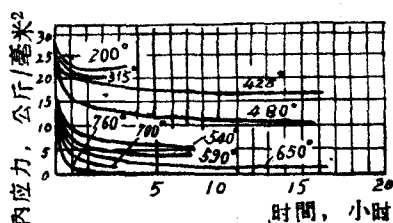


图 6—2 内应力与温度及持续时间的关系

在一定温度下，所需时间与工件厚度有关。

温度对于除去应力的作用较大，一般碳钢及低合金钢的退火温度在 600—700℃ 以下，对于加工硬化的钢在此温度左右，也会同时有再结晶现象产生，此即为回火处理。耐热合金钢在高温下不易松弛，故所需温度要高，时间要长。

2. 相变热处理要在 A_{c3} 点以上进行，并需慢冷，以保证相变达到平衡状态。

这种处理的目的在于使焊缝热影响区金属恢复到原来的正火或退火状态，使焊缝金属组织接近于被焊钢材的原有性能；同时也可减少焊接应力。此种处理极少采用，因为高温下易产生氧化、起皮、脱碳及变形等缺点。对于空淬的钢材，如 X5M、1X13 等，其效果不显著，更是不用。

四、加热设备

设备进行全部热处理时，应当使用固定不动的加热炉，其轮廓尺寸应足够容纳整个或部分的设备。因此这种加热炉必须采用较大的尺寸，并附有可移动的炉底（沿轨道移动），以便送入及取出设备。

局部热处理所用的加热设备的形式及种类很多。按所用热源的种类分作以下几种：气体炉；电阻炉与感应加热设备。后二者的优点是调节温度简便。前两种设备常是可拆卸的环形炉，可应用于管道的对接缝与滚筒的环缝的热处理。

环形的气体加热炉，可按被加热工件的大小决定它的直径。这种形式的加热炉是由一个带许多孔的管子加热器和套罩所组成。整个加热器是由两半可拆卸的部分组成，用螺钉连接。若是局部的热处理，是在已经投入生产的炼油厂来进行，便可尽量使用炼油厂的可燃气体为燃料。因此气体加热炉可成为一种很有经济价值的加热设备。

感应加热设备，在焊缝的局部热处理上有着广泛的应用。不论焊缝是纵向或横向，不论被焊设备零件的尺寸范围如何，都可应用。

感应加热的方法，是把被加热设备的零件置于电磁场中。这个电磁场是由通过感应圈的交流电而生成的。在零件的表层由电磁场感应而产生电流，进行加热，并可靠热的传导将热导向金属内层。感应加热器所使用的电流一般为 50 週/秒，或略高一些的 200—240 週/秒的低频电流。感应圈是由圆而平或其它形状的包以石棉的铜丝所制成。

第 3 节 合金钢设备的制造

合金钢的种类很多，它们的焊接性能都不相同。各种合金元素，在焊接过程中处于高温加热条件下，起着各种复杂的物理化学变化过程。如不注意在工艺上采取适当措施，就很难保证质量。

从焊接特点上,可将石油和化工设备中較常用的耐腐蝕、耐热合金鋼材分成三种典型类别来研究。这三种类别是:以12MX为代表的低合金鋼;以18—8鋼为代表的奥氏体鋼,以1X13为代表的高鉻不銹鋼。

一、12MX低合金鋼设备的制造

12MX是低合金優質鉻鉬鋼(0.1%C; 0.25—0.5% Mn; 0.15—0.3% Si; 0.3—0.6%C_r; 0.4—0.6% MO)。合金元素MO可提高鋼材的热稳定性及防止回火脆性。但是單純的鉬鋼在长期高温作用后会出现石墨化的傾向。消除石墨化傾向的方法是加入少量的C_r(0.3—0.6%)。同时鉻的加入还可以提高鋼材的抗氧化性能。这种鋼可以用在450—540℃的温度范围内,但抗腐蝕性不强。增加C_r和MO的含量,都会使奥氏体轉变的C形曲线向右移,也即提高了奥氏体的稳定性,在冷却时,奥氏体轉变緩慢,临界冷却速度大为下降;同时馬丁体轉变温度下降;所以易产生空淬現象,再加上碳化鉻的出现,增加了焊缝金屬的硬度,就常在焊缝及热影响区内出现裂紋現象。这就是在制造12MX设备时的主要問題。

为了获得較好的焊接接头,12MX焊接时,一般可通过下面三个方面来防止裂紋的产生。

1. 焊前必須了解鋼材所处的状态。应该是处于退火状态,即要有最稳定的金相組織,以提高其承受焊接热循环所产生的热应力作用的性能。如处于淬火状态,焊时較易产生裂紋。为此必須事先进行退火处理。若为管綫焊接时,則可以只对管端焊口200毫米范围内进行局部退火。退火规范为:加热到 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ 保持一小时;然后以 $V < 100^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的冷却速度冷却至 200°C 以下,要求硬度 $H_B \leq 156$ 。

2. 采用預热处理,减少焊缝金屬和热影响区的温度梯度,从而降低冷却速度和减少温度应力。加热规范是把坡口及其边缘20厘米处預热到 $150^\circ \rightarrow 200^\circ\text{C}$ 时进行焊接。在焊接过程中应保持焊口处的温度在 150°C 以上。对比較长的焊缝或大的工件,由于散热面大,必要时还須要伴热。焊接时应連續把焊口焊完,不应中断。不得已情况下要中断时(如停电),应将焊口用石棉或其他保温材料保温,使焊口緩慢而均匀地冷却。重新焊时应加热焊口到 $150—200^\circ\text{C}$ 。

降低冷却速度,可以减少或避免馬丁体硬脆組織的产生。預热和伴热是降低冷却速度的一个方法。为了降低冷却速度,还須注意外界条件。对于12MX鋼材,冬季施焊时,必須保持被焊工件温度在 10°C 以上,不宜在 0°C 以下施焊。不应讓风雪雨水侵蝕焊缝。焊后对焊口要用保温材料进行保温。

3. 对于比較厚的鋼板(>25 毫米),焊后可进行 $650—700^\circ\text{C}$ 的退火处理,以消除焊缝内应力(这种应力可能是因為温差而引起的,也可能是因為強制变形而引起的),从而减少承载后产生裂紋的傾向。

在現場預制中,设备几乎都是露天施焊条件,並且实现大而长的设备的預热和事后热处理都比較困难,因此在选择焊条及制定焊接规范时,要特別注意。

目前焊接12MX最常用的焊条是苏联牌号УУ-2MX和УЛ-14两种(这种焊条的焊絲是普通碳鋼,合金元素是在焊藥中加入)。УУ-2MX属于碱性 $\text{CaO}-\text{CaF}_2$ 渣系的短渣焊条,要求电源必須是直流反接。而УЛ-14是属于酸性 $\text{FeO}-\text{MnO}-\text{SiO}_2$ 渣系的长渣焊条,因为焊接过程中会氧化发热,故可以利用交流电焊机,但不宜 焊和仰焊。

对于大厚件, 采用多层連續焊, 减少摆动, 也是个防止裂纹的有效办法。除此以外, 还可采用 Φ A2型X25H12焊条和 Φ A1型的18—8不銹鋼焊条来焊接12MX鋼设备, 效果良好, 没有裂纹, 也免除了热处理。虽然用这种高合金的焊条不经济, 但在设备大, 质量要求高的情况下, 这种方法还是可以考虑的。

至于含铬更高的X5M鋼, 其空淬倾向更大, 产生裂纹更容易。为此在焊接时的热处理要求就更苛刻一些。

二、高铬不銹鋼设备的制造

属于高铬不銹鋼主要的有 Φ M496 (08X13), 1X13, 以及X17, X25等鋼种。由于它们的含铬量都在12%以上, 故抗腐蚀性能特别良好。其中 Φ M496由于其热膨胀系数与碳钢相近, 故常作为双层金属或设备的衬里合金层用。含铬量保持在12—14%内, 就仍有相转变的性能; 若含铬量再高, 就会超出 γ 相区而转变为纯铁体及纯铁体相区内, 具有晶粒长大和脆性的倾向。

同样, 由于含铬量的增加, X13型鋼的淬火倾向是极大的, 尤其在含碳量较高的情况下, 一般当冷却速度在1—3 $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 时, 即会产生淬硬的马氏体组织。为此, 常要采用预热及事后热处理。若在焊缝内加入形成碳化物的合金元素, 如Ti等, 则可以减小淬硬倾向。

X17型鋼若含碳量小于0.12%时, 则为纯铁体级鋼, 它不论冷却速度如何, 并不发生相的转变, 也无淬硬的倾向。但在高温下 ($>900\text{—}1000^{\circ}\text{C}$), 有明显的晶粒增大倾向, 即脆性倾向。为消除这种热影响区的脆性倾向所引起的裂纹, 在焊接时采用预热处理。在焊接中加入Ti、Nb等合金元素也能见效。

X25鋼都是纯铁体, 其晶粒增大倾向更明显, 应注意的问题同于上述。

三、18—8系奥氏体铬镍鋼设备的制造

通称18—8鋼 (白鋼) 的高铬镍鋼是单相奥氏体组织, 具有良好的化学耐腐蚀性能。在宽幅度的温度范围内 ($<750^{\circ}\text{C}$) 强度较好, 所以常用在石油化学工业中操作条件要求苛刻的设备。其中尤以1X18H9T为最常见, 因它具有抗晶间腐蚀的能力。

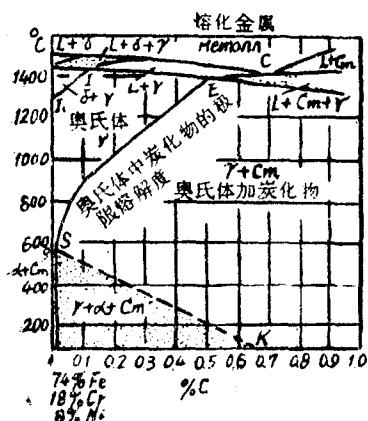


图 6—3 18%Cr,
8%Ni的三元组成图

1. 18—8 奥氏体鋼在设备制造中存在的主要问题。

18—8鋼在平衡状态时, 除了奥氏体以外, 尚有少量的纯铁体及碳化物存在, 如图6—3所示。因此在设备制造过程中突出地存在下面两个问题。

1) 产生晶间腐蚀的问题及防止措施 当鋼长期处于450—850 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内时, (如图6—3上的SE及SK线间), 沿奥氏体晶粒边界上会析出碳化铬 [Cr_4C , $(\text{CrFe})_4$ 或 $(\text{CCrFe})_{23}\text{C}_6$], 这就减少了晶粒界面上固溶体中的铬含量, 造成贫铬区, 引起碳化物相与奥氏体相间的电池作用, 致使晶粒间界易被腐蚀, 此即为危险的晶间腐蚀现象。为了消除晶间腐蚀现象, 就必须防止或减少碳化铬的析出, 亦即稳定鋼材的原有性能。其途径一般有如下几种:

(1) 快冷法。將鋼加热到1050—1150 $^{\circ}\text{C}$ (SE线以上), 碳化铬又全部溶解在固溶

体内，然后，以大于 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 的冷却速度在空气中或水中快冷之，即可稳定组织。此法不宜用于厚板件及大型焊件以防应力太大而开裂，故实际中很少应用。

(2) 将含炭量减少到常温下在奥氏体中的溶解极限，亦即约 0.02% 左右。在实际上海稳定组织所需的许可含炭量是与板厚、冷却速度等有关的。当增加板厚时，此许可含炭量应下降。一般要求 $0.03-0.08\%$ ，但这在冶金上是不易完全实现的，尤其要求炭小于 $0.03-0.05\%$ 时。

(3) 最常用的方法是在18—8钢内加入某些能生成稳定的碳化物的合金元素，如钛、铌、钼等，这样，即可使铬留在固溶体内。这种元素的加入量不必过多，只需能与自由炭全部形成碳化物即可。钛会生成 TiC ，其加入量应为： $0.8\% > \text{Ti} \geq 5(\text{C}\% - 0.03\%)$ 。铌生成 NbC ，其加入量应为： $1.5\% > \text{Nb} \geq 8\text{C}\%$ ；此处 $\text{C}\%$ —钢内含炭量， 0.03% —奥氏体内炭的溶解极限。最常用的还是加Ti的1X18H9T钢种。

(4) 加入能形成二相组织的合金元素，使单相奥氏体组织的18—8钢变为二相奥氏体—纯铁体组织。这样可将碳化物相割裂分散，而铬在纯铁体内的扩散速度高于在奥氏体内的扩散速度，即可提高抗晶间腐蚀性能。形成纯铁体的添加物可以是钛、铌、钼、硅、钨、钽及铝。关于各种元素含量对于金相组织的影响可见图6—4。

图上是分别将形成纯铁体的元素和形成奥氏体的元素都折合成当量的铬含量和镍含量。此图原是对利用造渣焊条的焊条进行手工焊后所得的焊缝金属进行研究而得来，但也可用来考察熔剂层下自动焊的情况；也可作为铸钢的组织分类。当然它是近似性的。

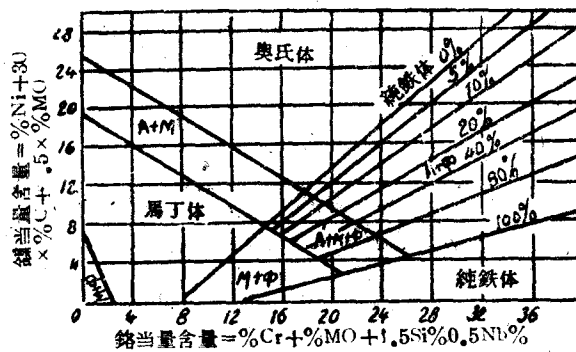


图 6-4 铬镍钢（焊缝金属）金相组织图

加入形成纯铁体的元素后，不仅会提高抗晶间腐蚀性，而且还可以影响到蠕变极限、氧化温度、铁磁性、耐腐蚀性等性能。

二相组织有个重大缺点，就是纯铁体不易经受热压力加工，它在长期受热及多次重复受热后会生成脆性的 δ 相，而降低塑性；并且在某些介质如硫酸内的耐腐蚀性亦会下降。纯铁体的增加会增加磁化程度。为了获得单相组织，铬当量含量与镍当量含量之比不能超过1.8；钛含量不宜超过 0.8% ；铌含量不宜超过 1% 。

2) 形成热裂纹倾向及克服措施 在18—8钢焊接时，引起焊缝热裂纹的主要原因，是由于焊缝金属结晶时，在晶界面上形成易熔的共晶体，再加上18—8钢本身的导热性差而热膨胀系数高，焊接时内应力较大，所以有产生热裂纹的倾向。

目前研究认为枝状的单相奥氏体组织比二相组织更易形成热裂纹，这是由于在二相组

鐵內晶間的易熔共晶析出物被割裂分散之故。為此加入能形成純鐵体的元素就可減少熱裂縫傾向。硫的存在，會生成低熔點Ni—NiS₂共晶体，極易產生熱裂縫，故必須嚴格控制焊條內硫含量在0.03—0.02%以下。

鉍在一定含量時也會加大熱裂縫的傾向，只有與其他形成純鐵体的元素聯合加入使18—8鋼具有奧氏体—純鐵体組織時，鉍的有效作用才較顯著。

加入形成純鐵体的元素後，二相組織在650—950℃間長期加熱後，會由於 α -体的轉化而生成 σ 相，其中尤以鈮、硅、鉻和鉍最易產生此 σ 相。 σ 相是脆性組織，會大大降低焊縫的沖擊韌性，很不利。當二相組織內 α -体較多時（如25—35% α 体），則在375—500℃加熱時即會引起猶如高鉻鋼中那樣的脆性。為此常將 α -体限制在5—10%左右。亦即在高溫設備中，焊縫的化學成分要控制在C $\leq$ 0.1%，Cr $\leq$ 18—19%，Ni $\leq$ 8—9%，Si $<$ 1.5%。這在選焊條時必須注意。

X23H13鋼比X18H9鋼更易生成 σ 相，因它含 α 体較多。將X23H13在600℃下加熱2000小時，其沖擊韌性即從21下降到0.8—1.6公斤—米。

2. 18—8鋼設備的制造特點 18—8鋼是單相奧氏体組織，它與一般合金鋼的淬硬問題截然相反，再加上它具有熱膨脹系數大、導熱導電性能差、合金元素易燒失氧化等特點，所以它的焊接工藝有不少特殊之處。在制定焊接工藝時，中心的問題是減小和防止熱裂縫的產生、晶間腐蝕和 σ 相的產生以及合金元素尤其是鉻的氧化燒失。根據上述分析及已有實踐資料，可以歸納如下：

1) 正確的選擇焊絲及焊藥是個最為關鍵的問題。熔劑與焊藥的作用主要是要求能防止氧化燒損合金元素，保持適宜的合金元素、減小有害雜質如硫等，以及改善焊縫的金相組織和晶粒細化。

據此，手工焊條所用焊藥必須是鹼性CaO—CaF₂系的，與之相應的手工焊條為ЦЛ-2；ЦЛ-3；ЦЛ-4；УОНИ13/НЖ；ЭНТУ-3等。

對於熔劑的要求是由某些氟鹽與氯鹽或其礦石所熔煉成的無氧熔劑。例如АНФ-5（БКФ-5）熔劑（80%CaF₂+20%NaF）和ЭС-5熔劑（80%CaF₂+20%CaO），它們都有較強的脫硫能力，例如可使焊縫金屬內含硫只達0.006%。

在焊接過程中，鈦最易氧化燒失，為此一般在手工焊條中不宜加入鈦；而熔劑層下自動焊時，若應用了上述無氧熔劑，則可用含Ti的焊絲，其燒失量可降低到原有鈦量的20—15%。這樣對於防止熱裂縫及晶間腐蝕是極為有利的。一般鉍對熱裂縫較敏感，故不希望採用。

此外也可用其他熔劑，如低硅無錳而含CaO—CaF₂較多的熔劑。

焊絲的選擇決定於焊縫對合金元素的要求，它們的選擇與被焊設備的操作條件、介質的腐蝕性、操作溫度、焊件厚度及焊接方法等有關。通常可由試驗來決定。在自動焊時，為防晶間腐蝕，可用C_Б—1 X18H9T，C_Б—0 X18H9Φ2C，C_Б—0 X18H9Φ5C等焊絲，但它們不能用於操作溫度超過400℃的設備上，以免產生 σ 相。為解決高溫設備問題，可在C_Б—0 X18H9Φ2C內減少硅及鈮的含量，而增加錳的含量，並附加加入鉬。對於操作溫度小於400℃腐蝕性介質又弱的設備，可用焊絲C_Б—0 X18H9、C_Б—0 X18H9C2。手工焊時，一般不含鈦的焊絲均可用。

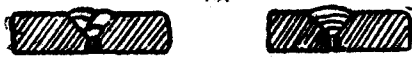
2) 工藝規範應力求焊縫金屬受熱面儘量減少，特別使400—850℃的停留時間縮小到

最小。在这方面目前认为比较有效且为生产上实际采用的办法是：在满足焊缝成型要求（适宜的熔深、适宜的焊缝外形-宽度和高度）的前提下，采用小电流（比同直径碳钢焊条，所用焊接电流小20—10%）多层焊接；由于导热率低（比碳钢低一倍）产生热应力大，因此采用较大的焊接速度。在焊接过程中，施焊方向直线前进，避免左右摆动（以减少温度应力）如图6—5。如12毫米厚的1X18H9T钢板，堆焊一条五层的焊缝，每焊一层后，打去熔渣壳不待其冷却即焊上一层，五层的焊接方向一致。焊接规范如下：电流—550—600安培；电压—30—40伏特；焊接速度—20—25米/时。焊接时可使用AH—26、BKΦ—1或BKΦ—5熔剂，使用BKΦ熔剂时使用直流反联；使用AH—26熔剂时，使用直流或交流电（直流电较好）；在焊接1X18H9T钢与碳钢连接时，应使用直流正联。此外焊接长缝时，宜用分段退步焊法，并且每段长度不要过长。

3) 焊接接头的结构。考虑到18—8钢热变形大，同时为了减少合金元素的烧失（脱Cr），设计时必须注意使接头时结构合理。合金钢制的另件最好的联接办法是对接，搭接会增加焊缝处金属的局部过热和冷却的不均匀，产生应力和变形，加速裂纹和晶间腐蚀。

当对接不同厚度的另外件时，在靠近焊接处，必须将厚的另件削薄，使和薄的另件厚度相同。过渡区倾斜度通常为1:4—1:5如图6—6

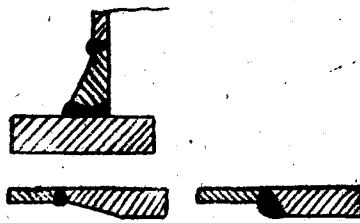
在薄壳与管板联接的时候也要注意结构的合理性，较好的形式如图6—7。



正确的

不正确的

图 6—5 焊缝断面图



a 对

b 不对

图 6—6 不同厚度另件的连接

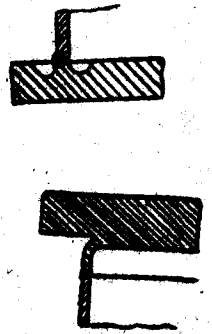


图 6—7 壳体与管板焊接的结构

坡口形式在16毫米以下用V型、16毫米以上用X型。

4) 在切割下料及边缘加工时，采用机械切割，空气电弧切割和氧熔剂切割。避免使用氧气切割（氧气切割对合金元素的氧化烧失比较严重）但给现场予制带来了较大的困难，这是个值得研究的问题。

5) 热处理 18—8钢热处理有三种

(1) 淬火处理，加热到1000—1150℃急冷之，使碳化物来不及析出而保存在18—8钢奥氏体中，即可去除碳化铬的析出及σ相的产生现象。这种方法只能用于在450℃以下操作的设备。

(2) 为去除内应力而进行的退火处理，约用815—925℃。空气冷却之。但此种方法只适宜于碳化铬不会析出的稳定钢。

(3) 高温稳定退火 高温稳定退火处理（空气中冷却的“免疫”热处理）使奥氏体晶粒界面的碳化铬重新溶于奥氏体的固溶体中，减少钢材对晶间腐蚀的敏感性。它又有

去除内应力的作用，效果良好。所用温度应高于设备的操作温度，且在危险区温度以上，即850—900℃，所需时间要依铬能充分扩散到晶界面上为准，故与炭含量有关。当含炭量高时，甚至需保持24小时以上才行。加入钛与铈，即可缩短此时间。如X18H9T钢在2—4小时高温稳定退火后，即可在600℃下长期操作也不会有晶间腐蚀。由于此种热处理很贵，一般只在厚钢板或特殊要求下才进行。

第4节 有色金属设备的制造

在我国，应用于石油化工设备的有色金属，主要有铜、铝、铅及其合金。铝由于形成严密的氧化铝保护膜，故耐腐蚀能力很强，它对于许多腐蚀介质包括浓硝酸、磷酸、醋酸及许多有机化合物、干燥氯及氯化氢等都很稳定。目前，石油工业中用铝最多的地方是在有酸蚀，特别是有机酸腐蚀的设备及有硫等介质腐蚀，工作温度小于400℃的设备衬里。

铜由于不能生成象 Al_2O_3 那样的保护膜，故不能耐酸及盐的浸蚀。很多气体，如卤素、二氧化硫、硫蒸汽、硫化氢及氨等都对铜有腐蚀作用。但铜的特别有价值的性能是在低温下反而能增强其强度，并保持有高的冲击韧性。这一特性使铜成为制造深度冷冻设备的主要构造材料之一。

铅由于能形成硫酸铅的保护膜，对硫酸及其盐类十分稳定，因此，它在硫酸厂设备中应用最广，但因铅机械强度很低、易熔、重度大、价格也高，故应用受到一定限制。在石油工业中用得不多，仅在一些个别的、与硫酸接触的设备中用作衬里。

由于有色金属都具有熔点低、强度低、塑性好、导热导电性能良好、热膨胀系数大、易氧化等特点，故在制造上有其特点。

下面，就石油工业中应用较广的有色金属铝及铜设备的制造特点分别加以叙述。

一、铜设备的制造

1. 铜设备结构特点 铜制设备和钢设备不同。由于铜质地柔软价格较高，不但对于毛坯加工过程有影响（如不适合切削加工），而且也影响设备的结构形状和联接方法。由于铜的塑性很高，故很容易滚压成外壳或冲成设备顶盖，同时，为了增加薄壁铜制设备的刚度，可用一对特殊形状的压滚器，将器壁制成波浪形，如图6—8a，在铜壳波浪形状的地方，可作设备的内部零件的支撑之用，如图6—8b所示为铜制精馏塔的塔板固定的形式，是靠在塔壁曲折处，钎焊两个铜丝圈来固定塔板。在铜壳和头盖的制造过程中，一般不必使用热加工，即可获得所要求的几何形状。

铜制设备的接头型式，可视板厚而定，有对接，有时也有搭接，连接方法有焊接也有钎接。较厚的铜板多采用对口焊接，大于3毫米的铜板焊接，应将边缘切成V形45°夹角的斜边，並留有一个不小于2毫米的垂直边。X形的接头很少应用，只有板厚大于10毫米，双面同时用焊枪烧焊时，才要用这样形状的接头。薄的铜板，可以根据拼制设备的工作条件对接头强度的要求来决定其联接方法。若是不可避免、有厚薄不一的铜板，要用搭接焊接时，为了避免烧穿焊缝，应将薄的一件放在上面。如图6—9所示。

由于铜具有熔点低，很柔软等特点，铜设备的不可拆卸部分，可用软焊料或硬焊料进行钎焊接，也可用熔焊接或铆接。用软焊料进行钎焊时，常采用搭接形式，否则，焊缝强度只有铜板本身强度的 $\frac{1}{7}$ ，这是不经济的。在搭接薄板或薄壳时，采用齿形联接。如图

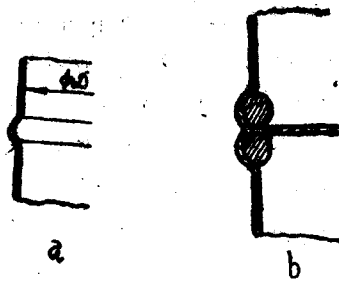


图 6-8

a—波浪影器壁 b—銅制精餾塔塔板之固定型式



不正确 正确

图 6-9 搭接焊不同厚度焊接法

6—10所示。將板边缘，四倍于板厚的长度，割成齿形，將齿上下分开，然后，將另一未割开的板插入，在压紧之后，仔細的用軟或硬焊料釐焊。然后，錘击焊縫使其平坦。要求高的圓筒，为了恢复正确的几何形状，可以再一次滾压。

銅的鉚接既牢固，又能保持准确度，不会有翘曲，故还可采用。用銅鉚釘的鉚接，是在冷的状态下进行的，一方面，因为热鉚对性質較軟的銅來說，是没有必要的；另一方面，热鉚会引起剧烈的氧化。

因为銅很軟又貴，决定了可拆卸的銅制设备联接的特点是：銅制设备上受力較大的法兰都是用碳素鋼制成，法兰活套于摺边上或是用硬焊料焊于壳体上的摺边环上。

2. 銅设备焊接的工艺特点。

石油化工用的銅设备，大多数是用紫銅及其合金黃銅板焊制成的。上面已說过，銅制设备的不可拆卸部分可以用軟或硬焊料釐焊。軟焊料最大的优点是焊料的熔化温度不高，可以避免因另件受热翘曲所引起的温度应力的产生，但它的強度不高，且只适宜于小于 100°C 的情况下。工作温度大于 100°C 且承受大的靜载荷或动载荷的联接件，就要用硬焊料釐焊，这种焊料的熔化温度比較高，強度較軟焊料好，但比熔焊來說，它的強度还是較低的。对強度要求更高的设备及壁較厚的设备，一般多采用熔焊法。熔焊可用炭极电弧焊，也可用金屬极电弧焊。釐焊时，一般是采用搭接，而熔焊时都是采用对接，不希望搭接。

銅制设备的焊接特点是：

1) 由于高温下銅的易氧化性和吸气性，造成熔焊过程中裂縫和气孔的产生。在焊接过程中，銅氧化产生的 Cu_2O 与焊縫热影响区中銅組成共晶体，它的熔化温度比銅低(1064°C)，所以会产生脆性及裂紋現象。銅內的含氧量与它的机械性能的关系如表6—2所示。当銅中含氧量达1%时，全部成为 Cu_2O ，随着温度的升高，氧化进行得愈剧烈，尤其

表 6—2 氧化亚銅对軋鋼和煨火
銅的机械性能影响

成 分 %		强 度	伸 长 率
Cu	O	σ_B 公斤/毫米 ²	δ %
99.64	0.25	24.5	29
99.69	0.18	24.0	35
99.68	0.12	23.8	44

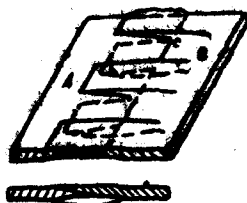


图 6-10 齿形联接件

在焊接大于10毫米厚度的銅板时，速度慢，氧化的机会更多。因此，要求施焊前必須正軌。

的选择焊条和焊剂,要求焊条和焊剂具有脱氧的能力,从而减少 Cu_2O 和气孔的产生。铜焊接时可使用酸性的焊药,它的流动性好,其主要成分是硼的化合物,如硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)及硼酸(H_3BO_3)等。根据生产经验证明,在焊药中增加锰铁,减少硅铁,对内部气孔的消除有一定的作用,因为锰铁可作为脱氧剂,使液体金属变稀,从而气体容易析出,另外,锰铁的加入还可以消除硫在铜内的坏影响。当锰铁增加到32%时,几乎可全部消除气孔,但若再增加锰铁,就会有过量的锰铁存在,而锰铁熔点较铜高,焊接时就会出现组织的不均匀,组织应力增加,焊缝就易出现裂纹。

在熔焊较厚的铜板时,应该采用特殊的铜焊条。磷和硅都是脱氧剂,都可应用作铜的焊条的成分。板厚小于10毫米时,从磷焊条的反应式 $5\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{P} = \text{P}_2\text{O}_5 + 10\text{Cu}$ 可以看出,加入磷后,可以消除 Cu_2O 的影响,使熔池中金属更稀,这样,可使混在液体内的有害杂质浮到表面上,又便于气体的析出,减少了夹杂、裂纹和气孔等缺陷。在国外,也有用银焊条焊接,不仅价高,而且质量不一定比磷或硅焊条优越,故一般用得不多。

另外,在焊接过程中,对较厚的焊件进行预热,加快焊接速度,可以减少铜的氧化。在气焊时,由于速度慢,铜的氧化厉害,出现的气孔、裂纹很多。炭极电弧焊的速度大于气焊的速度(气焊速度为150—200毫米/分;炭极电弧焊速度大于250毫米/分。),因此,出现的气孔就少了。用金属极电弧焊时,速度很快,若选好适宜的焊条,不预热也可以得到满意的焊缝。

铜加工时,常吸入 H_2 和 CO ,气焊时,在还原性的火焰气体中,这些气体将渗入铜内,与铜内的氧化合,生成水蒸汽和 CO_2 向外散出,使金属层下发生气泡,以致引起裂纹。这种现象称之为铜的氢素病。为此,在气焊时,必须注意控制火焰,避免使用还原性火焰。

2) 由于铜的导热系数和热膨胀系数都比钢大得多,焊缝易出现裂纹。根据生产上的经验,在进行铜与铜的焊接时,焊前必须将焊件预热至300—500°C,其次,保持焊炬与施焊路线成垂直,但与工件成45°角,这样,既保证预热作用,又有退火作用,使铜和铜都加热均匀。另外,为了不使其过度氧化,必须使焰芯与工件保持6—10毫米的距离。施焊时,焊炬和焊条不要过度摆动,也可以避免氧化并起退火作用。焊后对焊缝进行适当的保温,使其缓慢冷却,以防止裂纹。

由于铜散热快,在进行铜板与铜板的相互连接时,要用大功率的焊接规范,尤其开始加热时,电弧的温度应该高些,待焊件加热后,再把电弧恢复到正常施焊要求。当铜板为黄铜时,必须注意,温度能不太高,因为黄铜内含有锌熔点较低(419°C),且在905°C时即行蒸发。而黄铜的熔点则视其含锌量的不同,介于800—950°C之间,这样,就使黄铜在焊接熔化时,有部分的锌蒸发,使焊接工作发生困难。为此,预热火焰必须保证锌不会过分蒸发和铜板不受过分氧化为原则。焊黄铜的火焰应当是氧化性的,增加氧量在25—40%之间。氧化性的火焰,将使熔池金属的表面结一层 ZnO ,它可以防止下面金属的进一步被氧化,阻止锌的蒸发。使用正常比例的火焰或乙炔过多的火焰,都将使焊缝金属产生气泡。蒸发的锌在空气中全部氧化成白色的氧化锌蒸气,毒性很厉害,对工人健康很有害。所以,在焊接过程中设法减少锌蒸发,是黄铜焊接中非常重要的一个问题。焊接时,尽量提高焊接速度,减少焊接次数,可以使锌不致过度蒸发。

3) 由于铜的流动性好,所以,在进行焊接时,最好的焊缝位置和接头形式是平焊对接头,下面由垫板或熔剂来衬托。根据生产经验,在进行直缝焊接时,为了防止液体铜

下漏，最好采用如图 6—11 所示的熔剂垫。由于铜板的导热快、变形大，在焊接过程中，铜板受热而变形凸起，导致铜板和熔剂脱开，因此，还必须将铜板用夹具夹住进行焊接，焊接次序见图 6—12 所示，1、2 为第一层，3 为第二层，也可一次焊完，次序为 1、2。

在进行铜制容器环向焊缝的焊接中，最困难的是预热和熔剂垫两个问题。根据生产经验，认为可采用如图 6—13 熔剂垫衬托焊缝，在内筒进行焊缝的焊接。焊完后，在环缝外面，锤以小槽（锤去焊瘤），然后在筒外再焊一次。采用这种不预热的两面焊法，可以达到质量要求。

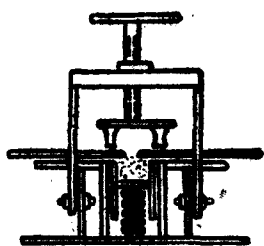


图 6—11 焊接对缝熔剂垫

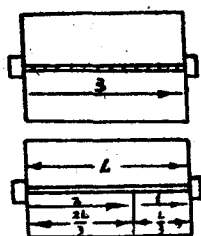


图 6—12 焊接次序

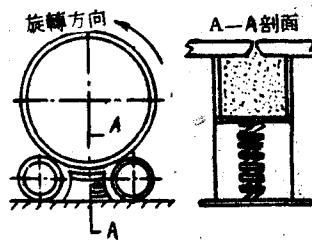


图 6—13 焊环形焊缝的熔剂垫

二、铝制设备的制造

1. 铝的特性对制造工艺的影响

1) 高的氧化能力和氧化薄膜的存在，增加了焊接的困难。铝在空气中能很快的与氧化合成 Al_2O_3 薄膜。 Al_2O_3 的特点是：熔点高（约 $2050^\circ C$ ，而铝本身的熔点仅有 $657^\circ C$ ）；比重大（约为 3.85 克/厘米^3 ，而铝的比重为 2.7 克/厘米^3 ），因此，在焊接过程中， Al_2O_3 会沉入液体金属熔池下部，难于去除，致使熔池形成夹渣，降低其机械性能，并产生裂纹。同时，由于集结于金属表面的 Al_2O_3 薄膜不导电，难熔化，影响电弧的稳定性，造成焊接的困难。

2) 铝在高温时（大于 $300^\circ C$ ）强度很低，成为可塑性的状态的时间很短，熔化时，没有明显的塑性过渡区，因此，很难掌握固体金属的熔化时间，造成热加工、尤其是焊接工作的困难。又因为铝在加热状态中的颜色不变，为此，人工很难控制调节所需电流大小。电流小了使温度不够，粘不上；电流过大使温度过高，很容易烧穿。

3) 由于铝的线膨胀系数很大，导热性能良好，受热后极易变形，因此，在焊接过程中，在焊缝及热影响区内，很容易产生裂纹。

4) 铝的液体熔池很容易吸收氢，在较大的冷却速度下，氢来不及析出，导致气孔的产生。氢的主要来源是：焊条涂料和铝表面有湿气、有油污等。

以上这些特性，都给制定焊接工艺带来不少特殊问题。

2. 铝设备制造的工艺特点。

焊铝的方法目前应用较广的是气焊（氧-乙炔），手弧焊和沿熔剂的明弧自动焊。以前两种最成熟。沿熔剂的明弧自动焊是属于较新的焊接工艺，

氦弧焊比其它熔焊方法较为先进，因为它不需要使用熔剂，简化了工艺过程，同时，生产率高，自动化可能性大，对焊缝的热影响区较小。但是，在焊前，对焊件表面的清理

工作要求很高，同时，需要很純的氬气，价格高昂，很不經濟，不宜于推广。而熔剂层下埋弧自动焊应当是比较合理的，只是熔剂的消耗量較大，同时，因熔剂的吸湿性强，熔渣粘度大，当焊剂熔化时，在熔池中会产生大量水蒸汽，以致造成气孔产生严重。並且，熔深較难控制，薄件极易烧穿，所以，都很少采用。目前，生产上大量采用的是气焊和手弧焊。沿熔剂明弧自动焊虽用得不多，但有发展前途，下面，就三种方法进行分析、比較，來說明鋁设备的焊接工艺特点。

1) 鋁设备的气焊工艺

(1) 不管采用什么焊接方法，施焊前都必须很好的清洗鋁板和鋁絲，除去湿气、油污及氧化鋁薄膜。

較有效的清洗办法是化学清洗。其法为：先用 Na_3PO_4 50克、 Na_2SiO_3 30克和1000厘米³水組成的碱溶液或用汽油、丙酮刷洗掉油污物用，30℃左右的热热水冲洗，使之干燥。然后再用10%的稀硝酸溶液洗去 Al_2O_3 ，再用热水或流动冷水冲洗干净，放在空气中干燥后，即可施焊。在实践中，还可采用机械噴砂法或焊前用刷子刷、砂紙磨等办法去涂油污物和 Al_2O_3 。

清洗工作希望在焊前3—4小时内进行，不能太早，太早清理后有新的 Al_2O_3 出現，焊接时还得清理。

(2) 为了防止鋁受热后变成易流动的液体，影响焊缝的形成，一般都采用平焊，避免立焊。对圓筒设备來說，一般是先把每节作好，再組合成各段，最后再进行总装配和焊接。

为实现平焊要求，每节圓筒的制造，是先把平板对接在一起后，滾圓再焊接最后一道縱向焊缝。这些焊缝的焊接都是在相应的夹具下进行的。

焊接时，为了抵消鋁板的变形及减少内应力引起的裂紋，將对接的两板摆成楔形（图6—14）。根据經驗 $b = 1 - 15\%L$ 。而后在夹具的夹持下焊接。

环形焊缝是用暂时点焊和夹具同时进行装配焊接，并用轉胎配合，以保証平焊位置。

使用夹具时，为了使焊接火焰不产生反回現象，便于操作，应使鋁板不要和夹具的下夹板紧密接触，要留約1—1.5毫米的間隙。为了防止烧穿，同时，考虑到鋁在加热到350—380℃时，強度已变得較低，尚未熔化就已不能支持自身的重量而引起弯曲，故在焊接的工作台上，設有承托焊件的垫板，垫板上有成型槽，垫板可用鉄板，亦可用較厚的鋁板（图6—15）

(3) 焊絲和焊藥的选择极为重要。焊絲的化学成分必須和焊件一致，生产上都是直接由鋁板上切下的純鋁条，鋁条的規格不等，有 5×5 ， 4×4 ， 6×6 ， 8×8 等，視鋁板厚度而定。

焊藥在保証鋁焊接的質量中，起着很重要的作用，可使 Al_2O_3 結渣而除去，並使熔化金屬的表面結一层液体的焊藥层，以保护其不被进一步的氧化。一般用氨盐和氟盐混合成各种成分制成。应用最广的焊藥配合成分見表6—3。

这些焊藥能使 Al_2O_3 变成 AlCl_3 ， AlCl_3 在183℃的低温下自行升华，它的比重比純鋁和 Al_2O_3 都輕，为2.4克/厘米³，它可以吸收非金屬夹杂物成为熔渣而浮在熔池的表面，結晶时，能保护金屬緩慢冷却，并有使液体金屬变稀防止产生气孔的作用。

(4) 为防止焊接过程中鋁过分氧化及其胀縮不均引起裂紋和气孔产生，对較厚