

刮板薄膜蒸发器的选材分析

徐建茹, 李 兰, 任 伟

(石家庄工大化工设备有限公司, 河北省蒸发结晶及干燥工程技术研究中心, 河北 石家庄 050031)

摘要:将刮板薄膜蒸发器的材质与之前的材质进行了对比, 分别从宏观和微观上在相同条件下对 304L、316L 和 1Cr18Ni9Ti 3 种不锈钢材料进行分析研究。分析了蒸发器的腐蚀原因和过程, 最终认为 316L 不锈钢在本设备上的耐腐蚀性相对较好。

关键词:刮板薄膜蒸发器; 腐蚀; 材料分析

中图分类号: TQ050.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2014)06-0116-02

Analysis on selection of scraped thin film evaporator

XU Jian-ru, LI Lan, REN Wei

(Shijiazhuang Gongda Chemical Equipment Co., Ltd., Evaporation Crystallization and Drying Engineering Technology Research Center in Hebei, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The material quality of scraped thin film evaporators is compared. The comparison of three kinds of stainless steels, 304L, 316 and 1Cr18Ni9Ti, are carried out in a macroscopic and microscopic point of view. The corrosion reason and process of scraped thin film evaporators are analyzed. The corrosion resistance of 316L stainless steel used in scraped thin film evaporators is proposed to have relatively better corrosion resistance.

Key words: scraper film evaporator; corrosion; material analysis

旋转刮板薄膜蒸发器是一种通过旋转刮板强制成膜, 可在真空条件下进行降膜蒸发的新型高效蒸发器。它传热系数大、蒸发强度高、过流时间短、操作弹性大, 尤其适宜热敏性物料、高黏度物料及易结晶含颗粒物料的蒸发浓缩、脱气脱溶、蒸馏提纯。因此, 在化工、石化、医药、农药、日化、食品、精细化工等行业获得广泛应用。笔者所在公司生产制造该类设备已 10 年有余, 积累了丰富的制造和使用经验。多年来, 根据市场需求, 密切结合用户的生产实际, 以满足用户的工艺要求为前提, 选择合理适宜的设备结构, 保证上乘可靠的制造质量, 在工装设备、检测手段及产品设计等方面不断改进并日趋完善, 取得了引人瞩目的成绩。

现就本公司之前生产的一台刮板薄膜蒸发器进行分析, 用于某化纤公司的己内酰胺蒸发。此刮板薄膜蒸发器是几年前进口某国家的, 当时考虑腐蚀及成本等多方面因素, 选用了 304L 材质。设备正常运行几年后, 最下面一截筒体内壁失稳变形, 导致转子与内壁碰撞, 设备不能正常运行。对此, 进行了如下分析。

1 腐蚀原因的研究分析

在已工业化的己内酰胺各生产方法中, 肟法仍是 20 世纪 80 年代工业应用最广的方法, 其产量占己内酰胺产量中的绝大部分。甲苯法由于甲苯资源丰富, 生产成本低, 但设备腐蚀严重。原设备壳体用

的是 304L 板材, 运行中发现存在均匀腐蚀。后检查拆下的原刮板薄膜蒸发器筒体, 其壁厚只有原厚度的 1/2 ~ 2/3。查阅相关腐蚀方面文献资料, 根据对筒体材料的宏观检查、化学成分、扫描电镜等腐蚀实效分析, 认为其内壁减薄主要是由于高速液膜液体所造成的有机酸冲刷腐蚀所致。

1.1 宏观检查

取样部位为蒸发器下端发生内陷部位的器壁材料, 为器内腐蚀最严重的部位, 具有一定的代表性。蒸发器原始壁厚为 13 mm, 而对截材厚度测量 5 个点后取平均值得到腐蚀失效后器壁厚为 6.58 mm, 减薄很严重, 腐蚀速率达到 1.096 7 mm/a。另外, 观察截材器壁减薄面(如图 1 所示)可知, 腐蚀表面光滑无垢, 没有明显的腐蚀产物, 而且顺着器内壁液膜流动方向产生了严重的沟槽, 这些都是有机酸冲刷腐蚀的特征。

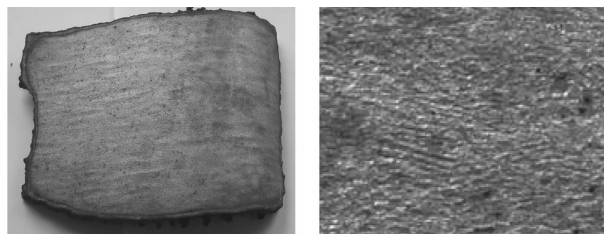


图 1 蒸发器内壁宏观腐蚀形貌照片

1.2 化学成分和金相组织分析

对失效器壁截材进行了化学成分分析和金相组织观察, 并与常规 304L 不锈钢进行了对比。表 1 是

304L 截材的化学成分,由表 1 可见失效器壁的化学成分与 ASME 标准^[1]中 304L 的成分差别不大,基本符合该标准的要求。

表 1 304L 不锈钢化学成分分析结果 %

标准成分	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr
质量分数	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	8~12	18~20
实际成分	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr
质量分数	0.018	1.36	0.045	0.0033	0.50	10.26	18.80

表 2 是 1Cr18Ni9Ti 的化学成分,表 3 是 316L 的化学成分。1Cr18Ni9Ti 不锈钢板中的 Ti 作为稳定化元素,存在于 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板在不同浓度、不同温度的无机酸中,尤其是在氧化性介质中具有良好的耐磨蚀性能,用于制造耐磨酸容器和耐磨设备的 321 不锈钢板衬里、输送管道。316L 不锈钢由于添加 Mo,阻抑奥氏体到珠光体转变的能力很强,从而提高钢的淬透性,并为贝氏体高强度钢的主要合金化元素。Mn 质量分数约 0.2% 时,能降低或抑制其他合金元素导致的回火脆性,有二次硬化作用,提高钢的热强性。Mo 质量分数 2%~3% 能增加耐蚀钢的抗有机酸及还原性介质腐蚀的能力,特别是耐点蚀性能优秀;比较之后得出 304L 既不含钛也不含钼,1Cr18Ni9Ti 含钛,316L 含钼,性能最优,1Cr18Ni9Ti/304 一般。

表 2 1Cr18Ni9Ti 不锈钢化学成分 %

标准成分	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Ti
质量分数	0.080	2.00	0.045	0.030	1	9~12	17~19	5~7

表 3 316L 不锈钢化学成分 %

标准成分	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
质量分数	0.030	2.00	0.035	0.030	1	12~15	16~18	2~3

注:其余成分是 Fe。

从失效 304L 不锈钢截材上截取一小块试样进行金相观察,并与常规 304L 金相组织进行对比。将试样横截面用碳化硅耐水砂纸从 200[#] 依次打磨到 2000[#],用 1.5[#] 金刚石抛光膏抛光,用金相显微镜进行显微组织观察。图 2 和图 3 分别是失效截材和常规 304L 的金相组织照片。对比两图可知,失效 304L 不锈钢器壁的晶粒均匀,为典型的奥氏体组织,与常规 304L 不锈钢金相组织基本相同,未见组织有异常情况。

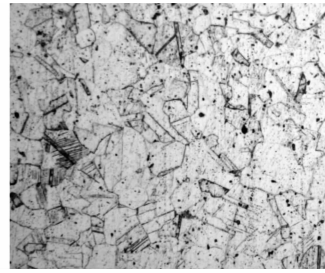


图 2 失效器壁截材的金相组织

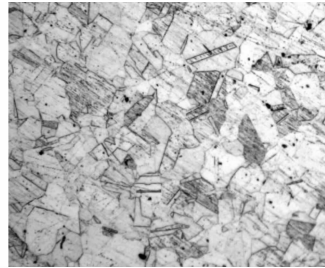


图 3 304L 不锈钢的金相组织

2 材料选择的研究

电化学极化曲线测量是实验室研究金属材料耐蚀性常用的方法^[2-3],可以在较短的时间内通过研究材料在特定介质中的电化学极化过程,推测材料在这种介质环境下的耐蚀性能,进而为实际选材提供快速有效的参考依据。主要对 304L、316L 和 1Cr18Ni9Ti 3 种不锈钢材料在酸性介质中的耐蚀性进行了电化学极化测量。

首先作为模拟介质,对 3 种不锈钢材料的电化学极化过程进行了测量。实验过程中采用三电极体系,选取饱和 KCl 甘汞电极作为参比电极,用 2273 电化学测量仪进行极化测量。

由图 4 的极化曲线可知,3 种不锈钢材料在薄膜蒸发器的进料和出料溶液中都具有典型的阳极钝化过程。304L 和 1Cr18Ni9Ti 在阳极区的钝化曲线基本类似,而 316L 则呈现出了较复杂的阳极钝化过程,而且钝化区要大于前两者,在高电位区与其他

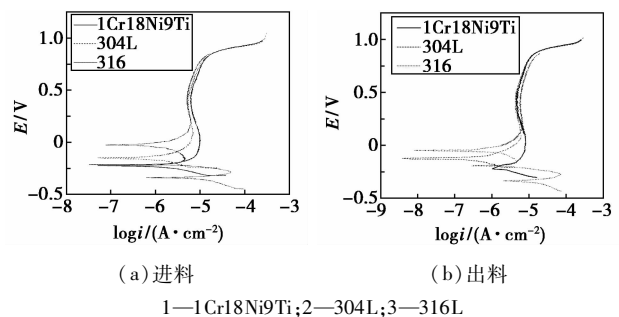


图 4 3 种不锈钢在溶液中的极化曲线

(下转第 119 页)

洗涤,CO₂与洗涤液进行反应生成介稳化合物或者加合物,然后在减压条件下通过加热使生成物解吸释放CO₂,解吸后的溶液循环使用。化学法典型代表为碳酸钾溶液作吸收剂的脱碳工艺。物理吸收法CO₂被溶剂吸收时不发生化学反应,富液在减压条件下解吸释放CO₂,解吸后的溶液循环使用。其常用的方法有变压吸附法和低温甲醇法等。在常用的湿法脱碳工艺中,无论是化学法还是物理法,吸收总是在加压的条件下进行,解吸再生总是在减压的条件下进行。

在湿法脱碳工艺中,贫液在高压状态下吸收原料气中的CO₂、酸性气体,富液在低压状态下进行再生,再生后的贫液通过贫液泵增压至高压状态,以此形成循环。高压富液进入再生塔时不需要高压能量,通常采用减压阀将其高压能量减掉,从吸收塔底部流出富液的高压能量大部分消耗在减压阀上,而且不做任何有用功,造成了高压富液压力能浪费,因此应该合理回收和利用富液中余压能量。同时,湿法脱碳工艺中吸收塔的压力越高,越有利于CO₂的脱除,如果不高效地回收脱碳工艺中高压富液的能量,脱碳工艺的电耗是很难降低的。

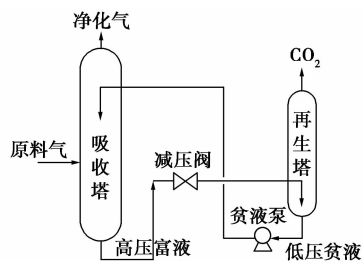


图1 湿法脱碳基本工艺流程

根据国内外余压回收技术和湿法脱碳工艺最新进展,可以采用余压透平发电装置回收和利用高压富液压力能,不仅可以降低工艺过程中能耗,而且可以大大提高经济效益^[3]。湿法脱碳基本工艺流程如图1所示。

1.2 湿法脱碳工艺中富液余压回收方案

针对湿法脱碳工艺中高压富液压力能浪费的情况,可以在吸收塔和再生塔之间增加透平发电装置代替原来的减压阀。该装置由透平机和发电机构成。吸收塔底部流出高压富液经过透平发电装置减压后进入再生系统,然后从再生塔流出的低压贫液泵入到吸收塔顶部。过程中高压富液压力能作用于透平叶轮,使其旋转做功转化成机械能,再由透平机主轴将其能量传递到发电机,驱动发电机发电,实现机械能到电能的转化。将其产生的电能供车间厂房机电设备使用,达到节省电能的目的。该装置独立设置,便于输送和布置管路,对系统性能参数适应性强,极大地回收和利用工艺过程中的余压能量。节能降耗,一举两得。湿法脱碳工艺流程如图2所示。

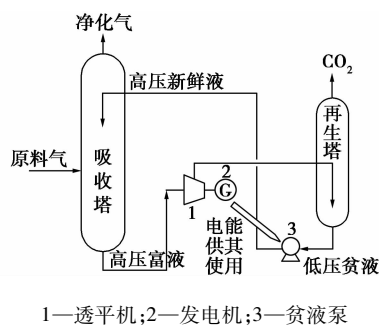


图2 应用透平发电装置湿法脱碳工艺流程

(上接第117页)

2种材料类似。总之,通过对比可以得出,316L的钝化行为要优于其他2种材料。

文献[4-5]也表明,当不锈钢中Mo含量增加时,会改变金属基体的电化学状态,使金属晶体中的电子更加趋向不容易失去;Mo也能提高不锈钢的点蚀抗力和硫腐蚀抗力来改善其耐环烷酸腐蚀性能。大量实验证明,含有Mo元素的316L不锈钢在有机酸介质中比304L不锈钢具有更好的抗腐蚀和冲蚀性能。所以决定材料改用316L,这样设备寿命将会大大提高。

3 改造效果

该设备于2009年由本公司改造使用至今,一直

运行正常,内筒体未发现变形及开裂现象,传热、传质的效率基本上和原来一致。筒体减薄现象不明显,未影响设备本体的强度。证明了在选材方面研究的正确性。

参考文献

- [1] 中国特钢企业协会不锈钢分会. 不锈钢实用手册[M]. 北京:中国科学技术出版社,2003.
- [2] 化学工业部化工机械研究院. 腐蚀与防护手册[M]. 北京:化学工业出版社,1991.
- [3] 肖纪美. 应力作用下的金属腐蚀[M]. 北京:化学工业出版社,1990.
- [4] 刘永祥,张佩芬. 金属腐蚀学原理[M]. 北京:航空工业出版社,1993.
- [5] 左景伊. 腐蚀数据手册[M]. 北京:化学工业出版社,1994. ■