

第十章 压力容器的焊接技术

随着工程焊接技术的迅速发展，现代压力容器也已发展成典型的全焊结构。压力容器的焊接成为压力容器制造过程中最重要最关键的一个环节，焊接质量直接影响压力容器的质量。

第一节 碳钢、低合金高强钢压力容器的焊接

一、 压力容器用碳钢的焊接

碳钢以铁为基础，以碳为合金元素，含量一般不超过 $\%$ 。此外，含锰量不超过 $\%$ ，含硅量不超过 $\%$ ， P 、 S 皆不作为合金元素。而其他元素，如 Ni 、 Cu 等，控制在残余量限度内，更不是合金元素。 N 、 O 、 H 等作为杂质元素，根据钢材品种和等级，也都有严格限制。

碳钢根据含碳量的不同，分为低碳钢($\leq 0.25\%$)、中碳钢($0.25\% \sim 0.60\%$)、高碳钢($\geq 0.60\%$)。压力容器主要受压元件用碳钢，主要限于低碳钢。在《容规》中规定：“用于焊接结构压力容器主要受压元件的碳素钢和低合金钢，其含碳量不应大于 0.25% 。在特殊条件下，如选用含碳量超过 0.25% 的钢材，应限定碳当量不大于 0.45% ，由制造单位征得用户同意，并经制造单位压力容器技术总负责人批准，并按相关规定办理批准手续”。

常用的压力容器用碳钢牌号有 Q235 、 Q345 、 Q355 等。

(一) 低碳钢焊接特点

低碳钢含碳量低，锰、硅含量少，在通常情况下不会因焊接而引起严重组织硬化或出现淬硬组织。这种钢的塑性和冲击韧性优良，其焊接接头的塑性、韧性也极其良好。焊接时一般不需预热和后热，不需采取特殊的工艺措施，即可获得质量满意的焊接接头，故低碳钢具有优良的焊接性能，是所有钢材中焊接性能最好的钢种。

(二) 低碳钢焊接要点

(1) 埋弧焊时若焊接线能量过大，会使热影响区粗晶区的晶粒过于粗大，甚至会产生魏氏组织，从而使该区的冲击韧性和弯曲性能降低，导致冲击韧性和弯曲性能不合格。故在使用埋弧焊焊接，尤其是焊接厚板时，应严格按经焊接工艺评定合格的焊接线能量施焊。

(2) 在现场低温条件下焊接、焊接厚度或刚性较大的焊缝时，由于焊接接头冷却速度较快，冷裂纹的倾向增大。为避免焊接裂纹，应采取焊前预热等措施。

二、 压力容器用低合金高强钢及其焊接特点

在钢中除碳外少量加入一种或多种合金元素(合金元素总量在%以下),以提高钢的力学性能,使其屈服强度在 以上,并具有良好的综合性能,这类钢称之为低合金高强钢,其主要特点是强度高、塑性和韧性也较好。按钢的屈服强度级别及热处理状态,压力容器用低合金高强钢可分为二类。

① 热轧、正火钢 屈服强度在 之间,其使用状态为热轧、正火或控轧状态,属于非热处理强化钢,这类钢应用最为广泛。

② 低碳调质钢 屈服强度在 之间,在调质状态下使用,属于热处理强化钢。其特点是既有高的强度,且塑性和韧性也较好,可以直接在调质状态下焊接。近年来,这类低碳调质钢应用日益广泛。

目前应用于压力容器的低合金高强钢。钢板牌号有:、、、等。锻件牌号有、、、等。

低合金高强钢的含碳量一般不超过%,合金元素总量一般不超过%。正是由于低合金高强钢含有一定量的合金元素,使其焊接性能与碳钢有一定差别,其焊接特点表现在:

(一) 焊接接头的焊接裂纹

() 冷裂纹 低合金高强钢由于含使钢材强化的、、、等元素,在焊接时易淬硬,这些硬化组织很敏感,因此,在刚性较大或拘束应力高的情况下,若焊接工艺不当,很容易产生冷裂纹。而且这类裂纹有一定的延迟性,其危害极大。

() 再热 () 裂纹 再热裂纹是焊接接头在焊后消除应力热处理过程或长期处于高温运行中发生在靠近熔合线粗晶区的沿晶开裂。一般认为,其产生是由于焊接高温使附近的、、、等碳化物固溶于奥氏体中,焊后冷却时来不及析出,而在时呈弥散析出,从而强化了晶内,使应力松弛时的蠕变变形集中于晶界。

低合金高强钢焊接接头一般不易产生再热裂纹,如、等。但对于和系低合金高强钢,如,由于、、是促使再热裂纹敏感性较强的元素,因此这一类钢在焊后热处理时应注意避开再热裂纹的敏感温度区,防止再热裂纹的发生。

(二) 焊接接头的脆化和软化

() 应变时效脆化 焊接接头在焊接前需经受各种冷加工(下料剪切、筒体卷圆等),钢材会产生塑性变形,如果该区再经 °C的热作用就会引起应变时效。应变时效脆化会使钢材塑性降低,脆性转变温度提高,从而导致设备脆断。

可消除焊接结构这类应变时效,使韧性恢复。《钢制压力容器》作出规定,圆筒钢材厚度 δ 符合以下条件:碳素钢、的厚度不小于圆筒内径的%;其他低合金钢的厚度不小于圆筒内径的%。且为冷成形或中温成形的受压元件,应于成形后进行热处理。

() 焊缝和热影响区脆化 焊接是不均匀的加热和冷却过程，从而形成不均匀组织。焊缝()和热影响区()的脆性转变温度比母材高，是接头中的薄弱环节。焊接线能量对低合金高强钢和性能有重要影响，低合金高强钢易淬硬，线能量过小，会出现马氏体引起裂纹；线能量过大，和的晶粒粗大会造成接头脆化。低碳调质钢与热轧、正火钢相比，对线能量过大而引起的脆化倾向更严重。所以焊接时，应将线能量限制在一定范围。

() 焊接接头的热影响区软化 由于焊接热作用，低碳调质钢的热影响区()外侧加热到回火温度以上特别是附近的区域，会产生强度下降的软化带。区的组织软化随着焊接线能量的增加和预热温度的提高而加重，但一般其软化区的抗拉强度仍高于母材标准值的下限要求，所以这类钢的热影响区软化问题只要工艺得当，不致影响其接头的使用性能。

三、 压力容器用低合金高强钢焊材选用

() 根据钢材不同的强度级别选择与母材强度相当的焊缝金属是这类钢焊材选用的基本原则，当然，与此同时还要根据产品的使用条件、产品结构和板材厚度等因素，综合考虑焊缝金属的韧性、塑性和焊接接头的抗裂性。只要焊缝强度不低于或略高于母材标准抗拉强度的下限值即可。若选择的焊材焊缝金属强度过高，将会导致接头的韧性、塑性及抗裂性降低，接头的弯曲性能不易合格。

() 由于这类钢都具有不同程度的冷裂纹倾向，所以，在等强度原则的前提下，严格控制焊材中的氢含量是非常重要的，应尽量选用低氢型的焊材。对于强度较高的低碳调质钢焊接时，更是如此，甚至要选择超低氢型的焊材，并严格控制焊材的存放和使用。

() 考虑焊后加工工艺的影响。对焊后需经热处理、热卷（热弯）的焊件，应考虑焊缝金属经受高温处理作用对其力学性能的影响，应保证焊缝金属经热处理后仍具有要求的强度、塑性和韧性等。例如，对于压力容器常见的钢的埋弧焊，一般情况下选用焊丝焊剂即可。但对于焊后需经正火温度下冲压的封头拼板焊缝，其焊材选用应适当提高一档，使用焊丝焊剂，可弥补其强度损失。

四、 压力容器用低合金高强钢焊接要点

() 选用低氢或超低氢高韧性的焊材，且重视烘干、保存以及坡口的清理，以减少焊缝中的扩散氢。

() 为了避免热影响区粗晶区的脆化，一般应注意不要使用过大的线能量。对于含碳量偏下限的钢焊接时，焊接线能量没有严格的限制，因为这种钢焊接热影响区脆化倾向较小，但对于含钒、铌、钛等微合金化元素的钢，则应选用较小的焊接线能量。

() 对于碳及合金元素含量较高、屈服强度也较高的低合金高强钢，如，由于这种钢淬硬

倾向较大，又要考虑其热影响区的过热倾向，则在选用较小线能量的同时，还要增加焊前预热、焊后及时后热等措施。

() 焊接低碳调质钢时，为了使热影响区保持良好的韧性，同时使焊缝金属既有较高的强度又有良好的韧性，这就要求焊缝金属得到针状铁素体组织，而这种组织只有在较快的冷却条件下才能获得，为此要严格控制焊接线能量，不推荐采用大直径的焊条和焊丝，且要采用多道多层的窄焊道焊，尽量不作横向摆动的运条方式。为防止冷裂纹的产生，焊前需要预热，但应严格控制预热温度，预热温度过高，会使热影响区冷却速度过于缓慢，从而在该区内产生马氏体奥氏体混合组织和粗大的贝氏体，使强度下降，韧性变坏。一般要求最高预热温度不得高于推荐的最低预热温度加 $^{\circ}\text{C}$ 。采用低温预热加后热的方法既可防止低碳调质钢产生冷裂纹，又可减轻或消除预热温度过高带来的不利影响。

() 加强对焊接接头的无损检测，对再热裂纹敏感的钢种，应在前后都要做射线或超声检测。

五、 低合金高强钢压力容器焊接实例

直径为，壁厚为的缓冲罐（图），壳体材质为，其主要承压焊缝的焊接工艺见表。

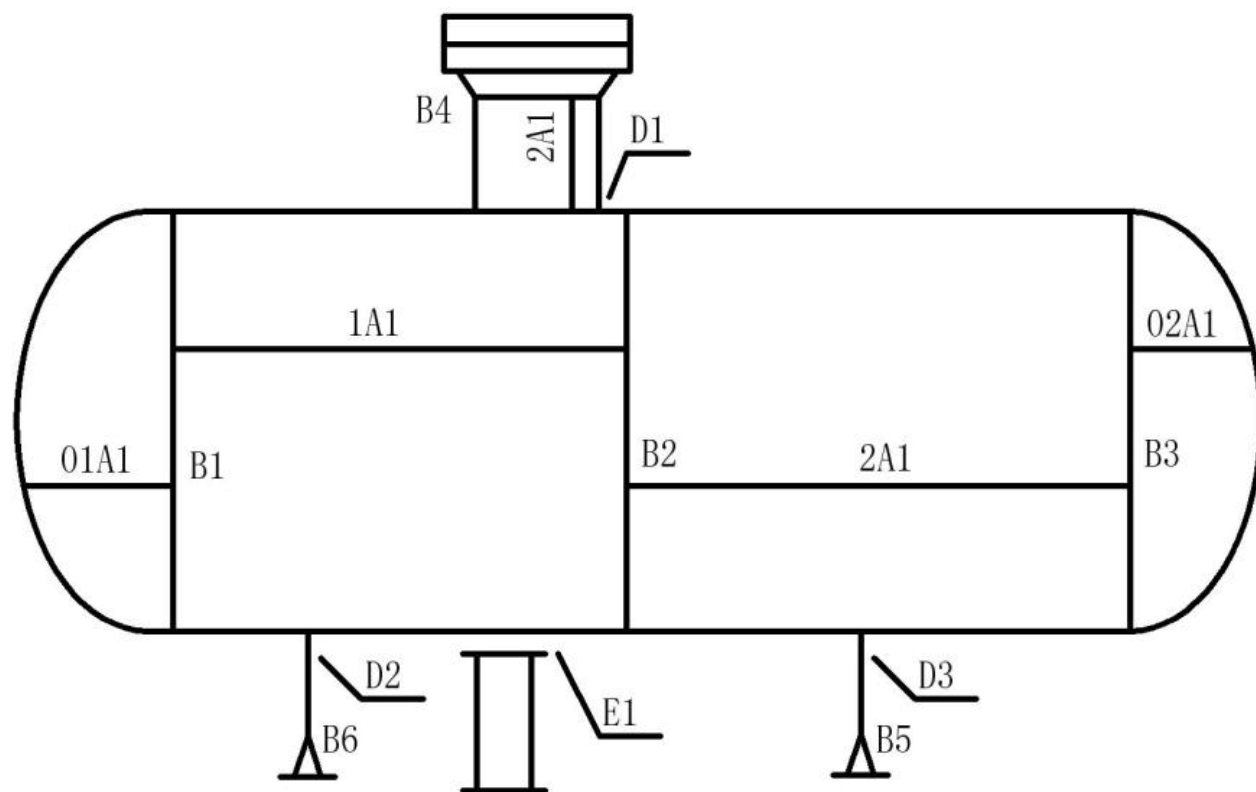


图 缓冲罐筒图

表 缓冲罐焊接工艺

焊缝编号	焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
、	封头拼缝	双面		①
、、、	壳体纵、环缝	双面		②
	壳体环缝(大合拢)	内 外		③

焊缝编号	焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
	人孔接管与对应法兰环缝 人孔、小接管与壳体角焊缝	双面		④
	小接管与对接法兰环缝	打底 盖面		⑤
	鞍座与壳体焊接角焊缝	(焊)		⑥

说明：

① 封头拼缝在平板状态下焊接完成后，需再经过 $^{\circ}\text{C}$ 的加热后进行冲压成形，故拼缝要经过以上温度的加热，焊缝的力学性能不仅取决于化学成分，而且和焊缝的组织状态有很大关系。虽然焊缝的含碳量要比母材低很多，但由于焊接是一个局部加热过程，冷却速度很大，因此焊缝呈现为一种柱状晶的特殊的过饱和铸造组织，其中少量的马氏体主要靠碳的固溶强化存在，而低碳马氏体的亚结构存在许多位错，过饱和的固溶的碳就聚集在位错周围，起着钉扎位错的作用，使位错难于运动，马氏体便不易变形而呈现强化焊缝的作用。经过以上的温度加热后，焊缝组织从柱状晶变成了等轴晶，打破了原来的亚结构状态，使过饱和程度降低，其碳的固溶强化作用也随之降低了，所以势必焊缝强度降低。为了弥补上述情况造成的焊缝强度降低，只有调整焊缝的化学成分，使用合金元素更多一些的、强度高一档的焊丝来焊接热压封头拼缝。

② 壳体纵、环缝焊接条件好，考虑到板厚因素，从提高效率、保证焊接质量出发，选用双面埋弧焊，焊丝啊等强度原则选用。

③ 设备大合拢焊缝，考虑到设备因素，内焊缝采用埋弧焊较困难，故内侧采用焊条电弧焊、外侧采用碳弧气刨清根后再进行外环缝埋弧焊。焊缝距人孔较近，故将其为大合拢焊缝。

④ 人孔接管与人孔法兰环缝，由于人孔直径较大，故采用焊条电弧焊进行双面焊。对于人孔、小接管与壳体角焊缝，鉴于此部位焊缝形状和焊接条件，一般选用焊条电弧焊进行双面焊。

⑤ 对于小直径接管环缝，由于只能单面焊，又要保证质量，选用焊打底是保证焊缝质量最有效的方法。为焊材牌号，其焊材型号为 ()

⑥ 鞍座与壳体焊接角焊缝属非承压焊缝，采用熔化极气体保护焊(保护气体为纯)，效率高，焊缝成形好。为焊材牌号，其焊材型号为 ()

第二节 耐热钢压力容器的焊接

一、 压力容器用耐热钢及其焊接性

在普通碳钢中加入一定量的合金元素，以提高钢的高温强度和持久强度，就形成了低合金耐热钢，对于压力容器用低合金耐热钢，为改善其焊接性能，常常把碳含量控制在%以下。这类钢通常以退火态或正火回火状态交货。由于合金含量在%以下的低合金耐热钢具有珠光体铁素体组织，故也经常称为珠光体耐热钢，如。合金含量在% %之间的低合金耐热钢供货状态为贝氏体铁素体组织，故也称为贝氏体耐热钢，如。

压力容器上使用的低合金耐热钢主要是以加入铬和钼元素或辅以加入少量的钒、钛等元素来提高钢的蠕变强度和组织稳定性，所以也经常称之为耐热钢或系耐热钢。也正由于这一类钢在耐高温的同时还具有良好的抗氢腐蚀性能，为此，或系的低合金耐热钢亦经常称为抗氢钢。

作为耐热钢，除上面已讲到的低合金耐热钢外，还有合金含量在在% %之间的中合金耐热钢，如、，和合金大于%的高合金耐热钢，如。由于在压力容器中这两类耐热钢并不多见，本节以叙述低合金耐热钢为主。

为保证耐热钢焊接接头在高温、高压和各种腐蚀介质条件下长期安全的运行，其焊接接头性能应满足下列几点要求。

- ① 接头的等强性 耐热钢接头不仅应具有与母材基本相等的室温和高温短时强度，而且更重要的是应具有与母材相近的高温持久强度。
- ② 接头的抗氢性和抗氧化性 耐热钢接头应具有与母材基本相同的抗氢性和高温抗氧化性。为此，焊缝金属的合金成分和含量应与母材基本一致。
- ③ 接头的组织稳定性 耐热钢焊接接头在制造过程中，特别是厚壁接头将经受长时间多次热处理，在运行过程中将长期受高温高压的作用，接头各区不应产生明显的组织变化及由此引起的脆变或软化。
- ④ 接头的抗脆断性 虽然耐热钢压力容器大多数是在高温下工作，但当压力容器和管道制造完工后将在常温下进行设计压力倍压力的水压试验。在安装检修完后，要经历水压试验及冷启动过程。因此，耐热钢焊接接头亦应具有一定的抗脆断性。
- ⑤ 接头的物理均一性 耐热钢焊接接头应具有与母材基本相同的物理性能。焊缝金属的热膨胀系数和热导率应基本一致，这样就可避免接头在高温运行过程中的热应力。

低合金耐热钢含有一定的合金元素，因此它与低合金高强钢都具有一些相同的焊接特

点，而又由于其含有一些特殊的微量元素及其不同的介质工作环境，所以也有其独特的焊接特点。

() 淬硬性 低合金耐热钢中的主要合金元素和等都能显著提高钢的淬硬性。其中的作用比大倍。这些合金元素推迟了钢在冷却过程中的转变，提高了过冷奥氏体的稳定性，从而在较高的冷却速度下可能形成全马氏体组织，比如焊接时，如果焊接线能量较小，钢板厚度较大且不预热焊接时就有可能发生%的马氏体转变。

() 冷裂纹 由于钢极易产生淬硬的显微组织，再加上焊缝区足够高的扩散氢浓度和一定的焊接残余应力共同作用，焊接接头易产生氢致延迟裂纹。这种裂纹在热影响区和焊缝金属中都易发生。在热影响区大多是表面裂纹，在焊缝金属中通常表现为垂直于焊缝的的横向裂纹，也可能发生在多层焊的焊道下或焊根部位。冷裂纹是钢焊接中存在的主要危险。

() 消除应力裂纹 因为这类裂纹是在消除应力热处理时，接头再次处于高温下所产生的裂纹，故又称为再热裂纹。钢是再热裂纹敏感性钢种，敏感的温度范围一般在 °C之间。

大量试验结果表明，钢中、、、、等强碳化物形成元素对再热裂纹形成有很大影响。通常以裂纹指数粗略地评价钢的消除应力裂纹敏感性。按下式计算：

$$\% \ \% \ \% \ \% \ \% \ \%$$

当 \geq 时，就有可能产生消除应力裂纹。但对于碳含量低于%的钢种，上式不适用。

() 热裂纹 对低合金耐热钢，人们往往注重冷裂纹的防止。实际上，当焊道的成形系数（熔宽与熔深比）小于 时，焊道中心易形成热裂纹。这是因为窄而深的梨形焊道，低熔点共晶聚集于焊道中心，在焊接应力作用下，导致焊道中心出现热裂纹。一切影响焊道成形系数的因素都会影响热裂纹的发生。

() 回火脆性 钢及其焊接接头在 °C温度区间长期运行过程中发生脆变的现象称为回火脆性。例如某厂一台钢制压力容器在 °C运行后，钢的脆性转变温度从°C提高到了°C，并最终导致灾难性的脆性断裂事故。

钢及其焊接接头的回火脆性敏感性有两种评价方式：

①系数和系数

() \times （式中元素以含量代入，如%应以代入）

() () \times （式中元素以百分数含量代入，如%应以代入）

这两个系数的界定是随着工业的不断发展和进步一步步提高的，最早要求 \leq ， \leq ，后来达到 \leq ， \leq ，直至目前又提高了要求，要求 \leq ， \leq 。

②分步冷却试验法(步冷)

分步冷却试验法是将试件加热到规定的最高温度后分步冷却，温度每降一级，保温更长时间，如图。步冷处理目的是在 内使钢产生最大的回火脆性，与 °C 温度区间设备经过 才能产生的效果相同。

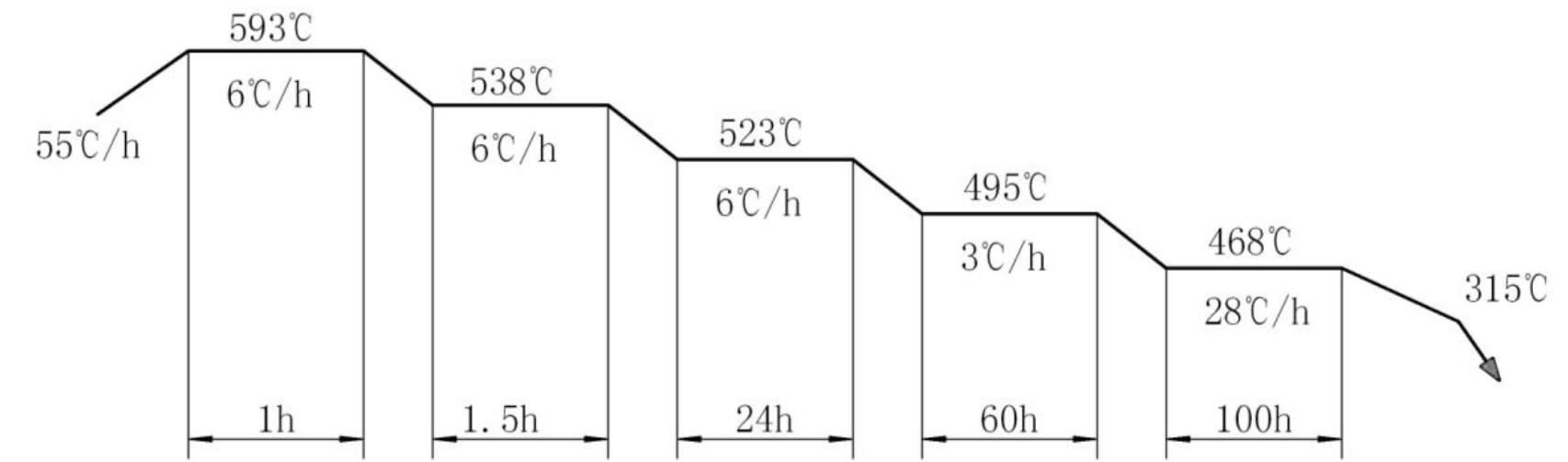


图 测定回火脆性敏感性的步冷处理程序

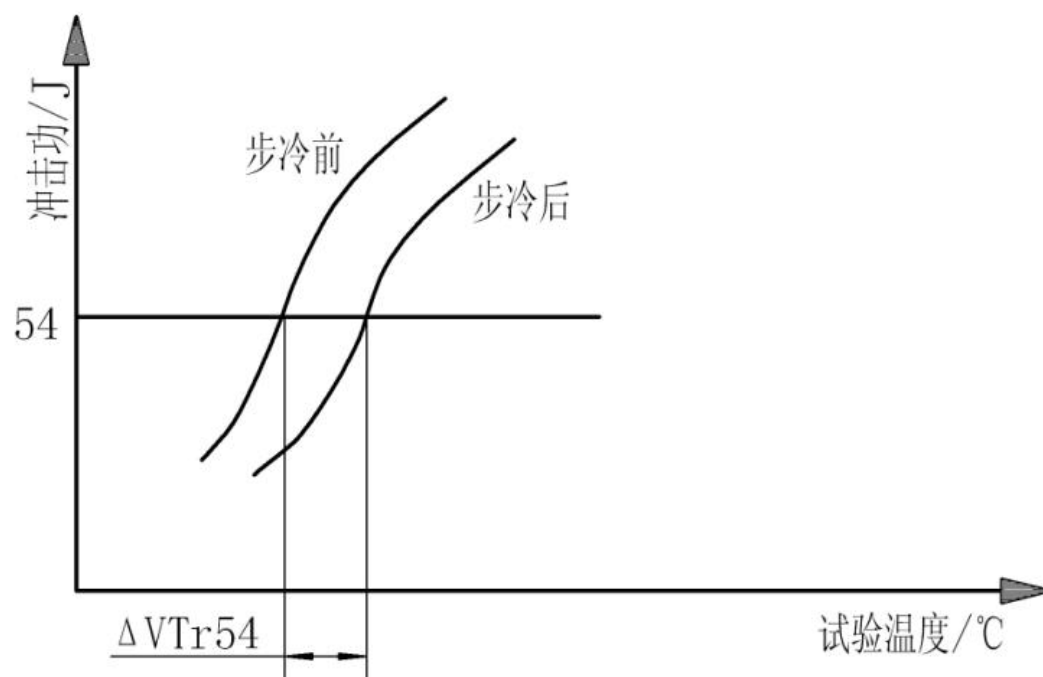


图 回火脆化程度的曲线

按图曲线加热，使钢材发生快速回火脆化。分别对步冷试验前后的钢材进行系列冲击，绘制出步冷试验前、后回火脆化程度的曲线(图)，确定延脆性转变温度(试样经. 处理后的夏比冲击功为时相应的转变温度)的变量 Δ (试样经. 步冷处理后的夏比冲击功为时相应的转变温度增量)，按下式进行计算：

美国雪弗龙公司早期提出的指标：

$$\Delta \leq 100^{\circ}\text{C} (200^{\circ}\text{F})$$

世纪年代普遍采用的指标：

$$\Delta \leq 50^{\circ}\text{C}$$

随着对设备安全性要求的提高及钢材、焊材性能的提高，对该指标的要求越来越高，年某工程公司为宁波和邦化学有限公司设计的两台加氢反应器提出的指标是：

$$\Delta \leq 25^{\circ}\text{C}$$

二、 压力容器用耐热钢焊材选用

() 与低合金高强钢相同，焊缝金属和母材等强度原则仍是低合金耐热钢焊材选用的基本原则，只不过此时不但要考虑焊缝金属与母材的常温强度等强，同时也要使其高温强度不低于母材标准值的下限要求。

() 为使其焊缝金属具有与母材同样的使用性能，因此要求其焊缝金属的铬、钼含量不得低于母材标准值的下限。

() 为保证焊缝金属有同样小的回火脆性，应严格限制焊材中的氧、硅、磷、锑、锡、砷等微量元素的含量。

() 为提高焊缝金属的抗裂性，应控制焊材中的含碳量低于母材的碳含量，但应注意，含碳量过低时，经长时间的焊后热处理会促使铁素体形成，从而导致韧性下降，因此，对于低合金耐热钢的焊缝金属含碳量最好控制在% %范围内，这样才会使焊缝金属具有较高的冲击韧性和与母材相当的高温蠕变强度。

三、 压力容器用耐热钢焊接要点

() 预热与层间温度 在钢的焊接特点中提到的冷裂纹、热裂纹及消除应力裂纹，都与预热及层间温度相关。一般来说，在条件许可下应适当提高预热及层间温度来避免冷裂纹和再热裂纹的产生。表为对各种低合金耐热钢推荐选用的预热温度和层间温度，但在设备制造过程中还要结合实际选用。

表 推荐选用的低合金耐热钢预热及层间温度

钢种	预热温度℃	层间温度℃
	≥	
	≥	左右
在钢上堆焊不锈钢	≥	

对于预热和层间温度，应注意以下几点：

- ① 整个焊接过程中的层间温度不应低于预热温度。
- ② 要保证焊件内外表面均达到规定的预热温度。
- ③ 对于厚壁容器，必须注意焊前、焊接过程和焊接结束时的预热温度基本保持一致并将实测预热温度做好记录。
- ④ 若容器焊前进行整体预热不仅费时而且耗能。实际上，作局部预热可以取得与整体预热相近的效果，但必须保证预热区宽度大于所焊厚度的倍，且至少不小于。
- ⑤ 预热与层间温度必须低于母材的点(马氏体转变结束点)，否则当焊件经处理后，残留奥

温度应低于 $^{\circ}\text{C}$ 。

⑥ 钢材下料进行热切割时，类似焊接热影响区的热循环，切割边缘的淬硬层可能成为钢材卷制或冲压时的裂源。因此，也应适当预热。

() 焊后热处理 对于低合金耐热钢，焊后热处理的目的是不仅是消除焊接残余应力，而且更重要的是改善组织提高接头的综合力学性能，包括提高接头的高温蠕变强度和组织稳定性，降低焊缝及热影响区硬度，还有就是使氢进一步逸出以避免产生冷裂纹。因此，在拟定低合金耐热钢焊接接头的焊后热处理规范时，应综合考虑下列冶金和工艺特点。

① 焊后热处理应保证近缝区组织的改善。

② 加热温度应保证焊接接头的焊接应力降到尽可能低的水平。

③ 焊后热处理不应使母材及焊接接头各项力学性能降低到设计规定的最低限度以下。这一点往往要通过对母材及焊接接头进行最大和最小模拟焊后热处理(及)后的各项力学性能检测来确定。

④ 由于耐热钢的回火脆性及再热裂纹倾向，焊后热处理应尽量避免在所处理钢材回火脆性敏感区及再热裂纹倾向敏感区的温度范围内进行。应规定在危险温度范围内要有较快的加热速度。

综合考虑以上个特点，需要制定一个合适的耐热钢焊后热处理规范，经过大量的试验、研究，引出了一个指导性参数，即纳尔逊米勒（一）参数，也称回火参数。

(X)

式中：

— 热处理绝对温度，

— 热处理保温时间，

从式中可以看出，热处理的温度和保温时间决定了值的高低，也就影响了钢焊接接头的强度和韧性。值过低，接头的强度和硬度会过高而韧性较低，若值太高，则强度和硬度会明显下降，同时由于碳化物的沉淀和聚集也会使韧性下降，因此，值在 可以使接头具有较好的综合力学性能。当然，对于每一种钢都有一个最佳的回火参数范围，如钢焊缝金属的最佳值为 之间，对于钢而言，其最佳的值在 之间。

() 后热和中间热处理 钢冷裂倾向大，导致产生裂纹的影响因素中，氢的影响居首位，因此，焊后(或中间停焊)必须立即消氢。一般说来，钢容器的壁厚、刚性大、制造周期长，焊后不能很快进行热处理，为防裂并稳定焊件尺寸，在主焊缝(或主焊缝和壳体接管焊缝)完成

℃，也有少数制造单位取 ℃的。中间热处理规范随钢种、结构、制造单位的经验而异，一般中间热处理温度为 (℃ ±℃。

() 焊接规范的选择 焊接线能量、预热温度和层间温度直接影响到焊接接头的冷却条件，一般来说，焊接线能量越大，冷却速度越慢，加之伴有较高的预热和层间温度，就会使接头各区的晶粒粗大，强度和韧性都会降低。对于低合金耐热钢而言，对焊接线能量在一定范围内变化并不敏感，也就是说，允许的焊接线能量范围较宽，只有当线能量过大时，才会对强度和韧性有明显的影响，所以为了防止冷裂纹的产生，希望焊接时线能量不要过小。

四、 耐热钢压力容器焊接实例

直径为，壳程壁厚为，管程壁厚为的加热器（图），壳体材质为，其主要承压焊缝的焊接工艺见表。

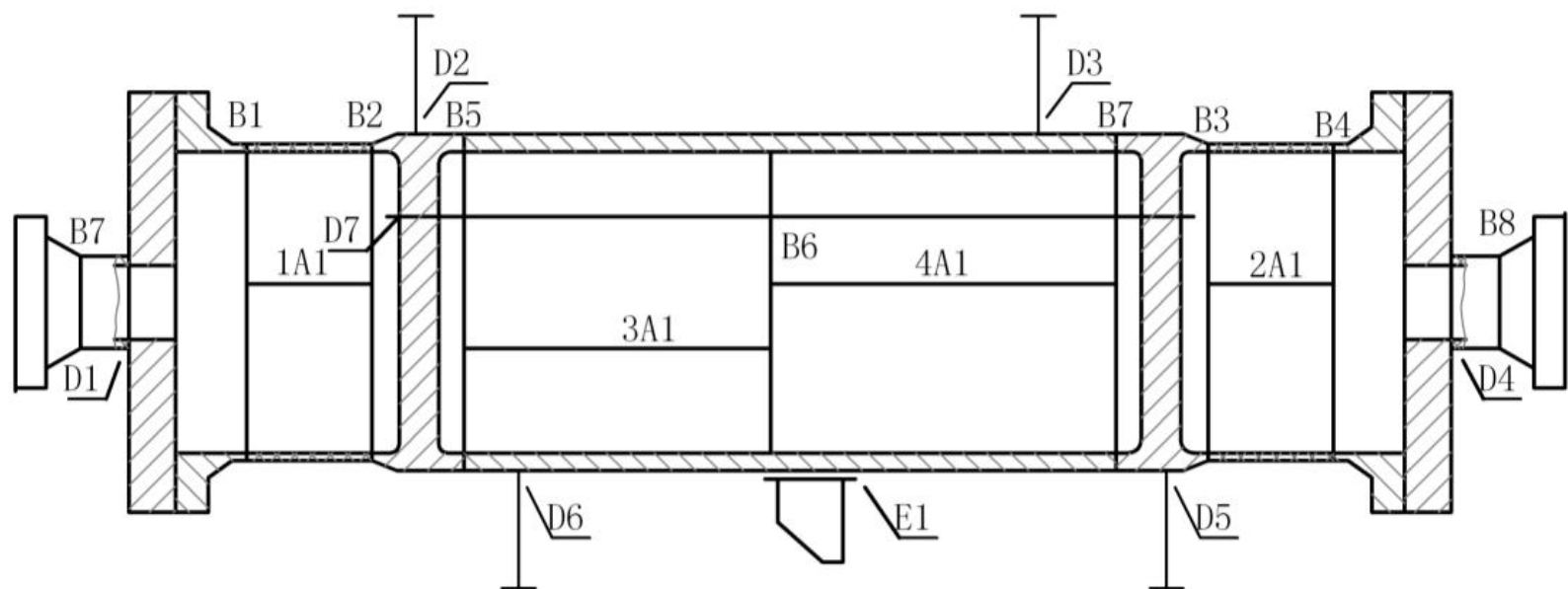


图 加热器简图

表 加热器焊接工艺

焊缝编号	焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
、、 、 、	管程筒体纵、环缝 壳程、管程筒体与管板环缝 接管与对接法兰环缝	打底 盖面		①
、、、	管程筒体纵缝 管程筒体与法兰环缝			②
	接管、整体法兰与法兰盖、管			③

	焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
	板、壳体角焊缝			
	换热管与管板角焊缝	(自动)		④
	耳座与壳体角焊缝	(焊)		⑤

说明:

① 壳程筒体直径较小, 焊工无法钻入筒体内焊接, 故壳程筒体纵、环缝只能从外侧施焊。同样, 由于该设备结构方面的原因, 壳程、管程筒体与管板的环缝焊接也只能从外侧进行。至于接管与对接法兰环缝, 本设备中接管规格为 \times , 亦无法从内侧施焊。以上焊缝需要单面焊, 但又要保证质量, 选用焊打底是保证焊缝质量最有效的方法。对于壳程筒体环缝, 也可采用打底, 再焊两道, 然后焊剩余层的方法。

② 尽管管程筒体直径较小, 但其长度很短, 管程筒体纵缝、管程筒体与法兰环缝具备内侧焊条电弧焊的条件, 故采用焊条电弧焊进行双面焊。

③ 接管、整体法兰与法兰盖、管板、壳体的角焊缝设备大合拢焊缝, 鉴于此部位焊缝形状和焊接条件, 一般选用焊条电弧焊。

④ 换热管管板焊接是热交换设备的重要焊缝, 其焊接方法有焊条电弧焊、手工钨极氩弧焊、全位置自动氩弧焊。焊条电弧焊是最早使用的焊接方法, 其特点是效率高, 但是质量对比于其他两种方法来说要差很多, 现在基本上已被淘汰。但是在某些特殊场合, 如丝堵式空冷器, 其管子管板焊接必须通过管板前的丝堵板进行焊接, 这时只能用采用焊条电弧焊的方法, 用小直径焊条焊接, 这对焊工操作技术要求很高, 一般在焊前需要对焊工进行专门培训。

目前使用最广泛, 质量最好的焊接方法为自动氩弧焊。本设备中换热管管板焊接采用全位置自动氩弧焊, 焊接接头形式为角焊缝(图)。焊丝直径为, 填丝焊两道。

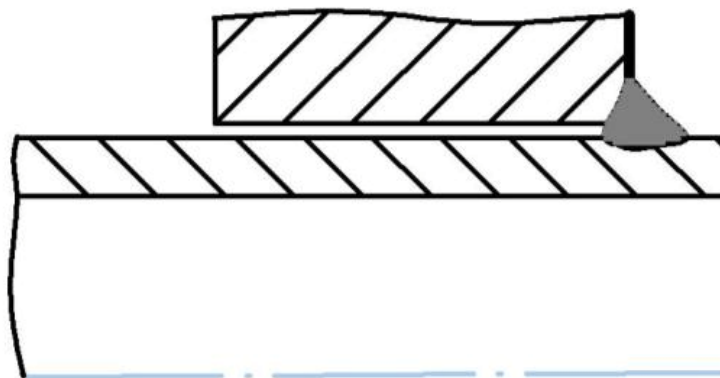


图 加热器换热管管板接头形式

⑤ 耳座与壳体焊接角焊缝属非承压焊缝, 采用熔化极气体保护焊(保护气体为纯), 效率高, 焊缝成形好。为焊材牌号, 其焊材型号为()

低温钢压力容器的焊接

一、 压力容器用低温钢及其焊接特点

《钢制压力容器》附录规定，设计温度低于或等于 -1°C 的钢制压力容器为低温容器。

众所周知，钢材在低温条件下工作时具有冷脆性。衡量低温钢性能的主要指标是低温韧性，即低温下的冲击韧性和脆性转变温度，钢的低温冲击韧性越高，脆性转变温度越低，则该钢低温韧性越好。钢的成分和组织对低温性能都有显著影响，磷、碳、硅使钢的脆性转变温度升高，其中尤以磷、碳最为显著，而锰和镍会使脆性转变温度降低，对低温韧性有利。钢中含镍量增高时，可以使其在更低的温度下保持相当高的冲击韧性。一般来说，具有面心立方晶格的金属，其韧性随温度的变化极小，奥氏体不锈钢就是由于具有面心立方晶格，故在很低的温度下仍具有较高的冲击韧性。此外，钢的晶粒越细，低温冲击韧性越好。

低温钢就是通过严格控制钢材中的碳、硫、磷含量或加入一些钒、铝、钛和镍等合金元素，达到固溶强化、晶粒细化之目的，并通过正火或正火回火处理来细化晶粒，使组织均匀化或使钢具有面心立方晶格，从而使钢在低温下具有足够的低温韧性及抵抗脆性破坏的能力，以保证设备在低温条件下能安全运行。

低温钢一般可分为无镍和含镍两大类。无镍钢的最低使用温度为 $^{\circ}\text{C}$ ，含镍钢最低使用温度根据含镍量的多少范围在 $^{\circ}\text{C}$ 之间， $^{\circ}\text{C}$ 以下则使用奥氏体不锈钢，有关奥氏体不锈钢的焊接在介绍不锈钢焊接时再作详细叙述，表为部分典型的低温钢的低温冲击韧性指标。

表 部分典型的低温钢的低温冲击韧性

钢材牌号	使用状态	厚度	最低冲击试验温度 $^{\circ}\text{C}$	
	正火			\geq
		$>$		
	正火，正火回火			\geq
	正火，正火回火			\geq
钢(级)	正火	\leq		\geq
		$>$		

对不含镍的低温钢而言，由于其含碳量低，其他合金元素含量也较少，故其淬硬倾向和冷裂倾向都小，因而具有良好的焊接性能，一般可不预热或用较低的预热温度来进行焊接，当板厚较厚或低温环境下焊接时，才需要一定的预热温度。所以，这一类钢焊接时，只要选择相匹配的焊材和合适的工艺，保证焊缝及热影响区的低温韧性是不成问题的。

须严格控制钢及焊材中的碳、硫、磷含量，同时采用合适的焊接规范，使焊缝有较大的焊缝成形系数，即避免形成窄而深的焊道成形截面，就可以有效地避免热裂纹的产生。

总之，低温钢焊接的重点是保证焊缝及热影响区获得足够的低温冲击韧性。

二、 压力容器用低温钢焊材选用

() 所选用的焊材必须保证焊缝含有最少的有害杂质（、、等），对于含镍低温钢尤其要严格控制。

() 选用的焊材应保证焊缝金属的低温韧性。对于含镍低温钢，选用的焊材的含镍量应与母材相当或稍高。

三、 压力容器用低温钢焊接要点

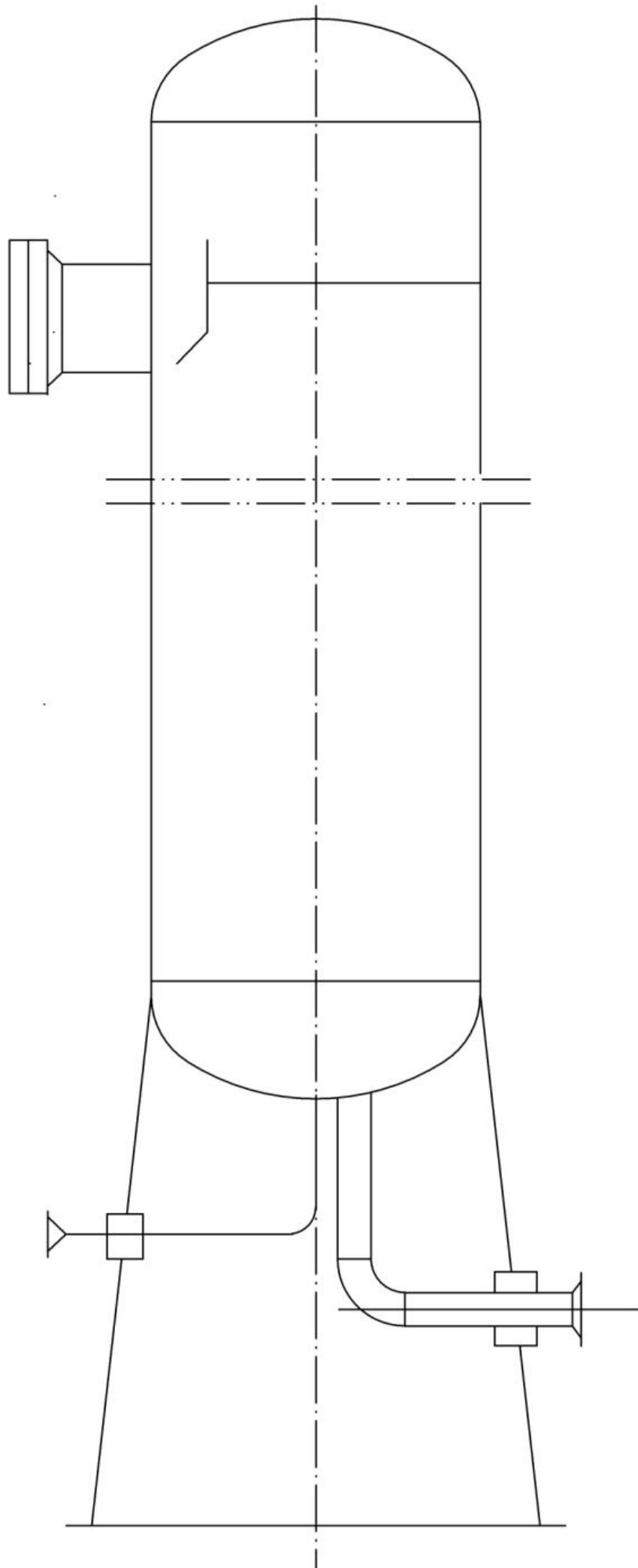
() 采用小的焊接线能量 为避免焊缝及热影响区形成粗大组织而使其冲击韧性严重降低，焊接时必须采用较小的焊接线能量，具体要求是，焊接电流不宜过大，焊条电弧焊时，焊条尽量不摆动，采用窄焊道、多道多层焊和快速多道焊以减小焊道过热，并通过多层焊的重复加热作用细化晶粒。多层焊时要严格控制层间温度。

() 选择适当的焊接速度 对于含镍低温钢进行埋弧自动焊时，切不可提高焊接速度来获得较低的焊接线能量。这是因为当焊接速度较高时，由于熔池形成典型的雨滴状，且焊道成形变成窄而深的截面形状，此时就易产生焊道中心的热裂纹。所以，这类钢焊接时，焊接速度要特别选择适当，不可过小，也不可过大。

() 避免咬边缺陷 低温钢焊接时应注意避免弧坑、未焊透及咬边等缺陷，这些缺陷在低温条件下，在应力作用时，都会造成较大的应力集中而引起脆性破坏。所以对于低温压力容器而言，不允许有任何尺寸的咬边缺陷存在。

四、 低温钢压力容器焊接实例

直径，长，壁厚为的乙烯精硫塔（图），设计温度为℃。因设备上管口、内件众多，简图中只画出部分。壳体材质为，其主要承压焊缝的焊接工艺见表。



丙烯精馏塔简图

表 丙烯精馏塔焊接工艺

焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
封头拼缝 壳体纵、环缝			①
现场合拢焊缝			②
接管、人孔与壳体角焊缝 人孔筒体拼缝、人孔筒体与对接法兰环缝			③
接管与法兰环缝			④

焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
内件与壳体内壁角焊缝	(焊)		⑤

说明：

① 壳程筒体直径较小，焊工无法钻入筒体内焊接，故壳程筒体纵、环缝只能从外侧施焊。同样，由于该设备结构方面的原因，壳程、管程筒体与管板的环缝焊接也只能从外侧进行。至于接管与对接法兰环缝，本设备中接管规格为 $\Phi \times$ ，亦无法从内侧施焊。以上焊缝需要单面焊，但又要保证质量，选用焊打底是保证焊缝质量最有效的方法。对于壳程筒体环缝，也可采用打底，再焊两道，然后焊剩余层的方法。

② 尽管管程筒体直径较小，但其长度很短，管程筒体纵缝、管程筒体与法兰环缝具备内侧焊条电弧焊的条件，故采用焊条电弧焊进行双面焊。

③ 接管、整体法兰与法兰盖、管板、壳体的角焊缝设备大合拢焊缝，鉴于此部位焊缝形状和焊接条件，一般选用焊条电弧焊。

④ 换热管管板焊接是热交换设备的重要焊缝，其焊接方法有焊条电弧焊、手工钨极氩弧焊、全位置自动氩弧焊。焊条电弧焊是最早使用的焊接方法，其特点是效率高，但是质量对比于其他两种方法来说要差很多，现在基本上已被淘汰。但是在某些特殊场合，如丝堵式空冷器，其管子管板焊接必须通过管板前的丝堵板进行焊接，这时只能用采用焊条电弧焊的方法，用小直径焊条焊接，这对焊工操作技术要求很高，一般在焊前需要对焊工进行专门培训。

目前使用最广泛，质量最好的焊接方法为自动氩弧焊。本设备中换热管管板焊接采用全位置自动氩弧焊，焊接接头形式为角焊缝（图）。焊丝直径为，填丝焊两道。

⑤ 内壁与壳体内壁角焊缝，鉴于此部位焊缝形状和焊接条件，一般选用焊条电弧焊。

第四节 不锈钢压力容器的焊接

一、 压力容器用不锈钢及其焊接特点

所谓不锈钢是指在钢中加入一定量的铬元素后，使钢处于钝化状态，具有不生锈的特性。为达到此目的，其铬含量必须在%以上。为提高钢的钝化性，不锈钢中还往往需加入能使钢钝化的镍、钼等元素。一般所指的不锈钢实际上是不锈钢和耐酸钢的总称。不锈钢并不一定耐酸，而耐酸钢一般均具有良好的不锈性能。

不锈钢按其钢的组织不同可分为四类，即奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、

奥氏体—铁素体双相不锈钢。

. 奥氏体不锈钢及其焊接特点

奥氏体不锈钢是应用最广泛的不锈钢，以高型最为普遍。目前奥氏体不锈钢大致可分为型、型、型。奥氏体不锈钢有以下焊接特点：

① 焊接热裂纹 奥氏体不锈钢由于其热传导率小，线膨胀系数大，因此在焊接过程中，焊接接头部位的高温停留时间较长，焊缝易形成粗大的柱状晶组织，在凝固结晶过程中，若硫、磷、锡、锑、铋等杂质元素含量较高，就会在晶间形成低熔点共晶，在焊接接头承受较高的拉应力时，就易在焊缝中形成凝固裂纹，在热影响区形成液化裂纹，这都属于焊接热裂纹。防止热裂纹最有效的途径是降低钢及焊材中易产生低熔点共晶的杂质元素和使铬镍奥氏体不锈钢中含有%的铁素体组织。

② 晶间腐蚀 根据贫铬理论，在晶间析出碳化铬，造成晶界贫铬是产生晶间腐蚀的主要原因。为此，选择超低碳焊材或含有铌、钛等稳定化元素的焊材是防止晶间腐蚀的主要措施。

③ 应力腐蚀开裂 应力腐蚀开裂通常表现为脆性破坏，且发生破坏的过程时间短，因此危害严重。造成奥氏体不锈钢应力腐蚀开裂的主要原因是焊接残余应力。焊接接头的组织变化或应力集中的存在，局部腐蚀介质浓缩也是影响应力腐蚀开裂的原因。

④ 焊接接头的 σ 相脆化 σ 相是一种脆硬的金属间化合物，主要析集于柱状晶的晶界。 γ 相和 δ 相都可发生 σ 相转变。比如对于型焊缝在 $^{\circ}\text{C}$ — $^{\circ}\text{C}$ 加热时，就会发生强烈的 $\gamma \rightarrow \sigma$ 转变。对于铬镍型奥氏体不锈钢，特别是铬镍钼型不锈钢，易发生 $\delta \rightarrow \sigma$ 相转变，这主要是由于铬、钼元素具有明显的 σ 化作用，当焊缝中 δ 铁素体含量超过%时， $\delta \rightarrow \sigma$ 的转变非常显著，造成焊缝金属的明显的脆化，这也就是为什么热壁加氢反应器内壁堆焊层将 δ 铁素体含量控制在%%的原因。

. 铁素体不锈钢及其焊接特点

铁素体不锈钢分为普通铁素体不锈钢和超纯铁素体不锈钢两大类，其中普通铁素体不锈钢有型，如、；型，如；型。

由于普通铁素体不锈钢中的碳、氮含量较高，故加工成形及焊接都较困难，耐蚀性也难以保证，使用受到限制，在超纯铁素体不锈钢中严格控制了钢中的碳和氮总量，一般控制在%、%、%三个层次，同时还加入必要的合金元素以进一步提高钢的耐腐蚀性和综合性能。与普通铁素体不锈钢相比，超纯高铬铁素体不锈钢具有很好的耐均匀腐蚀、点蚀及应力腐蚀性能，较多的应用于石化设备中。铁素体不锈钢有以下焊接特点：

① 焊接高温作用下，在加热温度达到 $^{\circ}\text{C}$ 以上的热影响区特别在近缝区的晶粒会急剧长大，焊后即使快速冷却，也无法避免因晶粒粗大化引起的韧性急剧下降及较高的晶间腐蚀倾向。

② 铁素体钢本身含铬量较高，有害元素碳、氮、氧等也较多，脆性转变温度较高，缺口敏感性较强。因此，焊后脆化现象较为严重。

③ 在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 长时间加热缓冷时，会出现 $^{\circ}\text{C}$ 脆化，使常温韧性严重下降。在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 长时间加热后，则容易从铁素体中析出 σ 相，也明显降低其塑、韧性。

. 马氏体不锈钢及其焊接特点

马氏体不锈钢可分为型马氏体不锈钢、低碳马氏体不锈钢和超级马氏体不锈钢。型具有一般抗腐蚀性能，从为基的马氏体不锈钢，因加入镍、钼、钨、钒等合金元素，除具有一定的耐腐蚀性能，还具有较高的高温强度及抗高温氧化性能。

马氏体不锈钢的焊接特点：型马氏体不锈钢焊缝和热影响区的淬硬倾向特别大，焊接接头在空冷条件下便可得到硬脆的马氏体，在焊接拘束应力和扩散氢的作用下，很容易出现焊接冷裂纹。当冷却速度较小时，近缝区及焊缝金属会形成粗大铁素体及沿晶析出碳化物，使接头的塑、韧性显著降低。

低碳及超级马氏体不锈钢的焊缝和热影响区冷却后，虽然全部转变为低碳马氏体，但没有明显的淬硬现象，具有良好的焊接性能。

二、 压力容器用不锈钢焊材选用

. 奥氏体不锈钢焊材选用

奥氏体不锈钢焊材的选择原则是在无裂纹的前提下，保证焊缝金属的耐蚀性能及力学性能与母材基本相当，或高于母材，一般要求其合金成分大致与母材成分匹配。对于耐蚀的奥氏体不锈钢，一般希望含一定量的铁素体，这样既能保证良好的抗裂性能，又能有很好的抗腐蚀性能。但在某些特殊介质中，如尿素设备的焊缝金属是不允许有铁素体存在的，否则就会降低其耐蚀性。对耐热用奥氏体钢，应考虑对焊缝金属内铁素体含量的控制。对于长期在高温运行的奥氏体钢焊件，焊缝金属内铁素体含量不应超过%。读者可根据图，按焊缝金属中的铬当量和镍当量估计出相应的铁素体含量。

. 铁素体不锈钢焊材选用

铁素体不锈钢焊材基本上有三类：)成分基本与母材匹配的焊材；)奥氏体焊材；)镍基合金焊材，由于其价格较高，故很少选用。

铁素体不锈钢焊材可采用与母材相当的材料，但在拘束度大时，很容易产生裂纹，焊后可

采用热处理，恢复耐蚀性能，并改善接头塑性。采用奥氏体焊材可免除预热和焊后热处理，但对于不含稳定元素的各种钢，热影响区的敏化仍然存在，常用型和型铬镍奥氏体焊材。对于钢，也可用型焊材，合金含量高的焊材有利于提高焊接接头塑性。奥氏体或奥氏体-铁素体焊缝金属基本与铁素体母材等强，但在某些腐蚀介质中，焊缝的耐蚀性可能与母材有很大的不同，这一点在选择焊材时要注意。

. 马氏体不锈钢焊材选用

在不锈钢中，马氏体不锈钢是可以利用热处理来调整性能的，因此，为了保证使用性能的要求，特别是耐热用马氏体不锈钢，焊缝成分应尽量接近母材的成分。为了防止冷裂纹，也可采用奥氏体焊材，这时的焊缝强度必然低于母材。

焊缝成分同母材成分相近时，焊缝和热影响区将会同时硬化变脆，同时在热影响区中出现回火软化区。为了防止冷裂，厚度以上的构件往往要进行预热，焊后也往往需要进行热处理，以提高接头性能，由于焊缝金属与母材的热膨胀系数基本一致，经热处理后有可能完全消除焊接应力。

当工件不允许进行预热或热处理时，可选择奥氏体组织焊缝，由于焊缝具有较高的塑性和韧性，能松弛焊接应力，并且能较多地固溶氢，因而可降低接头的冷裂倾向，但这种材质不均匀的接头，由于热膨胀系数不同，在循环温度的工作环境下，在熔合区可能产生剪应力，而导致接头破坏。

对于简单的型马氏体钢，不采用奥氏体组织的焊缝时，焊缝成分的调整余地不多，一般都和母材基体相同，但必须限制有害杂质、及等，在型马氏体钢焊缝中可促使形成粗大的马氏体。降低含量，有利于减小淬硬性，焊缝中存在少量、或等元素，也可细化晶粒并降低淬硬性。

对于多组元合金化的基马氏体热强钢，主要用途是耐热，通常不用奥氏体焊材，焊缝成分希望接近母材。在调整成分时，必须保证焊缝不致出现一次铁素体相，因它对性能十分有害，由于基马氏体热强钢的主要成分多为铁素体元素(如、、等)，为保证全部组织为均一的马氏体，必须用奥氏体元素加以平衡，也就是要有适当的、、等元素。

马氏体不锈钢具有相当高的冷裂倾向，因此必须严格保持低氢，甚至超低氢，在选择焊材时，必须要注意这一点。

三、 压力容器用不锈钢焊接要点

. 奥氏体不锈钢焊接要点

总的来说，奥氏体不锈钢具有优良的焊接性。几乎所有的熔化焊接方法均可用于焊接奥氏

体不锈钢，奥氏体不锈钢的热物理性能和组织特点决定了其焊接工艺要点。

① 由于奥氏体不锈钢导热系数小而热膨胀系数大，焊接时易于产生较大的变形和焊接应力，因此应尽可能选用焊接能量集中的焊接方法。

② 由于奥氏体不锈钢导热系数小，在同样的电流下，可比低合金钢得到较大的熔深。同时又由于其电阻率大，在焊条电弧焊时，为了避免焊条发红，与同直径的碳钢或低合金钢焊条相比，焊接电流较小。

③ 焊接规范。一般不采用大线能量进行焊接。焊条电弧焊时，宜采用小直径焊条，快速多道焊，对于要求高的焊缝，甚至采用浇冷水的方法以加速冷却，对于纯奥氏体不锈钢及超级奥氏体不锈钢，由于热裂纹敏感性大，更应严格控制焊接线能量，防止焊缝晶粒严重长大与焊接热裂纹的发生。

④ 为提高焊缝的抗热裂性能和耐蚀性能，焊接时，要特别注意焊接区的清洁，避免有害元素渗入焊缝。

⑤ 奥氏体不锈钢焊接时一般不需要预热。为了防止焊缝和热影响区的晶粒长大及碳化物的析出，保证焊接接头的塑、韧性和耐蚀性，应控制较低的层间温度，一般不超过 $^{\circ}\text{C}$ 。

. 铁素体不锈钢焊接要点

铁素体不锈钢的铁素体形成元素相对较多，奥氏体形成元素相对较少，材料淬硬和冷裂倾向较小。铁素体不锈钢在焊接热循环的作用下，热影响区晶粒明显长大，接头的韧性和塑性急剧下降。热影响区晶粒长大的程度取决于焊接时所达到的最高温度及其保持时间，为此，在焊接铁素体不锈钢时，应尽量采用小的线能量，即采用能量集中的方法，如小电流、小直径焊条手工焊等，同时尽可能采用窄间隙坡口、高的焊接速度和多层焊等措施，并严格控制层间温度。

由于焊接热循环的作用，一般铁素体不锈钢在热影响区的高温区产生敏化，在某些介质中产生晶间腐蚀。焊后经 $^{\circ}\text{C}$ 退火处理，使铬均匀化，可恢复其耐蚀性。

普通高铬铁素体不锈钢可采用焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊等熔焊方法。由于高铬钢固有的低塑性，以及焊接热循环引起的热影响区晶粒长大和碳化物、氮化物在晶界集聚，焊接接头的塑性和韧性都很低。在采用与母材化学成分相似的焊材且拘束度大时，很易产生裂纹。为了防止裂纹，改善接头塑性和耐蚀性，以焊条电弧焊为例，可以采取下列工艺措施。

① 预热 $^{\circ}\text{C}$ 左右，使材料在富有韧性的状态下焊接。含铬越高，预热温度应越高。

② 采用小的线能量、不摆动焊接。多层焊时，应控制层间温度不高于 $^{\circ}\text{C}$ ，不宜连续施焊，

以减小高温脆化和 $^{\circ}\text{C}$ 脆性影响。

③ 焊后进行 $^{\circ}\text{C}$ 退火处理，由于碳化物球化和铬分布均匀，可恢复耐蚀性，并改善接头塑性。退火后应快冷，防止出现 σ 相及 $^{\circ}\text{C}$ 脆性。

. 马氏体不锈钢焊接要点

对于型马氏体不锈钢，当采用同材质焊条进行焊接时，为了降低冷裂纹敏感性，确保焊接接头塑、韧性，应选用低氢型焊条并同时采取下列措施：

① 预热。预热温度随钢材含碳量的增加而提高，一般在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 范围内。

② 后热。对于含碳量较高或拘束度大的焊接接头，焊后采取后热措施，以防止焊接氢致裂纹。

③ 焊后热处理。为改善焊接接头塑、韧性和耐蚀性，焊后热处理温度一般为 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ ，保温时间按 计。

对于超级及低碳马氏体不锈钢，一般可不采取预热措施，当拘束度大或焊缝中含氢量较高时，采取预热及后热措施，预热温度一般为 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ ，焊后热处理温度为 $^{\circ}\text{C}$ 。

对于含碳量较高的马氏体钢。或在焊前预热、焊后热处理难以实施，以及接头拘束度较大的情况下，工程中也可用奥氏体型的焊材，以提高焊接接头的塑、韧性，防止产生裂纹。但此时焊缝金属为奥氏体组织或以奥氏体为主的组织时，与母材强度相比实为低强匹配，而且焊缝金属与母材在化学成分、金相组织、热物理性能、力学性能差别很大，焊接残余应力不可避免，容易引发应力腐蚀或高温蠕变破坏。

四、 双相不锈钢的焊接

. 双相不锈钢的类型

双相不锈钢由于具有奥氏体铁素体双相组织，且两个相组织的含量基本相当，故兼有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的特点。屈服强度可达 ，是普通奥氏体不锈钢的倍。与铁素体不锈钢相比，双相不锈钢的韧性高，脆性转变温度低，耐晶间腐蚀性能和焊接性能均显著提高；同时又保留了铁素体不锈钢的一些特点，如 $^{\circ}\text{C}$ 脆性、热导率高、线膨胀系数小，具有超塑性及磁性等。与奥氏体不锈钢相比，双相不锈钢的强度高，特别是屈服强度显著提高，且耐孔蚀性、耐应力腐蚀、耐腐蚀疲劳等性能也有明显的改善。

双相不锈钢按其化学成分分类，可分为型、(不含)型、型和型四类。对于型双相不锈钢又可分为普通型和超级双相不锈钢，其中近年来应用较多的是型和型。我国采用的双相不锈钢以瑞典产居多，具体牌号有：(型)， (型)， (型)， (型)。

. 双相不锈钢的焊接特点

① 双相不锈钢具有良好的焊接性，它既不像铁素体不锈钢焊接时热影响区易脆化，也不像奥氏体不锈钢易产生焊接热裂纹，但由于它有大量的铁素体，当刚性较大或焊缝含氢量较高时，有可能产生氢致冷裂纹，因此严格控制氢的来源是非常重要的。

② 为了保证双相钢的特点，确保焊接接头的组织中奥氏体及铁素体比例合适是这类钢焊接的关键所在。当焊后接头冷却速度较慢时， $\delta \rightarrow \alpha$ 的二次相变化较充分，因此到室温时可得到相比比例比较合适的双相组织，这就要求在焊接时要有适当大的焊接热输入量，否则若焊后冷却速度较快时，会使 δ 铁素体相增多，导致接头塑韧性及耐蚀性严重下降。

. 双相不锈钢焊材选用

双相不锈钢用的焊材，其特点是焊缝组织为奥氏体占优的双相组织，主要耐蚀元素(铬、钼等)含量与母材相当，从而保证与母材相当的耐蚀性。为了保证焊缝中奥氏体的含量，通常是提高镍和氮的含量，也就是提高约% %的镍当量。在双相不锈钢母材中，一般都有一定量的氮含量，在焊材中也希望有一定的含氮量，但一般不宜太高，否则会产生气孔。这样镍含量较高就成了焊材与母材的一个主要区别。

根据耐腐蚀性、接头韧性的要求不同来选择与母材化学成分相匹配的焊条，如焊接型双相不锈钢，可选用型焊条，如焊条。采用酸性焊条时脱渣优良，焊缝成形美观，但冲击韧性较低，当要求焊缝金属具有较高的冲击韧性，并需进行全位置焊接时，应采用碱性焊条。当根部封底焊时，通常采用碱性焊条。当对焊缝金属的耐腐蚀性能具有特殊要求时，还应采用超级双相钢成分的碱性焊条。

对于实心气体保护焊焊丝，在保证焊缝金属具有良好耐腐蚀性与力学性能的同时，还应注意其焊接工艺性能，对于药芯焊丝，当要求焊缝成形美观时，可采用金红石型或钛钙型药芯焊丝，当要求较高的冲击韧度或在较大的拘束度条件下焊接时，宜采用碱度较高的药芯焊丝。

对于埋弧焊宜采用直径较小的焊丝，实现中小焊接规范下的多层多道焊，以防止焊接热影响区及焊缝金属的脆化，并采用配套的碱性焊剂。

. 双相不锈钢的焊接要点

① 焊接热过程的控制 焊接线能量、层间温度、预热及材料厚度等都会影响焊接时的冷却速度，从而影响到焊缝和热影响区的组织和性能。冷却速度太快和太慢都会影响到双相钢焊接接头的韧性和耐腐蚀性能。冷却速度太快时会引起过多的 α 相含量以及的析出增加。过慢的冷却速度会引起晶粒严重粗大，甚至有可能析出一些脆性的金属间化合物，如 σ 相。表列出了一些推荐的焊接线能量和层间温度的范围。在选择线能量时还应考虑到具体

的材料厚度，表中线能量的上限适合于厚板，下限适合于薄板。在焊接合金含量高的 ω ()为的双相钢和超级不锈钢时，为获得最佳的焊缝金属性能，建议最高层间温度控制在 $^{\circ}\text{C}$ 。当焊后要求热处理时可以不限制层间温度。

表 推荐选用的双相钢线能量和层间温度

钢材类型	线能量 ()	最高层间温度 $^{\circ}\text{C}$
无双相钢		
双相钢		
(双相钢		
超级双相钢		

② 焊后热处理 双相不锈钢焊后最好不进行热处理，但当焊态下 α 相含量超过了要求或析出了有害相，如 σ 相时，可采用焊后热处理来改善。所用的热处理方法是水淬。热处理时加热应尽可能快，在热处理温度下的保温时间为 ，应该足以恢复相的平衡。在热处理时金属的氧化非常严重，应考虑采用惰性气体保护。对于 ω ()为 的双相钢应在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 温度下进行热处理，而 ω ()为 的双相钢和超级双相钢要求在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 温度下进行热处理。

五、 不锈钢压力容器焊接实例

直径为，壁厚为的闪蒸罐（图），壳体材质为，其主要承压焊缝的焊接工艺见表。

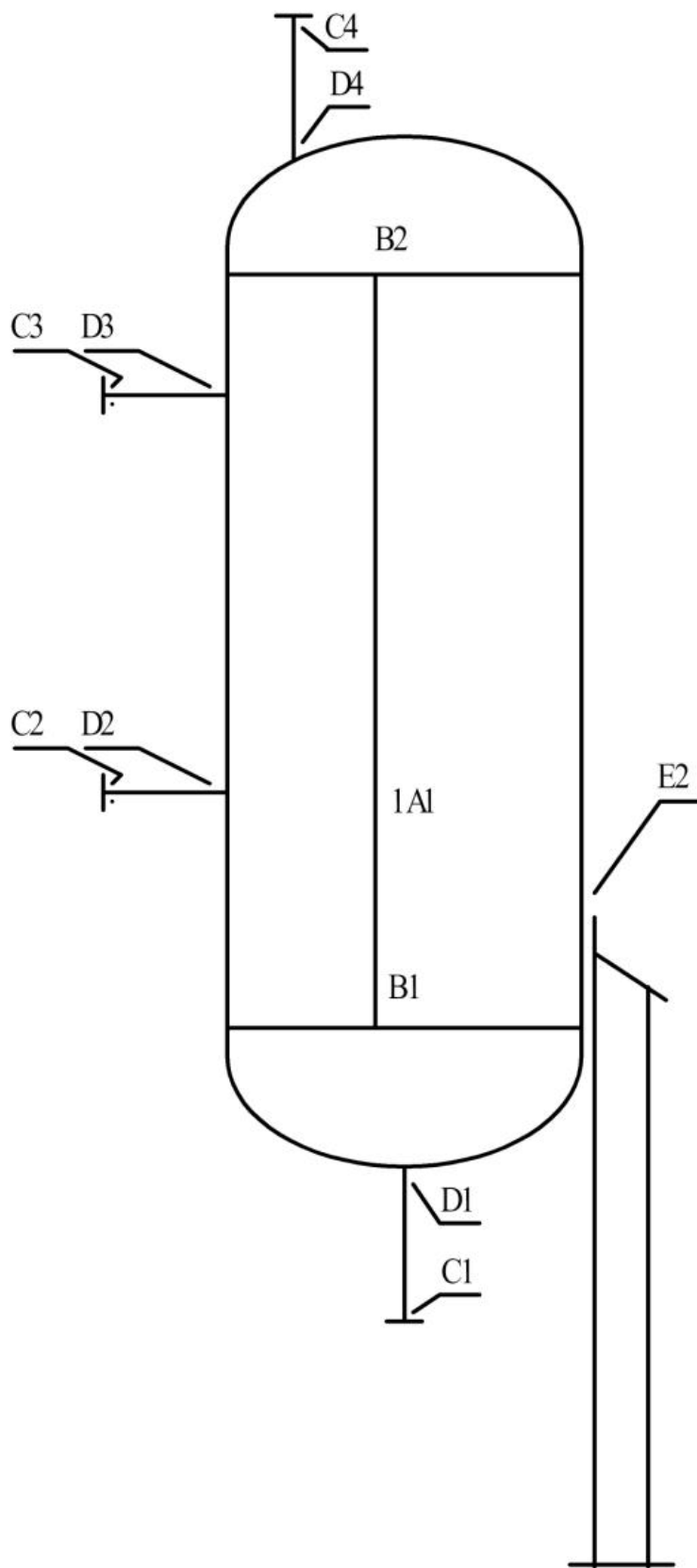


图 闪蒸罐简图

表 闪蒸罐焊接工艺

焊缝编号	焊缝位置	焊接方法	焊接材料	说明
	壳体纵、环缝	双面		①
	壳体合拢焊缝	打底 盖面		②
	接管与平焊法兰角焊缝 接管与壳体角焊缝			③
	支座与壳体焊接角焊缝	(焊)		④

说明：

① 筒体直径为，焊工可以钻入筒体内焊接，故筒体纵、环缝故采用焊条电弧焊进行双面焊。

② 本设备无人孔，故合拢焊缝只能从外侧焊接。为保证焊接质量，采用焊打底。但不锈钢氩弧焊焊接时背面金属会被氧化，以前只能通过采用背面充氩保护的方法，但是当设备较大或背面无法实施氩气保护时，将大量浪费氩气，且仍可能出现保护不好。为解决这一工艺难题，日本油脂公司焊接事业部开发制造了一种背面自保护不锈钢焊丝，这是一种具有特殊涂层的焊丝，涂层（即药皮）熔化后会渗透到熔池背面，形成一层致密的保护层，相当于焊条药皮的作用。这用焊丝的使用方法与普通的焊丝完全相同，涂层不会影响正面的电弧和熔池形态，大大降低了不锈钢氩弧焊的焊接成本。本设备中，若采用背面氩气保护，氩气浪费严重，故采用了自保护焊丝。

③ 接管与平焊法兰角焊缝、接管与壳体角焊缝，鉴于此部位焊缝形状和焊接条件，一般选用焊条电弧焊。若接管直径太小，为了减少焊接难度，也可以采用焊。

④ 支座与壳体焊接角焊缝属非承压焊缝，采用熔化极气体保护焊(保护气体为纯)，效率高，焊缝成形好。为焊材牌号，其焊材型号为()

第五节 有色金属压力容器的焊接

压力容器设备中，除广泛使用碳钢、低合金钢及不锈钢外，有色金属如钛及钛合金、镍及镍基合金、铜及铜合金、铝及铝合金的应用也日益增多。由于这些有色金属具有不锈钢所不能比的优点，所以在一些特殊的重要场合已占有主导地位。

一、镍基耐蚀合金的焊接

镍及镍基合金具有特殊的物理、力学及耐腐蚀性能，镍基耐蚀合金在 $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ 范围内能耐各种腐蚀介质的侵蚀，同时具有良好的高温和低温力学性能。在一些苛刻腐蚀条件下是一般不锈钢无法取代的优良材料。纯镍一般在工业中应用较少，但在镍中添加入铬、铜、铁、钼、铝、钛、铌、钨等元素后，通过固溶强化，不但改善其力学性能，而且可适应于各种腐蚀介质下侵蚀，使其具有优良的耐腐蚀性。

. 镍基耐蚀合金的焊接特点

① 易产生焊接热裂纹

由于镍基合金为单相奥氏体组织，所以与不锈钢相比，具有高的焊接热裂纹敏感性，特别是焊缝易产生多边化晶间裂纹。这种裂纹一般为微裂纹，焊后对焊缝进行着色检查时，短时间都发现不了，但经过一段时间后，才显露出来。这说明裂纹非常微细，但有时也能发展为较宽的宏观裂纹。如果在单相奥氏体焊缝中加入固溶强化的钼、钨、锰、铬、铌等元素，就可有效地抑制镍基合金焊缝多边化结晶的发展，从而显著提高抗热裂纹能力。限制线能量，避免采用大线能量焊接也有利于防止热裂纹的产生。此时注意，如果线能量过

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/945243111232011300>