

钛合金板翅式换热器的制造

苏云海 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔提要〕 本文介绍了采用钛合金(TC9)制造的板翅式换热器。探索了0.5mm到1mm厚度的薄板轧制工艺、波纹翅片冲压成型、钎焊焊料与钎焊工艺。

主题词 热交换器 制造 成形工艺

一、前言

某船舶动力装置中需用换热器,由于管壳式换热器体积太大、换热效率低,而目前国内生产的铝材板翅式换热器又满足不了该动力装置耐高温、耐腐蚀的要求。为此,提出研制尺寸小、重量轻、换热效率高又耐腐蚀的钛合金板翅式换热器。

板翅式换热器的主要特点:传热效率高;结构紧凑;轻巧而牢固;适应性强,可作气—气,气—液和液—液的热交换,亦可作冷凝和蒸发。它又可用于逆流、顺流、错流或错逆流的情况。适用多种不同介质在同一设备内的热交换。用钛合金制造板翅式换热器,耐腐蚀性能好。钛在海水、大气及多数的金属氯化物、湿氯气以及许多有机酸里,都有很高的耐腐蚀性。因此,用钛合金制造的板翅式换热器不仅在船舶动力装置中有广阔前途。而且,在医药、化工等部门也是有前途的换热设备之一。

二、板材轧制

由于TC9合金具有高的强度和较低的塑性,给轧制薄板带来困难,它要求有较大吨位的轧机和合理的轧制工艺。采取如下工艺可以顺利地轧制出1.0毫米及0.5毫米厚的薄

板。轧制工艺要点如下:

1. **板坯准备** 锭坯为饼材,经1050~850℃锻造成长方形板坯。为防止表面氧化层及表面缺陷在轧制中引起开裂,在轧制之前,先将板坯的所有表面氧化层缺陷铣去。

2. **热轧** 采用中频感应炉加热,在1000~1050℃保温15分钟,在二辊可逆式热轧机(功率650kW)开坯,一火轧成宽330mm,厚3.7mm的板,总变形为93.8%。这里,重要的是保证温度均匀并且不低于1000℃。

3. **碱酸洗** 板材经过热轧、温轧及氧化退火之后,均进行碱洗及酸洗,除掉表面氧化层。碱液是硝酸钠加氢氧化钠($\text{NaNO}_3 + \text{NaOH}$),配比1:4,温度在400~500℃,浸入时间长短要以表面氧化皮洗净为准。酸液是硝酸加盐酸水溶液,配比为1:7:14,逐渐撒入氟化钠(NaF),温度在40~60℃,洗至表面光亮。

4. **退火** 采用在空气中氧化退火(800℃保温1小时),并碱酸洗,在500~600℃时按尺寸热剪下料。

5. **温轧** 温轧工艺参数如表1。

在每次轧制中间进行氧化退火(800℃1小时)并进行碱酸洗,第四次温轧后进行真空退火(850℃2.5小时)。

表 1

温 轧 工 艺 参 数

次 数	轧制温度/°C	厚度变化	总变形量/%	道次变形量/%	采用设备
1	850	3.7→3.0	18.9	6~7	二辊热轧机
2	800	3.0→2.5	16.7	5~6	二辊热轧机
3	500~550	2.5→2.0	20	3~5	四辊热轧机
4	500~550	2.0→1.5	25	3~5	四辊热轧机

6. 冷轧 冷轧是在 450t 四 辊 机 上 进行, 各次冷轧压下量如下:

厚度由 1.5mm→1.2mm→1.0mm 留出 1.0mm 成品。

再由 1.0mm→0.9mm→0.75mm→0.60mm→0.50mm。

各次冷轧之间及最后成品均进行真空退火 (850°C 2.5 小时)。冷轧一次退火允许变形量小于 15%, 道次压下小于 3%, 当从 1.5mm 轧到 1.2mm 及从 1.2mm 轧到 1.0mm, 两次变形量超过 15% 时, 在板材头部及边部均出现小裂纹, 而当变形量小于 15% 时就无裂纹产生。这个限量与退火的真空度有关, 当真空度不大时, 板材头部及边部有微小的氧化发生, 裂纹多从这里产生。如果将真空度保持在 0.13Pa (10⁻³mmHg) 以下, 允许的

变形量可以提高。微小裂纹可用砂轮打磨去除。

7. 检验 采用上述工艺轧制出宽 300mm、厚 1mm 及 0.5mm 的板材。经检验质量符合 YB762—70 钛合金板材标准。

三、波纹翅片成型

1. 设备 目前, 成型波纹翅片的方法一般采用轧制及冲压两种。轧制的方法所需设备较为复杂, 大批量生产时可以考虑。而单件小批量生产用冲压方法较为实用。冲压是在 65t 冲床上进行, 其压力可以通过调整锤头下落位置来控制。冲压模具见图 1。模具材料为合金工具钢 (12Mn), 淬火 Rc 为 57, 足够的硬度, 保证在多次冲压后无明显磨损。

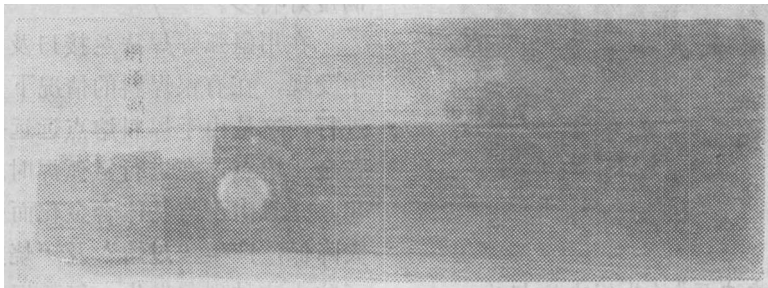


图 1 冲压波纹翅片模具

考虑到合金冷成型时具有大的回弹和小的塑性变形范围, 设计模具结构有两个特点: 一是成型齿前增加一个预成型齿, 齿为弧形, 展开长度与成型齿相等, 宽度也相等; 二是在成型齿后有一整形齿。靠弹簧作用预先压下, 以保证得到规则齿型。对 TC9 合金的最小冷弯半径没有做精确测量。但是, 实验表明 0.5mm 板在模具齿型圆角半径

为 0.5mm (即圆角半径等于板厚) 时, 材料开裂。当圆角半径增加至 1.0mm 时 (即圆角半径等于 2 倍板厚) 材料能顺利变形而不裂。1.0mm 板在齿型圆角为 3.0mm 时 (圆角半径等于 3 倍板厚) 弯曲保证不裂。

2. 冲压工艺 进行冷冲压单齿成型 (每次冲一个齿形), 经实验, 板材出现开裂, 开裂多发生在第二齿上。开裂原因不是弯

裂,而是被拉裂。由于在冲第二个齿时,除了后面待成型的板料补充外,又把前面已冲出的预成型齿(第一齿)拉回一部分。使前齿板料长度减少,当模具继续压下时,便将两齿之间弯角处的板料拉断。

考虑合金有较好的热态塑性,也进行了热成型实验,将板料用电炉加热至 600°C 后冲压,结果表明,热态成型虽然克服了回弹,有较规整波型。但是,由于薄板散热较快,在从炉中取出板料于模具安放对正过程中,板料很快降温,仍未能克服拉裂问题。而且钛合金在 550°C 以上会有明显氧化。多次重复地加热,就多次被氧化,这是所不希望的。利用“半齿冲压”可以克服板料受拉力作用,从而可以克服拉裂问题,其方法是将阳模放在下面,阴模放在上面,冲完第一齿后,将板料翻边后只送进半个齿。使一次冲压仅成形半个齿,以后每冲一次,便翻面并送进半齿。采用这个方法成功地冲制了冷侧及热侧波纹翅片。图2是“半齿冲压”的

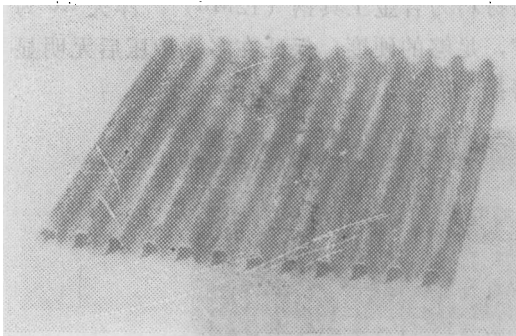


图2 “半齿冲压”的热侧波纹翅片

热侧波纹翅片。冲压采用机油润滑。冲压后再作一次整形。可以使波纹达到设计尺寸,即在整形模具上再冲压一次。采用如上方法成功地冲压出冷侧波纹翅片(高16mm、宽18mm、厚0.9mm)及热侧波纹翅片(高4.7mm、宽3.5mm、厚0.43mm)。

四、钎焊工艺

根据板翅式换热器的结构特点,要使各部件牢固地连接成一整体,一般采用钎焊方法。它要求波纹翅片与隔板钎焊后焊料的充满度要好,才能保证换热器的传热及强度性能。

1. 零部件准备 全部波纹翅片用铣刀下料,防止波纹翅片被氧化,最好不用砂轮切割。封条用拉床或刨床加工,内侧开钎焊坡口,外侧开氩弧焊坡口,为了便于在钎焊以前的氩弧焊接,隔板的四周要比原装配尺寸大 $1\sim 2\text{mm}$,而铺的焊料则比装配尺寸缩小 $5\sim 10\text{mm}$ 。焊料选用 0.1mm 厚的Ag $5\text{Al}_1\text{Mn}$ 薄片。

2. 组装 全部零部件在装配之前用氢氟酸洗去油垢,并烘干,表面光亮。为了不减弱出入口处隔板与导流波纹翅片的连接强度,叠放导流波纹翅片时不要缩入隔板之内,将焊料和零部件依次叠放完毕用夹具夹紧。实验证明,有预紧力的被钎焊件与无预紧力的被钎焊件相比,前者焊缝中的焊料充满度好得多。

在用氩弧焊焊法兰接口及垂直焊缝过程中发现,在有银焊料的情况下,氩弧焊无法进行,这是由于焊料熔点远远低于基体(钛合金)熔点,在进行氩弧焊时,焊料提前熔化,并且由于与基体合金化而使基体熔点大大降低,产生“过熔”及“烧穿”现象。为了防止这种现象发生,氩弧焊接应该在板束钎焊之前进行。

3. 钎焊 在真空充氩气炉中进行钎焊,被焊件周围表面上要敷满钛屑,防止加热时焊口被氧化。采用敷盖钛屑法的焊缝质量比不敷盖钛屑法的质量好得多。

钎焊前,对真空炉要进行充氩气洗炉数次,直至炉内干净后抽真空在 1.3Pa (10^{-2}mmHg)以下充入氩气,并保持炉内处于正压,防止空气渗入。工件随炉加热升温至

860℃保温40分钟。然后随炉冷却至室温。抽出氩气,使炉内外压力平衡,开炉取出工件。

五、结 论

1. 钛合金(TC9)具有较高的室温及高温强度,良好的工艺性能,在经过高温热稳定化处理以后,具有满意的热稳定性,可以用做500℃下长期工作的板翅式换热器材料。

2. 虽然钛合金冷变形较困难。但是采用本文提出的轧制及冲压工艺,能够轧制出

0.5mm及1.0mm板材。并且能够冲压出所需形状的波纹翅片。

3. 采用银基钎焊料进行钛及其合金的钎焊,有满意的浸润性及流动性,焊料充满度好,可以得到足够的焊接强度。采用本文叙述的制造工艺能够顺利地制作出钛合金板翅式换热器。

在本课题研究中崔本甲、熊焕熬、丁永锋、陈春和同志均作出贡献,表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 王松汉等. 板翅式换热器. 化学工业出版社, 1984.4

Manufacture of Titanium-Alloy-Finned Heat Exchangers

Su Yunhai

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

Presented in this paper is a description of finned heat exchangers constructed of titanium alloy (TC9). Rolling process of 0.5—1mm thick sheets, press-forming of corrugated fins, soldering paste and soldering process are investigated.

Key Words: *heat exchanger, manufacture, forming process*

更 正

因原稿有误,特做如下更正:

1. 1990年第1期第33页文章作者“刘殿殿”应为“刘殿彪”。
2. 1988年第6期第51页文章作者应为“宋锦秀 杨成毅”