

兰州理工大学材料科学与工程学院

基地班工程训练

实

验

指

导

书

2005.8

实验一 焊接结构件或容器生产工艺编制

管壳式换热器制造工艺

容器广泛用于化工、炼油、轻工、医药、纺织、冶金、动力、核能及运输等工业部门，是生产过程中必不可少的重要设备，甚至是核心设备，如化工生产中的反应设备、换热设备、分离设备、贮罐及核动力反应堆压力壳、锅炉汽包等。随着科学技术的发展和工业生产规模的扩大，化工设备趋向大型化，操作条件更为恶劣，结构形式越来越复杂，同时设备所处理的介质往往是易燃、易爆或有毒。这些条件很自然地使化工设备和容器的安全可靠提出了更严格的要求。要求从事设计、制造、安装、检验、使用及监督管理人员，必须十分重视它的全面质量及安全性，其中制造质量的优劣是最关键的，它将直接影响着设备的安全运行

一、化工容器的分类

化工容器的分类方法很多，下面介绍几种常用的分类方法。

1. 根据压力容器在生产过程中的作用原理可分为反应容器、换热容器、分离容器、贮运容器四种。具体划分如下：

(1) 反应容器主要是用来完成介质的物理、化学反应的容器。如反应器、发生器、反应釜、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸煮球等。

(2) 换热容器主要是用来完成介质热量交换的容器。如废热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、蒸压釜、蒸煮锅等。

(3) 分离容器主要是用来完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等容器。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、蓄能器、贮能器、洗涤器、重沸器、再沸器、吸收塔、铜洗塔、碱洗塔、干燥塔、分馏塔、油洗塔、蒸出塔等。

(4) 贮运容器主要是用来盛装生产和生活用的原料气、液体、液化气体等的容器。如各种型式的贮槽、槽车（铁路槽车、公路槽车）。

2. 按容器承受的压力(p)可分为内压容器与外压容器。内压容器又可分为低压、中压、高压和超高压容器。

(1) 内压容器

① 低压容器 $0.1 < p < 1.6$ MPa

②中压容器 $1.6 < p < 10$ MPa

③高压容器 $10 < p < 100$ MPa

④超高压容器 $p > 100$ MPa

(2) 外压容器容器内部压力小于外部压力时，称外压容器。其中，内部压力小于 1 个绝对大气压(0.1MPa)的外压容器，又叫真空容器。

3. 按我国颁布的《压力容器安全技术监察规程》中，根据容器的压力高低、介质的危险程度及在生产过程中的重要作用，将容器分为一类容器、二类容器和三类容器三种

(1) 低压容器（二、三类低压容器除外）为一类容器；

(2) 属于下列情况之一者为二类容器：

①中压容器（三类中压容器除外）；

②易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和贮存容器；

③毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器；

④低压管壳式余热锅炉；

⑤搪玻璃压力容器。

(3) 属于下列情况之一者为三类容器：

①毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和 $P \cdot V$ 大于等于 $0.5 \text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器；

②易燃或毒性程度为中度危害介质且 $p \cdot V$ 大于等于 $0.5 \text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应容器和 $p \cdot V$ 大于等于 $1 \text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压贮存容器。

③高压、中压管壳式余热锅炉；

④高压容器。

(3) 易燃介质是指与空气混合的爆炸下限 $< 10\%$ 或爆炸上限和下限之差值 $\text{mg}/\text{m}^3; \geq 20\%$ 的气体。如：一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、氢、丁烷、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烯、甲烷等。

(2) 介质的毒性程度参照 GH5044 《职业性接触毒物危害程度分级》的规定，分为四级，其最高允许浓度分别为：

①极度危害(I级) $< 0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ ；

②高度危害(ii级) $0.1 - < 1.0 \text{mg}/\text{m}^3$ ；

③中度危害(iii级) $1.0 - < 10 \text{mg}/\text{m}^3$ ；

④轻度危害(iv级) $\geq 10 \text{mg}/\text{m}^3$ ；

4. 根据容器的壁温，可分为常温容器、高温容器和低温容器。具体按下列条件划分。

(1) 常温容器：指温度高于 -20°C 至 200°C 条件下工作的容器；

(2) 低温容器：指温度低于或等于 -20°C 条件下工作的容器；

(3) 高温容器：指温度达到材料蠕变温度下工作的容器。碳素钢或低合金钢容器温度超过 420°C 、合金钢（如Cr-Mo钢）超过 450°C 、奥氏体不锈钢超过 550°C 的情况，属此范围。

二、焊接压力容器主要制造工序及其特点：

1、一般采用焊接法制造

压力容器的制造方法主要有锻造、焊接、铸造和铆接等四种。锻造需大型锻件和锻造设备，要求高的锻造技术，常用于制造直径较小的超高压设备；铸造容器由于质量尚不稳定，很少使用；至于铆接容器，也由于质量不佳早已被淘汰；目前普遍采用焊接法制造。

2、生产工序较多，但工序较为固定

尽管压力容器种类很多，但主要的受压部件都由筒体、封头、法兰、接管、支座等零件组成，这些零件的原材料又主要是板材、管材和型钢，所以一台压力容器的制造工序包括：备料、放样划线、切割、边缘加工、弯曲和冲压、拼接、焊接、矫形、焊缝质量检查、热处理、装配、压力试验和密封性试验以及表面处理等。

每台容器几乎都需要经过上述工序才能完成，且各工序间的顺序也基本固定不变，为确保下道工序的顺利进行及整体组装质量，每道工序后还设有检验。对化工设备压力容器制造来说，这种工序安排基本上具有固定性。表一为压力容器制造基本工序。

3、产品种类多，无固定式样

设备制造大都属于单件和小批量生产的范围。机械厂所制造的设备，其种类、材料及大小往往各不相同，主要根据用户的需要按所提供的图样来制造，一般无固定的系列产品。这就是化工设备制造的种类多样性。

4、有相应的规程、规定、标准和技术要求

根据压力容器运行的安全性要求，其制造质量尤为重要，影响制造质量的因素很多，有设计问题、材料问题、制造工艺问题、质量检验问题，也有管理方面的问题等。为提高和保证制造质量，世界各国都订有相应的规程、规定、标准和技术要求，在压力容器制造过程中必须遵守。这是化工设备制造的法规性。

压力容器制造的工序固定性、种类多样性和法规性成为不同于其他机械制造的三个

显著特点。

三、典型化工设备的制造过程

图 1 为 50m³液化石油气储罐，属卧式圆筒形容器，由筒体、封头、支座、人孔、排污接管、加强圈及各工艺接管等构成。主要受压元件筒体、封头的材质为压力容器专用低合金钢 16MnR，筒体壁厚 16mm，封头壁厚 18mm。

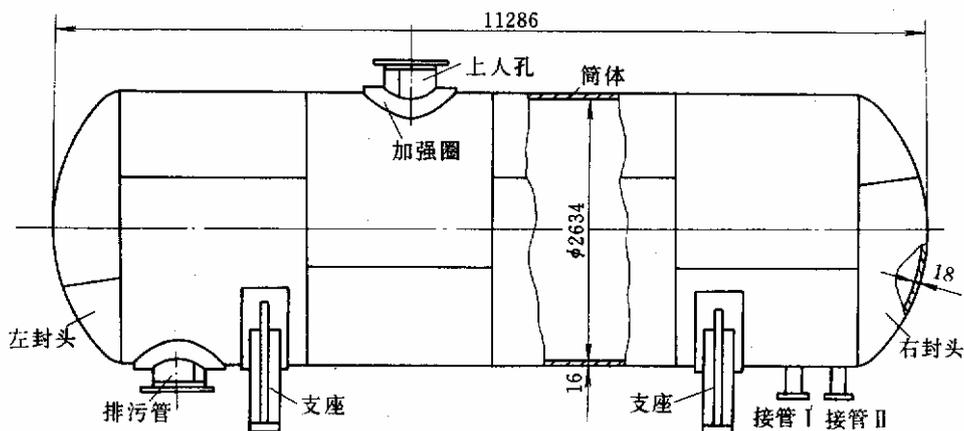


图 1 50m³液化石油气储罐示意图

(一) 储罐主要构件的加工制造

板材成型前的通用工艺流程列于表 2-17

序号	工作内容	要求,加工方法,加工内容或设备
1	原材料入库	
2	原材料复验	外观,几何尺寸和理化检验及钢板的超声波探伤
3	钢印标记	小于 5 毫米的板材用风刻,电刻和不退色的墨水标记
4	板材矫平	
5	划线	
6	钢印移植	
7	下斜	薄和中板剪切,中厚板气割,不锈钢和有色金属用等离子弧切割
8	边缘加工	气割或等离子弧坡口,用机加工方法进行边缘加工

(二) 主要受压元件的成型和焊接工艺

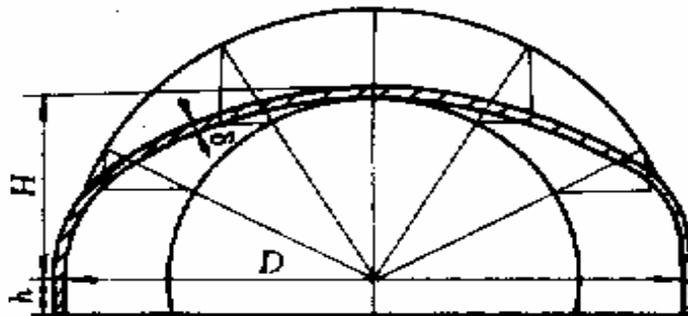
1. 封头

该封头为标准椭圆形封头，材料为 16MnR；尺寸如图 2-20 所示：封头内径 $D_i = 2634\text{mm}$ ，封头壁厚 $\delta = 18\text{mm}$ ，封头中径 $D_m = D_i + \delta = 2652\text{mm}$ ，直边高 $h = 40\text{mm}$ 。

根据经验公式，将封头展开成圆形板坯，其直径 $D_a = 1.2D_m + 2 \times h = 3262\text{mm}$ ，考虑余量后，板坯尺寸取 $\Phi 3290 \times 18$ (mm)，如图 2-20 所示。其制作过程列于表 2-18

2-18 封头的制作过程

序号	工作内容	要求,制作方法,设备或工具
1	材质核对	检查
2	下斜	采用半自动气割机切割
3	开坡口	采用 9mm 割边机
4	核对坯料的几何尺寸	检查
5	拼接	采用双面弧焊
6	修平焊缝	铲,磨的方法
7	压浅碟形	两道冷压和一道热压
8	热压成形	水压机,冲头,温度 900-1000
9	修正并去氧化皮	
10	探伤	100%射线探伤
11	坡口及孔加工	立车坡口加工,钻床钻孔



2-20 椭圆封头尺寸

2. 筒体

材料为 16MnR, 展开的坯料尺寸为 9850X8325X16 (mm), 拼接图如图 2-69 所示。它的制造过程列于表 2-19

2-19 筒体的制造过程

序号	工作内容	要求,制作方法,设备和工具
1	坯料,试板引,熔弧板的准备	板料四周刨坡口,其对角线误差不大于 2mm,准备 24 块的引,熔弧板,供每一筒节焊接时引,熔弧之用.
2	筒节板坯的预弯	用预弯模在水压机上预弯
3	卷筒	卷板机上卷筒
4	纵向焊缝焊接	埋弧自动焊对内外纵向焊缝焊接
5	矫筒	卷板机上矫圆
6	射线探伤	100%射线探伤

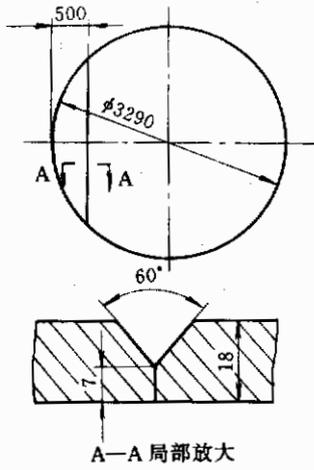


图 2-68 封头展开尺寸、板坯拼接
及拼接焊缝坡口图

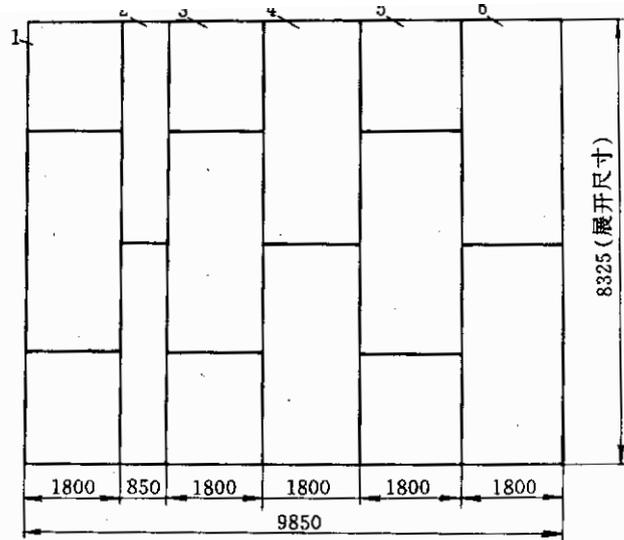


图 2-69 筒体的展开尺寸和拼接图
(注：上部的数据为筒节编号)

实验二 列管式换热器

一、简介

图 1 是一种固定管板式列管换热器。其结构基本上由容器和内部的管束组成，简单而坚固、造价低、适应性强；它的管间清洗困难，为此要求壳程内的介质应是清洁而不结垢的流体。

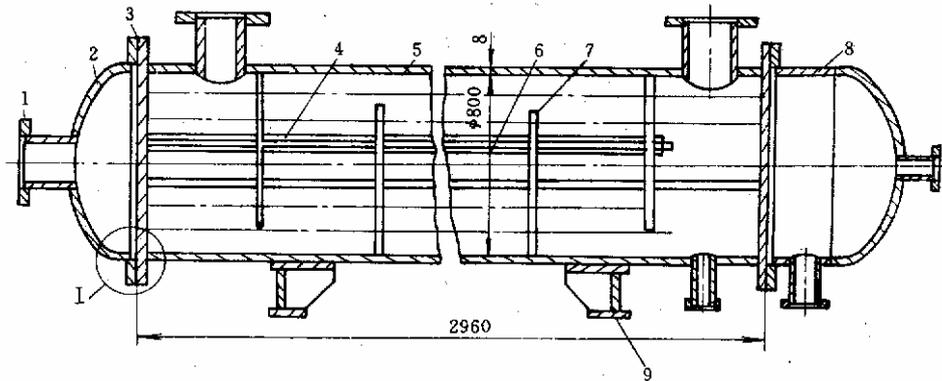


图 1 固定管板式换热器简图

- 1—接管；2—封头；3—管板；4—定距管；5—壳体；
6—拉杆；7—折流板；8—管箱；9—支座

由图可见，壳体 5 是内径为 $\Phi 800$ (mm)、壁厚为 8mm 的圆筒，其两端分别焊有管板，两管板间有管束与管板 3 连接，壳体内还有定距管 4，拉杆 6 和折流板 7 等。壳体外焊有各种接管和支座 9；图左部与管板 3 用螺栓连接的是焊有接管 1 的封头 2；图右部与管板 5 用螺栓连接是焊有一些接管的管箱。

1. 壳体

它是换热器的主要受压元件。其加工制造与圆筒形贮罐相同，但是，对壳体的圆度和直线度要求更严格。对壳体的内径偏差和同一断面上的直径差列于表 2-23

表 2 - 2 3 壳体同一断面上的直径差

公称直径 DN,mm	<500	>500-<1200	>1200-<1800
内径偏差	+3 0	+3.5 0	+4 0
统一断面 $D_{\max}-D_{\min}$	<0.5% D N	< 5	< 7

壳体内径过大或圆度误差会引起壳程介质短路而降低换热效率。

壳体的直线度误差会影响管束的抽装，对其要求列于表 2-24。

表 2-24 壳体的直线度要求

壳体长度 L, mm	< 6 0 0 0	6 0 0 0 < L < 1 2 0 0 0
长度偏差 mm	± 6	
直线度	<(1/1000)L 且 <4.5mm	<(1/1000)L 且 <6mm

2. 管板

管板的作用是固定管子的。一般采用 Q235、20 等碳素钢和 16Mn、15MnV 等低合金钢制作；可以用锻件或热轧厚钢板作坯料，当管板的厚度较大时，原则上使用锻件，因为钢板愈厚，其轧压比愈小，钢板内部缺陷存在的可能性愈大。

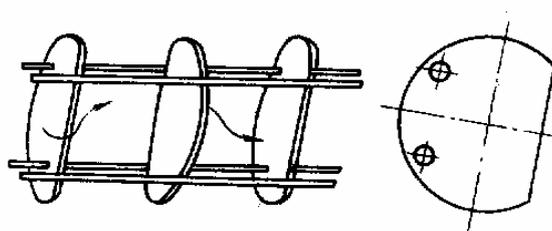
管板是典型的群孔结构，单孔质量会影响管板的整体质量，所以孔加工方法的选择至为重要。群孔加工有下列方法：

- (1) 单孔加工采用划线或模板进行单孔钻削，此时，钻孔效率低；质量也不易保证。
- (2) 多头钻效率高；质量也有所提高。
- (3) 数控钻钻孔质量高、效率也高；而适应性很强。

有时在所钻的孔内需开槽，可借助开槽器加工。加工管孔槽的刀片是一种一个槽、二个槽和三个槽的成型刀，多数采用一槽刀和二槽刀。管板孔的允许偏差和管间距的允许偏差分别列于表 2-25 和表 2-28。

3. 折流板等

下图为最常用的 20%DN 圆缺高度的弓形折流板，为保证加工精度和效率，常将圆板坯以 8~10 块为一叠进行钻孔和切削加工外圆，折流板孔的允许偏差列于表 2-26。



4. 管子

换热器的管表面就是传热面积。常用管子外径 10~57 (mm)；其长度一般用 2000、3000、6000 (mm) 等。管子应作下列试验：以管子数的 5%，且不少于 2 根作拉力、硬度和扩口等抽样检验；进行水压试验（试验压力为设计压力的 $(1.5 \sim 2)$ 倍，合格者才可使用。

如采用胀接，管子两端应作软化退火处理，使管端的硬度低于管板硬度；另外，还应对管端两倍于管板厚度的长范围内进行打磨，打磨后的粗糙度，钢管为

Ra12.5mm-Ra6.3mm；对铜及其合金管和不锈钢管为 Ra6.3mm-Ra3.2 mm。

表 2-25 管板孔的允许偏差

管子外径 mm	管板孔		折流板孔	
	孔径, mm	偏差, mm	孔径, mm	偏差, mm
14	14.4	+0.15 0	14.6	+0.40 0
19	19.4	+0.20 0	19.6	+0.40 0
25	25.4	+0.20 0	25.8	+0.40 0
32	32.5	+0.30 0	32.8	+0.45 0
38	38.5	+0.30 0	38.8	+0.45 0
57	57.7	+0.40 0	58.0	+0.50 0

表 2-26 管桥距离允许偏差

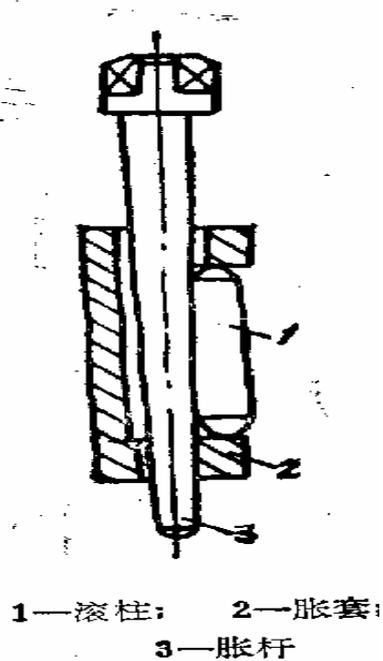
管子 外径 mm	管中 心距 mm	管孔最 大直径 mm	96%以上的管桥距离不小于下列规定, mm							
			管板厚度, mm							
			20	40	60	80	100	120	140	160
14	18.0	14.55	2.83	2.71	2.59	2.48	2.36	2.25	2.13	2.01
19	25.0	19.60	4.55	4.47	4.38	4.30	4.21	4.12	4.04	3.95
25	32.0	25.60	5.57	5.51	5.44	5.38	5.31	5.25	5.18	5.12
32	4.0	32.80	6.39	6.34	6.29	6.23	6.18	6.13	6.08	6.03
38	48.0	38.80	8.40	8.35	8.31	8.27	8.22	8.18	8.14	8.10
57	70.0	58.10	11.11	11.08	11.05	11.02	11.00	10.97	10.94	10.91

管子和管板的连接方式:

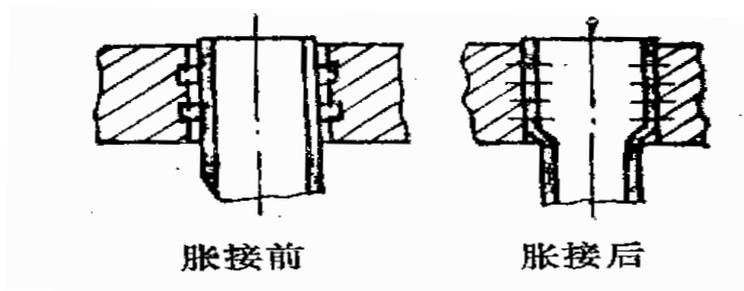
在换热器制造中,如何保证管子与管板间的紧密连接是十分重要的问题,要求连接的密封性好,有足够的抗拉脱力。

钢制换热器管子与管板的连接方式有胀接、焊接、爆炸胀接、胀接加焊接等。

(1) 胀接:将胀管器插入管口并顺时针旋转,将接触部分的管子端部胀大,使管子端部达到塑性变形,管板孔同时被胀大,产生弹性变形,当胀管器退出后,管板弹性恢复,使管子与管板的接触面产生很大的挤压力。因而管子与管板紧密结合,达到即密封又能抗拉脱的目的。如图。为了提高胀接强度,常在管板孔端开两道沟槽,使管壁金属塑性变形被挤压嵌入槽内。除上述一般使用的胀管器外还有翻边胀管器,滚压胀管器,以及国内不少厂家已采用的带有平面轴承并可调节胀接长度的胀管器等。



当管壁较厚，由于胀管挤压力不够就很难保证胀接质量，尤其管径小，管壁厚而弧度高的场合很少采用胀接，而是用焊接法把管子直接焊在管板上，如下图所示。



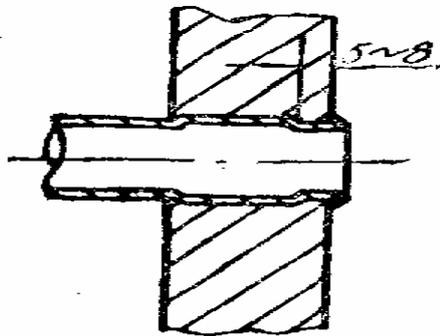
(2) 焊接

焊接法的应用比较广泛，特别是在设计温度高于 300°C 和温度有波动时，采用焊接法较为可靠。对不能胀接的管子管板（如管子、管板硬度相同，小直径厚壁管和大直径管子等）均可采用焊接。管子与管板的焊接，可用手工电弧焊，钨极氩弧焊，金属极氩弧焊等。在小管径且排列很密时，钨极氩弧焊是主要的方法：

(3) 胀接加焊接

在高温、高压下工作的换热器，由于管端工作条件恶劣，单纯胀接或焊接都难于满足要求时，采用焊接加胀接结构，这样就解决了高温时胀接应力松弛，胀口失效；焊口疲劳裂纹以及由于间隙存在腐蚀加快等问题。至于先胀后焊还是先焊后胀，则各有优缺点。一般来说先胀后焊，焊接时胀口的严密性在高温下会遭到破坏，而且胀接时的润滑油也会影响焊接质量。先焊后胀，焊接处易产生裂纹。一般倾向于先焊后胀。要消除胀

接时可能使焊口胀裂，胀接的节点设计中使管口有 5-8mm 的空胀段是比较合理的。如图所示。



管子与管板连接方法除了上述介绍的三种外，还有爆炸胀接。爆炸胀接是利用炸药瞬间所产生冲击波的巨大压力，迫使管子产生高速塑性变形，把管子与管板胀接在一起。一般来说管子与管板的连接方法的选择主要取决于换热器使用条件，管子管板材质及其规格等。

(4) 加强圈（补强圈）：换热器部分接管加有补强圈。

表 2-20 加强圈的制造过程

序号	工作内容	要求、制作方法、设备或工具
1	坯料准备	核对坯料材质和板坯尺寸
2	划 线	
3	下 料	气割切割外圆和内孔
4	去毛刺	角向砂轮
5	滚压成形	在 19×2000 卷板机上滚压，并用 R1333 卡板检验
6	切割内孔坡口及修磨	角向砂轮
7	划 线	划信号孔位置
8	M20 信号孔加工	先钻孔后攻丝

二、组装工艺

列管式换热器的组装工艺包括壳体、法兰的组装、焊接，管箱的组装、焊接、消除应力热处理、加工，以及管束的组装等。壳体与法兰焊接时，应保证法兰与筒体轴线的垂直；由于管箱焊缝密集，制作后应进行消除应力热处理（除不锈钢外）；管束组装时主要是穿管工作，工作量很大，目前多数是人工穿管，也有采用机械穿管。

三、列管式换热器的制造工艺流程

图 2-72 为定管板式换热器的制造流程图。为了进一步了解其过程，以列表形式（表 2-27）加以阐述。

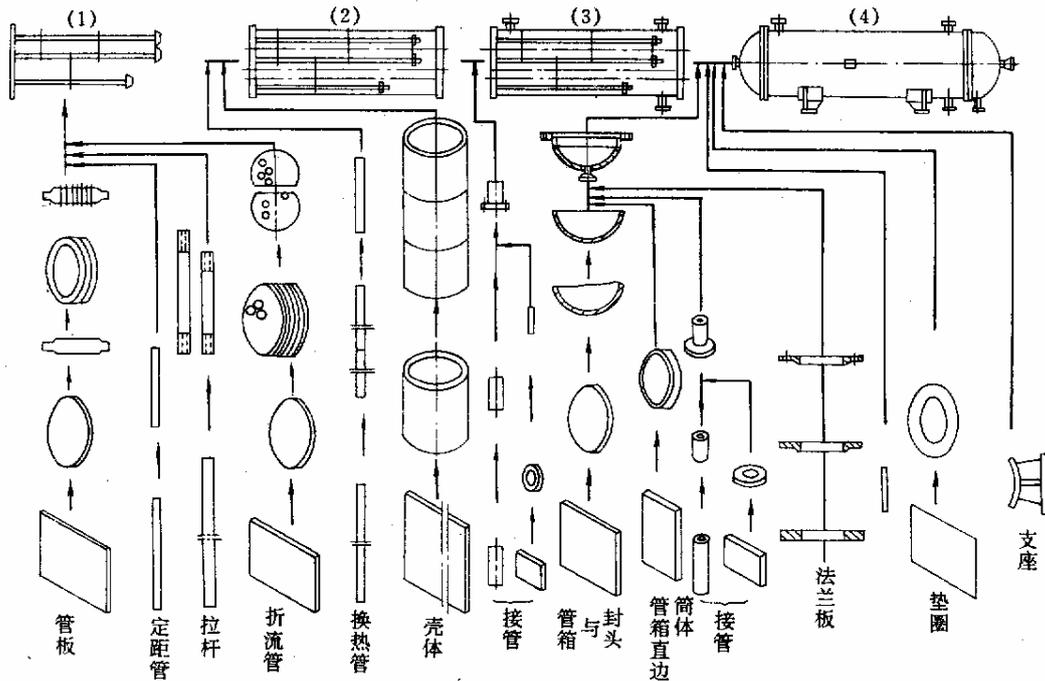


图 2-72 固定管板式换热器制造流程图

表 2-27 固定管板式换热器的制造顺序

序号	工作内容	制造顺序和 要求
1	穿管	将一管板直立作基准件→将拉杆拧紧在管板上→按图样将定距管和折流板穿在拉杆上→穿入全部换热管
2	壳体与管板的组装和焊接	套入壳体→装上另一块管板，将全部管子的右端穿入该管板孔内，矫正后，将管板与壳体定位焊→焊接管板与壳体的环向焊缝
3	管子与管板的连接	可用胀接或焊接，如为焊接：先定位焊两头的管子与管板→将换热器竖直→焊接一头的管板与全部管子的焊缝→调头后，焊接另一头的管板与全部管子的焊缝
4	装焊全部接管和支座	各接管方位正确
5	壳程水压试验	检查管子质量、管子与管板的连接质量、壳体与管板的焊接质量、壳体本身的纵向焊缝和横向焊缝质量
6	装封头和管箱	
7	管程水压试验	检查管板与管箱或封头的联接密封、封头或管箱与接管的焊缝质量
8	清理	
9	油漆	
10	出厂	

其它相关知识

一、在保证焊缝质量的前提下，选择焊接材料应考虑以下几方面：

1、考虑母材的机械性能、化学成份和特殊性能要求：每个焊件对焊缝金属都有特定的性能要求。如高温、耐蚀、动载等，要保证焊缝与母材具有同等水平的性能。

2、考虑焊件的结构复杂程度、刚性和焊缝位置、焊工劳动条件：对结构复杂、刚性大，母材中碳、硫、磷含量偏高或外界温度低，要求焊缝金属的抗裂性好则选用碱性

焊条。点固焊最好也用碱性焊条对不易清理干净的构件或位置，要选用酸性焊条，因它对铁锈、油污、水分不敏感。在通风条件不好或密封容器内焊接，则选用酸性焊条，全位置焊接最好选用能全位置焊的焊条。

3、考虑经济合理性：钛铁矿型焊条比钛钙型焊条便宜，如能保证性能要求，尽量选用成本低的焊条。

压力容器常用焊剂有：

焊剂 130（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 131（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 150（无锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 172（无锰、低硅、高氟焊剂）

焊剂 230（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 250（低锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 251（低锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 260（低锰、高硅、中氟焊剂）

焊剂 330（中锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 350（中锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 360（中锰、高硅、中氟焊剂）

焊剂 430（高锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 431（高锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 433（高锰、高硅、低氟焊剂）

二、焊接工艺评定

焊接工艺评定的实质是一种验证性试验，以验证产品焊接工艺的正确性。它是在制造前，按照所拟定的焊接工艺说明书，按标准规定焊接试件，并取样检验，以测定焊接接头是否具有所要求的使用性能。

三、进行焊接工艺评定的规定

按 JB3964-85 规定，凡未经评定的焊接工艺或改变已经评定合格的焊接工艺中的任一重要参数超出规定范围，均需进行焊接工艺评定。

《规程》规定：属于下列情况之一的要进行工艺评定：

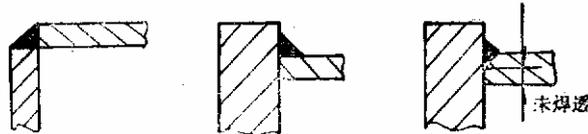
(1) 采用新材料试制的容器或施焊单位首次焊接的钢种；

(2) 焊接工艺参数改变或超过原定的范围，

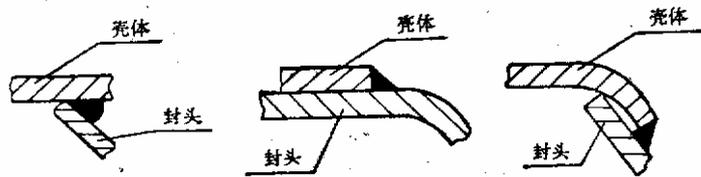
- (3) 需经过热处理改善机械性能的；
- (4) 改变焊接方法，
- (5) 改变焊接材料（焊条、焊丝、焊剂、保护焊的气体）

四、几种压力容器不准采用的连接型式

(1) 当两个零件连接处的接头焊缝尺寸小于壳体、封头或其它受压元件厚度或所连接的附件在该处形成偏心的焊接接头不允许使用。



(2) 如图所示壳体与封头的焊接接头不允许使用。



五、焊条规格的选择

焊条直径一般应根据构件厚度及焊接位置的不同来选择。焊条直径与工件厚度的关系可参考下表：焊条直径的选择

工作厚度 mm	焊条直径 mm
<4	2.5-3.2
>4-12	3.2-4
>12	>4

平焊位置选用的焊条直径要大些，而仰、横焊时要小些，对于根部要求焊透的角焊缝和对接焊缝的打底焊，也宜用直径较小的焊条。

六、手弧焊的主要优缺点：

(一) 优点

1、手弧焊适应性强，使用面广，特别适用于生产、检修和修复以及安装中的短焊缝的焊接。手弧焊自三十年代兴起以来，经过五十多年的试验研究与生产实践，其工艺日臻完善它可以焊接各种碳钢、低合金结构钢、不锈钢、铸铁以及部分高合金钢。也可以焊接铝、铜、镍及其合金。手工电弧焊方法的应用范围已涉及近 70%的可焊金属和 90%以上的常用金属材料。除 1mm 以下的极薄构件外，手弧焊几乎可以焊接一切壁厚的金属材料。

2、操作简便灵活，可达性强，对于焊缝的位置、形状、长短和宽窄无特别要求。尤其是可达性，手弧焊更优越于其他焊接方法。

3、使用的设备简单，维护方便，除了二十世纪 70 年代末、80 年代初推出的晶闸管控制焊接整流器和 80 年代中期兴起的晶体管控制逆变式弧焊机外，通常使用的交、直流手弧焊机的控制线路并不复杂，维护与检修都比较容易。

4、对焊接接头装配要求较低，手弧焊焊接过程是由焊工手工控制的，所以可以随时调整电弧位置和运条手势，修正焊接规范。

5、焊接质量较高，在通常规情况下，手弧焊可以获得满意的焊接质量。

（二）缺点

1、依赖性强，手弧焊的焊缝质量在很大程度上依赖于焊工的操作技能和现场发挥，对焊工的操作技能水平要求较高。

2、生产率较低，手弧焊与其他电弧焊方法（如埋弧焊、熔化极气体保护焊等）相比，一方面因为使用的焊接电流密度小，另一方面焊工每焊完一根焊条后必须更换焊条，再加上还要清渣，所以生产率低。

3、劳动条件差，手弧焊时，焊工手持焊钳进行作业，受电弧高温和弧光辐射，焊接区产生的大量气体和烟尘污染环境，尤其是在容器和狭小的管道内施焊，或工件需要预热焊接时，劳动条件将进一步恶化。

七、焊接材料

手弧焊的焊接材料就是焊条。焊条由焊芯和药皮组成。我国国家标准局将焊条按化学成分划分为若干类，并制订了相应的焊条型号和焊条标准。原国家机械工业委员会则在“焊接材料产品样本”中将焊条按用途划分为十大类，并制订了相应的焊条牌号和熔敷金属的主要性能数据。

焊条型号指的是国家规定的各类标准焊条，焊条牌号指的是有关工业部门或生产部门实际生产的焊条产品。

焊条还可以按其熔渣性质分为酸性焊条和碱性焊条两大类。熔渣以酸性氧化物为主的焊条称为酸性焊条。熔渣以碱性氧化物和氟化物为主的焊条称为碱性焊条。在碳钢和低合金钢焊条中，低氢型焊条（包括低氢钠型、低氢钾型和铁粉低氢型）是碱性焊条，其他涂料类型的焊条均属于酸性焊条。

酸性焊条的最大特点是对锈、油和水分的敏感性不大，抗气孔能力强；碱性焊条的最大特点是焊接接头中含氢量低，故称为低氢焊条。表 3-3 为酸性焊条和碱性焊条的特

性比较。产品设计或焊接工艺规程规定用碱性焊条时，则不能用酸性焊条代替。当酸性焊条和碱性焊条均满足焊接质量要求时，应尽量采用酸性焊条。因为酸性焊条具有优良的工艺性能和易于操作的长处，且有毒气体和烟尘比碱性焊条少，毒性也较小。

八、焊条用钢的分类

焊条用钢是专门为电弧焊和气焊而制造的一种特殊钢种，它专门用于制造焊条或作为埋弧焊、电渣焊、和气焊的焊丝。这类钢的硫、磷含量比一般钢要求严格，碳含量也较低。它只要求检验化学成分，不要求检验机械性能。

焊条用钢大致可分为碳素钢、合金结构钢和不锈钢三类，常用的钢丝有： H_{08} 、 H_{08A} 、 H_{08Mn} 、 H_{08MnA} 、 H_{15} 、 H_{15Mn} 、 H_{10Mn_2} 、 H_{10Mn_2MoA} 等，

焊条药皮的主要作用是：

(1) 保证电弧稳定燃烧。因焊条药皮中加入钾、钠、钙的化合物，能提高电弧稳定性，并易于引弧。

(2) 保证熔池不受空气侵蚀。药皮中加入了造渣剂，使熔渣复盖熔池表面，隔绝了空气，并使焊缝缓慢冷却。

(3) 对焊缝起还原金属和渗合金作用。在焊接时，在熔池下面进行着激烈的化学反应，使焊缝金属脱氧、脱硫、脱磷，并使药皮中的合金元素过渡到焊缝，得到纯净的高质量焊缝。

九、酸性焊条的应用

酸性焊条药皮中主要含有 TiO_2 、 MnO_2 、 FeO 、 SiO_2 等酸性氧化物及少量有机物，焊条药皮的氧化性较强，对金属有较强的氧化作用，药皮中合金元素烧损较大，焊缝金属中氧、氮含量较高，故机械性能特别是冲击韧性比碱性焊条低，酸性渣脱硫、磷困难，所以焊缝的抗裂性较差。熔渣多为长渣、仰焊较困难。但它工艺性能良好，成型美观，对锈、油污和水分的敏感性不大，焊条电流可用交流和直流，适用于一般低碳钢和不太重要的结构焊接。

十、碱性焊的特点和应用

碱性焊条药皮中主要有 $CaCO_3$ 、 CaF_2 、 K_2O 、 $MgCO$ 等碱性氧化物，并含有较多的铁合金，如锰铁、钛铁、等作为脱氧剂和合金剂，焊条具有足够的脱氧能力。碱性焊条的最大特点是焊缝中含氢量低，故称之低氢性型焊条。低氢型焊条有助于脱硫、脱磷作用，因此，它具有良好的抗裂性。焊缝金属的机械性能，特别是冲击韧性较高。广泛用于焊接重要的焊接结构，如二、三类压力容器焊缝必须使用低氢性型焊条。电弧稳定性差，并

要求短弧操作。碱性焊条的特点是对锈、油污及水份的敏感性大，焊接时使用不当容易产生气孔，使用前必须严格烘干，随用随取。由于它含有氟化氢气体，对人体有影响。多用于重要结构和刚性较大、裂纹敏感性较大的构件的焊接，适于全位置焊接。多数使用直流电源。

十一、焊条的牌号

焊条牌号按用途分类进行表示，如“结，表示结构钢焊条；‘热’表示耐热钢焊条；“奥”表示不锈钢焊条。汉字后面的数字是：前两位数字按用途分别表示焊缝金属抗拉强度或者是化学成分和产品编号，也有的是用途和产品编号。最后一位数字表示药皮类型和要求使用的电源，末末位数由 0 至 5 的六种焊条都属于酸性焊条。

选择焊接材料应考虑哪些方面?在保证焊缝质量的前提下，应考虑以下几方面：

1、考虑母材的机械性能、化学成份和特殊性能要求：每个焊件对焊缝金属都有特定的性能要求。如高温、耐蚀、动载等，要保证焊缝与母材具有同等水平的性能。

2、考虑焊件的结构复杂程度、刚性和焊缝位置、焊工劳动条件：对结构复杂、刚性大，母材中碳、硫、磷含量偏高或外界温度低，要求焊缝金属的抗裂性好则选用碱性焊条。点固焊最好也用碱性焊条对不易清理干净的构件或位置，要选用酸性焊条，因它对铁锈、油污、水分不敏感。在通风条件不好或密封容器内焊接，则选用酸性焊条，全位置焊接最好选用能全位置焊的焊条。

3、考虑经济合理性：钛铁矿型焊条比钛钙型焊条便宜，如能保证性能要求，尽量选用成本低的焊条。

压力容器常用焊剂有哪些？

焊剂 130（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 131（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 150（无锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 172（无锰、低硅、高氟焊剂）

焊剂 230（无锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 250（低锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 251（低锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 260（低锰、高硅、中氟焊剂）

焊剂 330（中锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 350（中锰、中硅、中氟焊剂）

焊剂 360（中锰、高硅，中氟焊剂）

焊剂 430（高锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 431（高锰、高硅、低氟焊剂）

焊剂 433（高锰、高硅、低氟焊剂）

实验二 模具拆装

1、实验准备

拆装的模具类型：塑料注射、冲压模具各若干副。

拆装工具：游标卡尺、角尺、内六角扳手、平行铁、台虎钳、锤子、铜棒等常用钳工工具。

小组人员分工：同组人员对拆装、观察、测量、记录、绘图等分工负责。

工具准备：领用并清点拆装和测量所用的工具，了解工具的使用方法及使用要求，将工具摆放整齐。

熟悉实训要求：要求复习有关理论知识，详细阅读实训指导书，对实训报告所要求的内容在实训过程中作详细的记录，拆装实训时带齐绘图仪器和纸张。

2、观察分析

接到具体要拆装的模具后，需对下述问题进行观察分析，并做好记录：

- (1) 模具类型分析 对模具进行类型分析与确定。
- (2) 产成品样件分析 根据模具分析确定被加工零件的几何形状及尺寸。
- (3) 模具的工作原理 要求分析其浇注系统类型、分型面及分型方式。冲压方式、顶出方式、落料方式等。
- (4) 模具的零部件 模具各零部件的名称、功用、相互配合关系。
- (5) 确定拆装顺序 拆卸模具之前，应先分清可拆卸和不可拆卸件，制定拆卸方案，经指导老师审查同意后方可拆卸。具体针对各种模具具体分析其结构特点，采用不同的拆装方法和顺序。

3、拆卸模具

按拟定的顺序进行模具拆卸

要求体会拆卸联结件的用力情况，对所拆下的每一个零件进行观察，测量并作记录。记录拆下零件的位置，按一定秩序摆放好，避免在组装时出现错误或漏装零件。

测绘主要零件

从模具中拆下的型芯、型腔等主要零件要进行测绘。要求测量尺寸、进行粗糙度估计、配合精度测估，画出零件图，并标注尺寸及公差。

拆卸注意事项

准确使用拆卸工具和测量工具，拆卸配合件时要分别采用拍打、压出等不同方法对待不同的配合关系零件。注意保护受力平衡，不可盲目用力敲打，严禁用铁钎头直接敲打模具零件。不可拆卸的零件和不宜拆卸的零件不要拆卸，拆卸过程中特别强调注意同学们的自身安全及不损坏模具各器械，拆装遇到困难时要分析原因，并可请教指导老师，遵守纪律，服从教师安排。

4、组装模具

(1) 拟定装配顺序

以先拆的零件后装，后装的零件先装为一般原则制定装配顺序。

(2) 按顺序装配模具

按拟定的顺序将全部模具零件装回原来的位置。注意正反方向，防止漏装。其它注意事项与拆卸模具相同，遇到零件受损不能进行装配时应学习用工具修复后再装配。

(3) 装配后的检查

观察装配后的模具与拆卸前是否一致，检查是否有错装或漏装等。

绘制模具总装草图

绘制模具总装草图时在图上记录有关尺寸。

5、实验报告

拆装实验后，按下列内容写成实训报告：

- (1) 绘制所拆装模具的结构草图，并填写零件明细表。
- (2) 绘制主要零件工作图（由教师指定）。
- (3) 简述模具工作原理（包括模具类型、名称、成型零件的结构特点）。
- (4) 对模具拆装实训的体会。

实验三 铝合金材料液态成型技术

一、训练目的

- 1、了解铸造生产工艺过程、特点和应用。
- 2、了解砂型的结构，分清零件、铸件和模样之间的差别。学会配砂、混砂和造型操作基本要领和规范。
- 3、了解型芯的作用、结构及制造方法。学会基本的制芯方法和要领。
- 4、了解电阻熔炼炉的结构及铝合金熔炼过程。掌握合金配料计算方法。
- 5、了解浇注系统的作用和组成。学会手工开设浇注系统。
- 6、了解常见的铸造缺陷及其产生的原因。
- 7、了解铸造生产的各项安全规程。

二、训练要求：

- 1、熟悉铸件分型面的选择，掌握手工两箱造型的操作技能，并能对铸件初步进行工艺分析。
- 2、掌握简单型芯的制造方法。
- 3、了解开炉、浇注操作的基本过程（教师演示、学生观摩）。
- 4、掌握铸件质量检测及控制方法。

三、训练内容

(一)、整模造型：

1、讲解示范：

(1)、要点

- ①、讲解铸造生产的安全操作规程。
- ②、铸造的概论：铸造的定义、铸造生产的工艺过程、铸造的特点、地位和作用。
- ③、整模造型的特点、操作步骤、要领及造型工具。
- ④、铸件对型砂组成、性能的要求。介绍混砂工艺。
- ⑤、铸型的组成、分型面的选择和浇注系统的作用。
- ⑥、在授课过程中，简单介绍当今铸造生产的发展情况，并结合整模造型的特点，启发学生开拓思路，激发学生的创新思维。示范制备一个整模造型的铸型，讲解模型的制备及铸造工艺对模型的要求；讲解修型要领、所用工具，以及安全事项。

(2)、要求

- ①、学生独立完成整模造型的操作过程，掌握各种工具的使用方法。
- ②、学生在操作过程中要严格执行操作规程。

2 、学生操作

指导学生独立完成训练件的整模两箱造型。

3 、操作测试

4 、训练小结

根据学生造型中出现的问题，分析原因。

(二)、分模造型：

1 、讲解示范

(1)、要点

- ①、强调铸造生产的安全操作规程
- ②、根据训练件图纸，分析其技术要求及铸件的结构工艺性。
- ③、根据分模模样、芯盒，引导学生讨论模样、芯盒、铸件和零件之间的区别与联系。
- ④、讨论操作步骤，按学生理解的状况进行部分或全部的示范。
- ⑤、结合分模造型的特点，启发学生开拓思路，激发学生的创新思维。

(2)、要求

- ①、学生掌握分模造型的操作方法，并按规定独立完成操作。
- ②、学生能够区分整模造型与分模造型各自的特点，及所适用的场合。

2 、学生操作

指导学生按图纸的要求，独立完成分模造型的操作。

3 、操作测试

4 、训练小结

根据学生造型中出现的问题，分析原因。

(三)、挖砂造型：

1 、讲解示范

(1)、要点

- ①、强调铸造生产的安全操作规程。
- ②、讲解挖砂造型的技术要求和铸件结构的工艺性。
- ③、讲解挖砂造型分型面的选择原则，以及与整模、分模造型分型面的区别。

④、示范操作，讲解操作要领和工具的使用方法。

⑤、结合挖砂造型的特点，启发学生开拓思路，激发学生的创新思维。

(2)、要求

①、学生掌握挖砂造型的操作方法，并按规定独立完成操作。

②、学生能够区分整模、分模和挖砂造型各自的特点，及所适用的场合。

2、学生独立操作

指导学生独立完成挖砂造型的操作。

3、操作测试

4、训练小结

根据学生造型中出现的问题，分析原因。

(四)、开炉、浇注操作及铸件清理

提前布置各种 Al—Si 合金牌号配方，由学生组合选择某种合金，进行配料计算（在课余时间完成），在实验室完成炉料准备

(1)要点

①、强调熔炼浇注的安全、技术操作规程。

②、讲解金属熔炼方式，电阻炉结构组成。测温方式。

③、讲解铝合金熔炼工艺，加料顺序、精练变质方法。示范精练效果检验。

④、讲解熔炼、浇注用基本工具和作用。浇注要领。

⑤、铸件清理方法及注意事项。

(2)要求

①、学生掌握合金的配料计算和物料准备。

②、学生掌握熔炼的操作方法和要领。

(五)、铸造缺陷的分析及金相组织观察

1、根据带铸造缺陷的铸件，简要分析铸件缺陷产生的原因，讲解在生产过程中的应该注意的问题。

2、取样、磨样、金相组织观察

(六)、训练总结

实验四 常用材料热处理工艺

一、训练目的

1. 初步掌握热处理基本操作（正火、退火、淬火和回火）和工艺制定原则。
2. 了解碳钢热处理后基本组织和性能。
3. 结合工业生产实际，熟悉一些典型零件的加工工艺过程和热处理质量控制与要求。
4. 启迪学生的科学思维方法，提高发现、分析和解决问题能力，真正具备贴近企业、贴近岗位的实践能力。

二、训练内容概述

选用普通碳钢材料和工业用典型零件，在教师指导下进行钢件普通热处理（正火、退火、淬火和回火）操作，讨论加热温度、冷却速度和回火温度等主要因素对碳钢热处理后的性能的影响；结合生产实际熟悉一些典型零件的制造工艺流程、热处理设备、热处理工艺特点和质量控制要求等。

热处理是一种很重要的金属加工工艺方法，也是充分发挥金属材料性能潜力的重要手段。热处理的主要目的是改变钢的性能，其中包括使用性能及工艺性能。钢的热处理工业特点是将钢加热到一定温度，经一定时间的保温，然后冷却下来，通过这样的工艺过程使钢的性能发生变化。

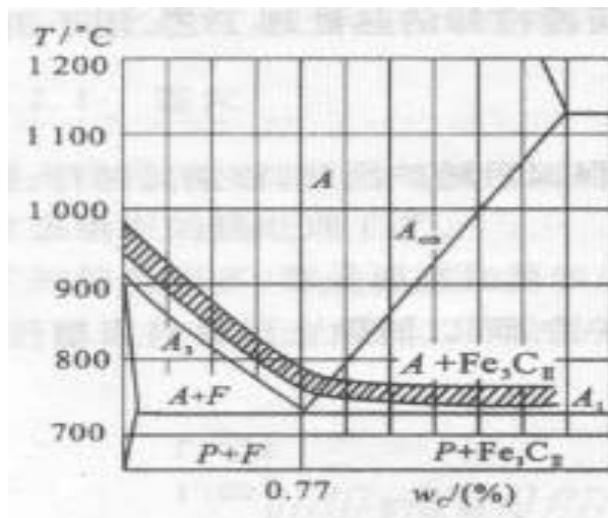
（一）钢的普通热处理

1. 钢的淬火

所谓淬火就是将钢加热到 A_{c3} （亚共析钢）或 A_{c1} （过共析钢）以上 $30\sim 50$ $^{\circ}\text{C}$ ，保温后放入各种不同的冷

却介质中（ $V_{\text{冷}}$ 应大于 $V_{\text{临}}$ ），以获得马氏体组织。碳钢经淬火后的组织由马氏体及一定数量的残余奥氏体所组成。

为了正确地进行钢的淬火，必须考虑下列三个重要因素：淬火加热的温度、



保温时间和冷却速度。

(1) 淬火温度的选择

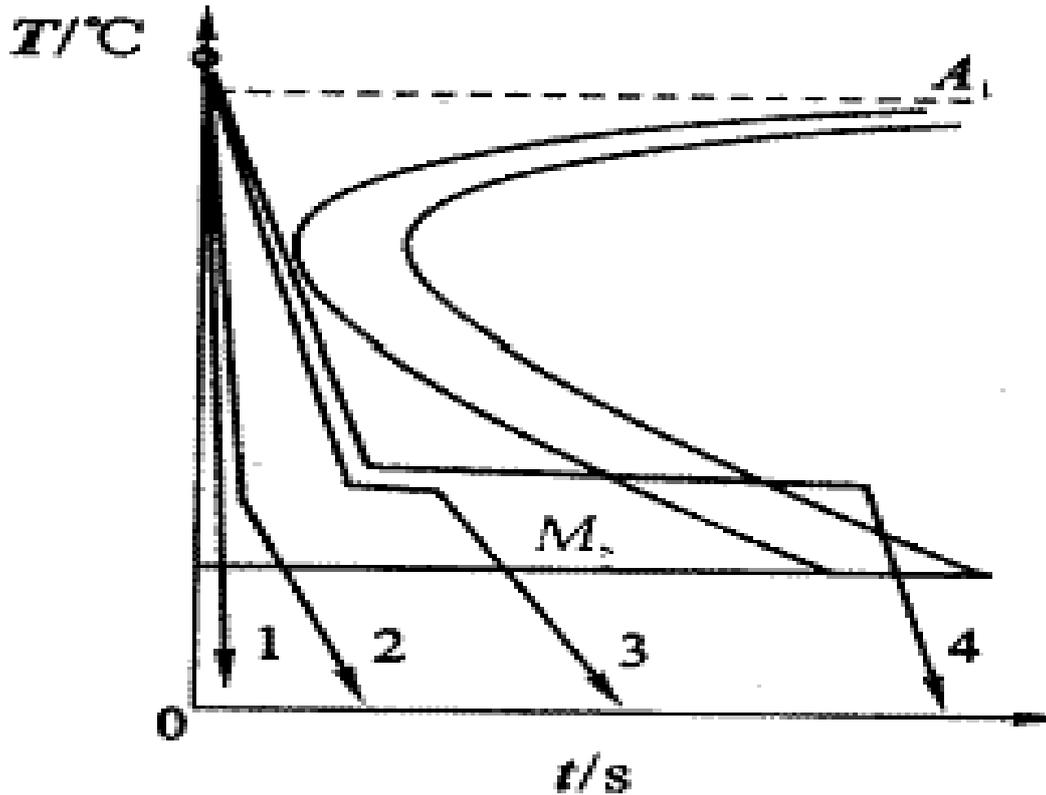
选定正确的加热温度是保证淬火质量的重要环节。淬火时的具体加热温度主要取决于钢的含碳量，可根据 $Fe-Fe_3C$ 相图确定（如图 4 所示）。对亚共析钢，其加热温度为 $A_3 + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，若加热温度不足（低于 A_3 ），则淬火组织中将出现铁素体而造成强度及硬度的降低。对过共析钢，加热温度为 $A_1 + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，淬火后可得到细小的马氏体与粒状渗碳体。后者的存在可提高钢的硬度和耐磨性。

(2) 保温时间的确定

淬火加热时间是将试样加热到淬火温度所需的时间及在淬火温度停留保温所需时间的总和。加热时间与钢的成分、工件的形状尺寸、所需的加热介质及加热方法等因素有关，一般可按照经验公式来估算，碳钢在电炉中加热时间的计算如表 1 所示。

表 1 碳钢在箱式电炉中保温时间的确定

加热温度 ($^\circ\text{C}$)	工 件 形 状		
	圆 柱 形	方 形	板 形
	保 温 时 间		
	分钟/每毫米直径	分钟/每毫米厚度	分钟/每毫米厚度
700	1.5	2.2	3
800	1.0	1.5	2
900	0.8	1.2	1.6
1000	0.4	0.6	0.8



(3) 冷却速度的影响

冷却是淬火的关键工序，它直接影响到钢淬火后的组织和性能。冷却时应使冷却速度大于临界冷却速度，以保证获得马氏体组织；在这个前提下又应尽量缓慢冷却，以减少钢中的内应力，防止变形和开裂。为此，可根据C曲线图（如图2所示），使淬火工作在过冷奥氏体最不稳定的温度范围（650~550℃）进行快冷（即与C曲线的“鼻尖”相切），而在较低温度（300~100℃）时冷却速度则尽可能小些。为了保证淬火效果，应选用合适的冷却方法（如双液淬火、分级淬火等）。不同的冷却介质在不同的温度范围内的冷却速度有所差别。

2. 钢的回火

钢经淬火后得到的马氏体组织硬而脆，并且工件内部存在很大的内应力，如果直接进行磨削加工往往会出现龟裂；一些精密的零件在使用过程中将会由于变形引起尺寸变化而失去精度，甚至开裂。因此钢淬火后必须进行回火处理。不同的回火工艺可以使钢获得所需的性能。表4-2为45钢淬火后经不同温度回火后的组织及性能。对碳钢来说，回火工艺的选择主要是考虑回火温度和保温时间这两个因素。

表 2 45#钢淬火及不同温度回火后的组织和性能

处理类型	回火温度 (°C)	回火硬 度 (HRC)	回火组织	性能特点
低温回火	150~250	60~57	回火 M+A' + K	硬度高，内应力减小
中温回火	350~500	35~45	回火屈氏体	硬度适中，又较高的弹性
高温回火	500~650	20~33	回火索氏体	具有良好塑性、韧性和一 定强度相配合的综合性能

回火温度：在实际生产中通常以图纸上所要求的硬度要求作为选择回火温度的依据。各种钢材的回火温度与硬度之间的关系曲线可从有关手册中查阅。几种常用的碳钢（45、T8、T12 钢）回火温度与硬度的关系如表 3 示。

表 3 几种钢材在不同温度回火后的硬度值（HRC）

回火温度 (°C)	45 钢	T8 钢	T12 钢
150~200°C	60~54	64~60	65~62
200~300°C	50~40	55~45	62~57
300~400°C	50~40	55~45	57~49
400~500°C	40~33	45~35	49~38
500~600°C	33~24	35~27	38~28

也可以采用经验公式近似地估算回火温度。例如 45 钢回火温度的经验公式为： $T(^{\circ}\text{C}) \approx 200 + K(60 - x)$ 式中：K——系数，当回火后要求的硬度值 $> \text{HRC}30$ 时， $K=11$ ； $< \text{HRC}30$ 时， $K=12$ 。x——所要求的硬度值（HRC）。

保温时间：回火保温时间与工件材料、尺寸及工艺条件等因素有关，通常采用 1~3 小时。根据实际实验用试样大小，规定回火保温时间分别为高、中温回火 90 分钟，低温回火为 60 分钟。回火后试样在空气中冷却。

3. 钢的退火和正火

钢加热到一定温度保温后缓慢冷却（通常随炉冷却）至 500℃ 以下空冷叫退火，得到接近平衡态的组织。退火的目的是稳定组织，消除内应力，降低硬度，以利于进一步机加工，对于亚共析钢加热温度选择为 AC_3 （20~50）℃，过共析钢为 AC_1 （20~50）℃。

奥氏体化的钢在空气中冷却叫正火，得到先共析钢铁素体（或渗碳体）加珠光体。正火的主要目的是细化晶粒，为后续的热处理做准备。对于亚共析钢加热温度选择为 AC_3 （30~50），过共析钢为 AC_1 （30~50）℃。

退火和正火可作为钢材的预先热处理，也可以是最终热处理。

淬火和随后的回火处理经常要作为零件的最终热处理，若制定的热处理工艺不正确，将使产品达不到性能要求，以至于必须重新处理甚至使工件报废。因此，正确的选择热处理规范是热处理成功的基本保证。

（二）化学热处理（渗碳、渗氮）

化学热处理是将钢件置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入钢件表面，改变其化学成分和组织，达到改进表面性能，满足技术要求的热处理工艺。

1. 渗碳

（1）渗碳的目的和应用

渗碳是将钢件置于渗碳介质中，加热到单相奥氏体区，保温一定的时间，使碳原子渗入工件表面层的热处理工艺。经过渗碳处理的钢件再经过适当的淬火和回火处理后，可提高表面硬度、耐磨性及疲劳强度，而心部仍保持一定的强度和良好的塑性和韧性，主要用于受严重磨损和较大冲载荷的零件。

（2）渗碳适用的钢种

一般渗碳材料为低碳钢和低合金钢，只有这样才能在渗碳及后续的热处理后保证在表面具有高的硬度、耐磨性和疲劳强度的同时具有心部高的韧性。

（3）渗碳方法

按照渗碳介质的状态，一般分为固体渗碳、液体渗碳和气体渗碳三种。渗碳后的缓冷组织由表至里依次为珠光体和渗碳体、珠光体、珠光体和铁素体。

渗碳零件的加工工艺路线：锻造——正火——切削加工——渗碳——淬火——低温回火——（喷丸）——磨削加工

（4）渗碳后淬回火工艺与性能

渗碳后一般可直接淬火或在工件冷却后重新加热到临界温度以上保温后淬火；对于力学性能要求很高的或本质粗晶粒钢，应采用二次加热淬火。

渗碳后淬回火的钢件表面硬度高，耐磨性好，心部韧性好，硬度低。抗疲劳强度高。

2. 渗氮

(1) 渗氮的目的和应用

渗氮是在一定的温度下，使活性氮原子渗入到工件表面的化学热处理工艺，其目的是在于提高材料的表面硬度、疲劳强度、耐磨性和耐蚀性。

(2) 渗氮适用的钢种

一般碳钢材料的渗氮层硬度并不高，为了提高渗氮层的硬度，应选用含 AL、CR、MN、MO、V 等合金元素的专用钢材，以形成高度弥散的、硬度极高且非常稳定的弥散分布的合金氮化物。

(3) 渗氮方法

常用的渗氮工艺有等温渗氮和两段渗氮。

渗氮件的加工工艺路线通常为锻造——退火——粗加工——调质——精加工——去应力退火——粗磨——渗氮——精磨或研磨。

渗氮层一般为 0.1mm ~0.6mm，表层硬度可达 1000HV~1200HV，具有很好的耐磨性，硬度也很高，即使在 600℃~500℃也不降低，即具有良好的热硬性。

3. 渗层测量

渗层深度即工件表面组织至出现钢材的原始组织止。测量渗层深度一般采用显微硬度法和金相法。金相法是指在显微镜下通过测微目镜对渗层进行测量的方法。

三、训练用设备、材料和场地

(一) 训练用设备

1. 实验用箱式电阻炉
2. 台车式电阻炉
3. 氮化炉
4. 渗碳炉
5. 感应加热设备
6. 井式回火炉
7. 冷却水槽、油槽
8. 硬度计、温度计

9. 金相显微镜及显微拍照系统

(二) 训练用材料

1. 普通碳钢
2. 典型机械加工零件
3. 细铁丝
4. 夹钳、虎钳、钩子、
5. 金相砂纸、呢绒
6. 化学试剂

(三) 训练用场地

1. 热处理室
2. 金相制样室
3. 金相显微镜室
4. 校外企业

四、训练方法和步骤

(一) 金属材料普通热处理部分

1. 根据设备情况，每 4 个同学为一组。
2. 领取给定的试样，并用细铁丝将试样捆扎好。
3. 检查设备接地良好和其它注意事项。
4. 熟悉工艺内容：包括加热温度、保温时间、冷却条件以及装、出炉要求。
5. 进行热处理退火、正火和淬火、回火操作。
6. 抽检热处理后试样的硬度。
7. 金相试样制备。
8. 金相组织观察与分析。
9. 数据整理。

(二) 机械加工零件及其热处理

在完成基本热处理训练后，结合工业生产实际，选择一些典型零件进行综合性训练。

1. 分组：每 8 人一组。
2. 了解一般热处理设备和控温装置。
3. 识别零件图纸和技术要求，了解其加工工艺路线和热处理工艺。
4. 在师傅的指导下进行热处理操作。

5. 按图纸或标准要求对热处理后的零件进行质量检验。
6. 化学热处理金相组织观察和渗层测量。
7. 数据整理

五、训练报告

1. 简述金属材料工程训练目的。
2. 简述你所了解的热处理设备和用途。
3. 普通热处理部分：
 - (1) 钢件为什么要进行热处理？热处理退火、正火以及淬火和回火的目的是什么？
 - (2) 常用的冷却介质有那些？热处理冷却时，搅拌速度会影响组织吗？为什么？
 - (3) 选择 2~3 个典型组织拍摄显微照片，注明材料、热处理条件。
 - (4) 对以上组织进行分析。
4. 典型零件及其热处理部分
 - (1) 绘制出你所处理的零件草图，说明零件名称、材料、加工工艺流程。
 - (2) 零件在热处理前有那些技术要求？
 - (3) 热处理工艺过程描述：包括使用设备、加热和冷却条件等。
 - (4) 热处理后的质量检验：包括检验项目、检验方法、检验仪器和检验结果。
 - (5) 结合热处理工艺，对随炉试样的金相组织进行分析。
 - (6) 操作中的注意事项有那些？
5. 训练心得（不少于 500 字）