

一种新型板式换热器钛带 制备工艺

Preparation Process of A New Type of Titanium Strip for Plate Heat Exchanger

供稿|牛文宇^{1,2}, 魏东东^{1,2}, 张平平^{1,2}, 任浩^{1,2}, 王欣^{1,2}, 肖璞^{1,2} / NIU Wenyu^{1,2}, WEI Dongdong^{1,2},
ZHANG Pingping^{1,2}, REN Hao^{1,2}, WANG Xin^{1,2}, XIAO Ying^{1,2}

内 容 导 读

研究了3种不同轧制工艺参数制备的0.5 mm板式换热器钛带的金相组织、强度、塑性以及表面硬度和杯突值。结果表明:采用方案2,在真空罩式炉中,退火温度630 °C,保温10 h,可获得综合性能良好的0.5 mm板式换热器用钛带;采用方案1晶粒尺寸为63.5~89.5 μm,发生明显的长大和粗化;方案3晶粒尺寸13.2~18.5 μm。

钛带是用高品质海绵钛作为原材料,经开平、分条工艺生产的钛板材,幅宽1000~1530 mm。主要用于大型民客机、军用飞机、航天飞行器、核潜艇、核电站等高新技术领域^[1]。其特殊用途很多,主要用于化工、冶金、电力等行业的纯钛板(宽度大于1000 mm),如板式换热器用钛板、复合板用钛板、焊管用钛板,餐具用钛板等^[2-3]。随着我国能源和海水淡化项目启动,钛带的用量越来越大,尤其是冷轧钛带。钛板式换热器(见图1)用冷轧钛带,相比片式轧制生产钛板,因生产效率高、成本低、尺寸精度及性能稳定,而深受钛板式换热器厂家的青睐。钛板式换热器是以波纹为传热面的新型、高效换热器,广泛应用于化工、石油、冶金、电力、船舶、海洋、医药等工业部门的加热、冷却、冷

凝、蒸发工艺过程中^[4-5]。随着人们对板式换热器优越性的进一步认识和其应用领域的扩大,板式换热器的发展迅速,目前已成为主要的换热设备。钛板式换热器由于其高效紧凑以及出色的抗腐蚀能力,已成为许多强腐蚀工况中的首选设备。对钛板片压制精度越高,板片之间的接触点所承受压力就越均匀,板片的承压能力也越强。为了满足压制成型的“苛刻”条件,提高换热效率,要求钛板式换热器板片(钛板换料)厚度小于1 mm,常用钛板换料厚度为0.5、0.6和0.7 mm,对板式换热器用钛卷的强度、延伸率、杯突值、晶粒组织有着特别要求。

为了加大板式换热器发展力度,使其更加广泛的应用于各个领域,全面实现板式换热器用钛带卷国产化,提高板换料质量。本文通过采用0级海绵

作者单位:1.新疆湘润新材料科技有限公司,新疆 哈密 839000;2.西安湘润新材料科技有限公司,西安 710000

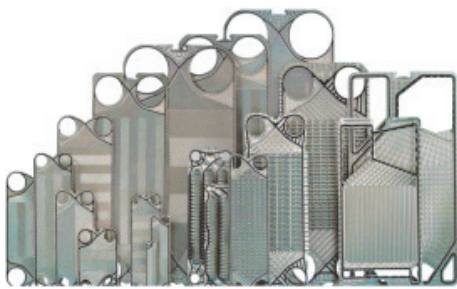


图1 钛板式换热器

钛投料，在不同的冷轧变形量下，通过中间退火以及成品退火工艺参数优化设计，研究组织均匀性、

性能稳定性和尺寸精度，进一步提高板换料压制成型率，获得一种满足标准要求的用于制备 0.5 mm 板式换热器的钛带。

实验

实验材料

实验用料为湘润新材料科技有限公司公司制备的直径 1020 mm、9 t 的 TA1 铸锭，铸锭经 4500 t 快锻机开坯成 200 mm×1250 mm 板坯进行轧制，对铸锭进行 3 次化学成分分析，结果见表 1。

表1 TA1 铸锭化学成分（质量分数）

%

分析编号	Fe	C	H	N	O
1 [#]	0.034	0.004	0.002	0.004	0.035
2 [#]	0.024	0.005	0.003	0.005	0.040
3 [#]	0.028	0.004	0.002	0.004	0.038
平均值	0.029	0.004	0.002	0.004	0.038

实验方法

板式换热器用钛带的生产加工流程为：0 级海绵钛→电极块制备→两次真空自耗熔炼→板坯锻造→板坯加工→板坯加热→热轧→热线连续退火→冷轧→脱脂→真空罩式炉退火→拉矫→切边→压制成

型。在完全结晶温度条件下退火，退火温度是晶粒尺寸变化的主要因素，其他工艺参数对组织影响较小，因此考察不同退火温度对钛带力学性能、工艺性能和显微组织的影响，方案工艺参数如表 2 所示。

表2 方案工艺参数

工艺方案	热轧（粗轧+精轧）		中间退火1		冷轧—轧程总	中间退火2		冷轧二轧程总	成品真空罩式炉	
	温度/℃	总变形量/%	温度/℃	速度/(m/min)	变形量/%	温度/℃	速度/(m/min)	变形量/%	温度/℃	时间/h
方案1	880±10	98.18	750	12	50.00	730	10	75.00	650	10
方案2	880±10	97.95	750	10	55.55	730	12	75.00	630	10
方案3	880±10	97.72	750	10	60.00	730	12	75.00	620	10

结果及讨论

板式换热器用钛带的质量与材料的成分、压制模具具有一定关系，但轧制工艺直接影响钛带的机械性能、工艺性能和显微组织。经过以上 3 种轧制工艺，检测显微组织、力学性能和工艺性能。

钛带材显微组织

图 2 所示为 3 种不同工艺参数制备厚度 0.5 mm 钛带金相组织图。方案 1 制备的厚度 0.5 mm 钛带，其组织晶粒冷轧变形破碎的拉长纤维状已发生再结晶，并发生明显的长大和粗化，晶粒尺寸范围 63.5~89.5 μm；方案 2 在真空罩式炉中，成品退火温

度 630 °C，保温 10 h，晶粒组织均匀，晶粒尺寸为 26.5~44.9 μm，压制变形处表面色泽均匀一致，无晶粒粗糙现象；方案 3 成品退火温度 620 °C，保温 10 h，被拉长轧制态形貌已完全消失，晶粒完全等轴化，部分晶粒已经长大，部分晶粒仍较为细小，晶粒尺寸为 13.2~18.5 μm。对比 3 种方案工艺参数，在真空罩式炉中，采用完全再结晶成品退火时，退火温度从 620 升高至 650 °C，冷轧变形破碎的拉长纤维状组织晶粒随之长大，并发生明显的粗化。

钛带材力学性能和工艺性能

从制备的钛带材取样，测试其拉伸性能、表面

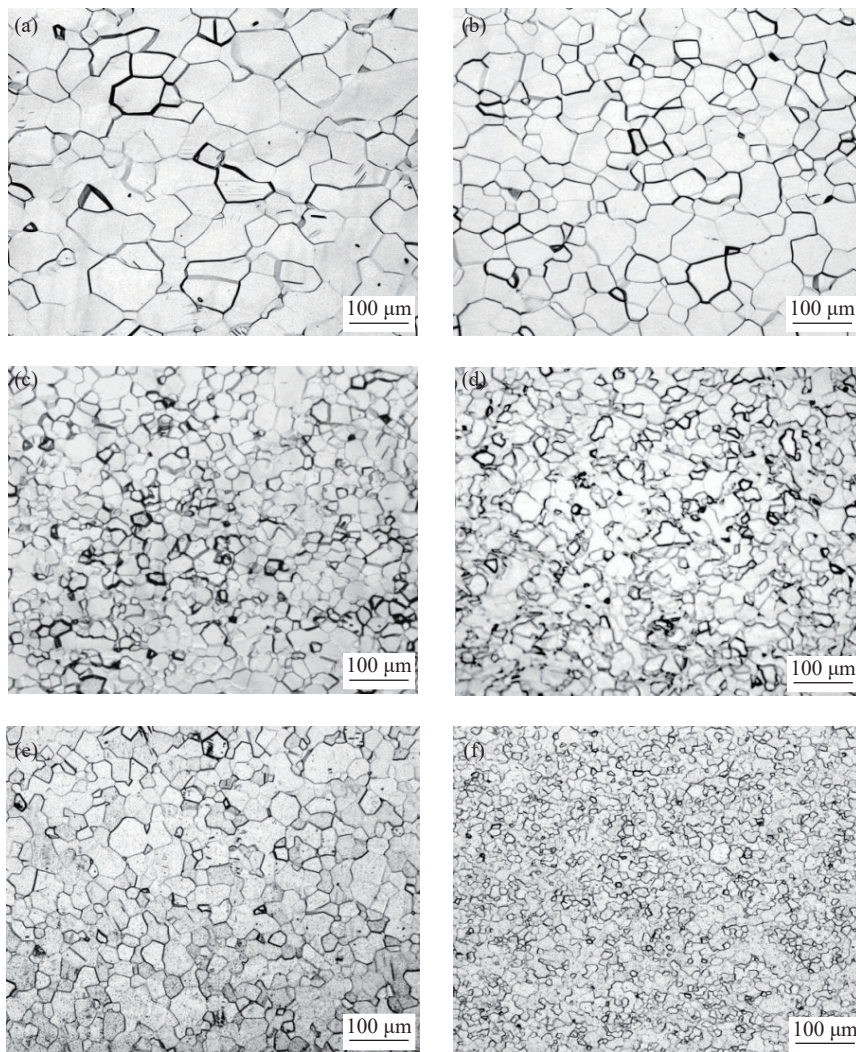


图2 3种不同方案的钛带显微组织:(a)方案1头段;(b)方案1尾段;(c)方案2头段;(d)方案2尾段;(e)方案3头段;(f)方案3尾段

硬度和杯突值等指标,结果见表3。可以看出,采用3种方案制备的钛带材,其横向(T)及纵向(L)拉伸性能检测结果,均符合板式换热器技术标准^[6]要求:抗拉强度 $R_m \geq 240$ MPa,屈服强度 $R_{p0.2} \geq 140$ MPa,延伸率 $A \geq 55\%$ 。钛带横向机械性能实测值范围:抗拉强度 $R_m = 300 \sim 325$ MPa,屈服强度 $R_{p0.2} = 205 \sim 235$ MPa,延伸率 $A = 62\% \sim 67\%$,纵向机械性能实测值范围:抗拉强度 $R_m = 305 \sim 340$ MPa,屈服强度 $R_{p0.2} = 158 \sim 195$ MPa,延伸率 $A = 65\% \sim 68\%$ 。横、纵向屈强比值范围:0.52~0.72,符合板式换热器技术标准要求中规定屈强比值 ≤ 0.75 ,表明材料冲压性能较好;钛带表面硬度HV1实测值范围为112~125,满足标准中要求规定表面硬度 $HV1 \leq 130$ 。杯突值检测结果符合板式换热器技术标准要求 ≥ 9.5 mm,

其中采用方案1制备的钛带头、尾杯突值分别为11.3和11.6 mm;方案2制备的钛带头、尾杯突值分别为11.2和11.4 mm;方案3制备的钛带头、尾杯突值分别为10.6和10.8 mm。因此3种方案制备的0.5 mm板式换热器钛带力学性能和工艺性能均符合板式换热器用钛带技术要求。

结果分析

对比3种方案制备的钛带的金相组织、强度、塑性以及表面硬度和杯突值检测结果,仅方案2制备的厚度0.5 mm板式换热器钛带晶粒尺寸为 $26.5 \sim 44.9 \mu\text{m}$,符合板式换热器用钛带晶粒尺寸标准($20.0 \sim 80.0 \mu\text{m}$)要求。其抗拉强度 $R_m = 310 \sim 330$ MPa,平均横向屈服强度212.5 MPa,平均纵向屈服强度分别

表 3 3 种不同工艺制备的钛带力学性能和工艺性能

工艺方案	试样方向	抗拉强度, R_m /MPa	屈服强度, $R_{p0.2}$ /MPa	延伸率, A /%	屈强比	表面硬度, HV1	杯突值/mm
方案1	头T	300	208	64	0.69	112	11.3
	头L	305	158	67	0.52		
	尾T	310	209	63	0.67	116	11.6
	尾L	315	176	68	0.56		
方案2	头T	312	205	67	0.66	118	11.2
	头L	330	175	68	0.53		
	尾T	310	220	65	0.71	120	11.4
	尾L	325	185	66	0.57		
方案3	头T	320	228	62	0.71	122	10.6
	头L	340	186	65	0.55		
	尾T	325	235	64	0.72	125	10.8
	尾L	338	195	68	0.58		

为 180 MPa, 平均延伸率为 66.5%。平均杯突值为 11.3 mm, 平均表面硬度 HV1 为 119, 力学性能和工艺性能也满足板式换热器用钛带技术要求。表明采用方案 2 可获得综合性能良好的厚度 0.5 mm 板式换热器用钛带。

结束语

(1) 对比 3 种方案参数制备的厚度 0.5 mm 板式换热器钛带, 采用方案 1, 成品退火温度 650 °C, 与方案 2 相同的保温时间, 晶粒尺寸为 63.5~89.5 μm , 发生明显的长大和粗化。相比方案 1 和 2, 方案 3 的成品退火温度 620 °C, 晶粒尺寸 13.2~18.5 μm 。

(2) 3 种方案采用 0 级海绵钛投料, 通过不同热轧、冷轧变形量设计以及成品退火工艺, 结果表明 3 种方案制备的钛带都能满足板式换热器用钛板力学性能和工艺性能要求, 但采用方案 2 在真空罩式炉中, 成品退火温度 630 °C, 保温 10 h, 可满足

换热器用钛带晶粒尺寸标准要求。

参考文献

- [1] 陈玉良, 刘建良, 黄子良, 等. 国内钛带卷生产现状及发展前景. 钛工业进展, 2010, 27(5): 6
- [2] 张文毓. 钛制板式换热器在海水淡中的应用. 钛工业进展, 2009, 26(1): 31
- [3] 江先锋, 向顺华, 陈乃录. 退火工艺对冷轧纯钛带再结晶结构的影响. 热加工工艺, 2011, 40(18): 166
- [4] 李晓军, 王文君, 牛蓉蓉, 等. 深冲成型用 TA1 钛带热处理工艺研究. 科技创新与应用, 2018(26): 95
- [5] 张平平, 魏东东, 牛文字, 等. 退火工艺对钛阳极用 10 mm TA1 钛卷组织和性能的影响. 金属世界, 2022(4): 92
- [6] 全国有色金属技术标准化技术委员会. GB/T 14845—2007 板式换热器用钛板. 北京: 中国标准出版社, 2007

作者简介: 牛文字 (1992—), 男, 陕西省西安市人, 技术工程师。2015 年毕业于西安工业大学金属材料工程专业, 主要研究方向: 钛及钛合金加工研究。通信地址: 陕西省西安市未央区未央路 301 号西安城发中心; E-mail: 491587106@qq.com。