

超声清洗槽内空化强度的测量^{*}

王向红 毛汉领 黄振峰[†]

(广西大学机械工程学院 南宁 530004)

摘要 对洗涤槽内超声空化的相对强度及其分布进行了研究。采用铝箔腐蚀法,应用图像、数据处理软件对试验结果进行处理,最后对实验结果进行了讨论。

关键词 铝箔腐蚀法,清洗,超声,相对强度,空化

Measurement of cavitating intensity in a washing trough under the effect of ultrasonic wave

WANG Xiang-Hong MAO Han-Ling HUANG Zhen-Feng

(Institute of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004)

Abstract The relative intensity and distribution of ultrasonic cavitation in a washing trough is measured, in which the method of aluminum foil erosion is adopted and the software of image and data processing is applied to measure the experimentation results which are finally discussed.

Key words Method of aluminum foil erosion, Washing, Ultrasonic, Relative intensity, Cavitation

1 引言

超声波清洗设备性能的优劣,从使用角度衡量,主要是清洗效果的好坏。但是清洗效果和诸多因素有关,它不但取决于超声清洗设备本身,而且和清洗对象的几何形状、材质,污物及清洗液的物理化学性质,环境的温度和压力等有关。超声波清洗的主要机理是超声空化效应,而超声空化的强弱和超声波的频率、功

率,清洗液的表面张力、蒸汽压、粘度、工作温度和流变特性等有关。从超声清洗设备本身而言,最主要的性能是超声空化的强弱,可是到目前为止,还没有一种方法能够测量超声空化的绝对强度,而常常采用一些较为简单的方法来衡量空化的相对强度,如铝箔腐蚀法、染色法、声致自由基的测量以及实时谱分析和统计平均法等^[1]。我们用铝箔腐蚀法测量了超声空化的相对强度,并研究了洗涤槽空化强度的

2003-12-30 收稿; 2004-12-27 定稿

^{*} 广西科学基金青年项目(项目编号:桂科青 0135004)

作者简介:王向红(1977-),女,湖南洞口县人,硕士研究生,主要研究方向为机电液一体化技术。

毛汉领(1963-),男,教授,博士。黄振峰(1963-),男,副教授。

[†] 通讯联系人 Email: wangxianghong2000@126.com

现状, 分析了洗涤对超声波的要求。

2 铝箔腐蚀法

超声空化是指液体中存在的微小泡核(空化核)在超声波作用下振动、生长和急剧闭合的动力学过程。在气泡闭合的瞬间产生局部高温和高压, 又产生机械力足以使物质破碎。局部高温高压环境足以使水分子解裂成 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{H}$ 自由基。同时由于空化泡运动的非线性, 会出现谐频、分谐频和一系列噪声。因此, 可以利用超声空化效应对物质的破碎, 水溶液所产生的自由基, 以及对空化噪声的分析来判别超声空化的相对强度。铝箔腐蚀法就是利用超声空化效应对铝箔的腐蚀和冲击作用使其破碎而产生小孔的方法。具体过程如下:

取表面平整光滑, 厚度几十微米的铝箔固定在一框架上, 其面积大小根据测量要求而定。将铝箔水平浸入装有水的超声清洗槽中并固定在某一深度, 开机一定时间后取出, 可以看到在铝箔上被腐蚀出许多小孔。超声波作用的时间不能过长, 否则铝箔会一块块地腐蚀脱落。这种方法能直观、定性地观察到空化的强弱和水平方向的分布。如果要观察清洗槽中液体深度方向空化分布, 则铝箔应垂直插入槽中。要比较不同功率水平的空化强度时, 应尽量保持测试条件相同, 例如水深、水质、工作温度和超声波作用时间等等条件要保持不变。

如果铝箔表面非常平整光洁, 声波作用时间很短, 箔的表面不会出现穿孔, 但却已产生变形, 此时如果用光学方法测量其对光的反射程度会更加准确地了解空化的强弱。当空化强, 铝箔变形大, 光散射增加, 而正面反射光变弱, 接收正面反射光的强弱可以判别空化的弱或者强。

3 洗涤槽内超声空化强度的测量

(1) 试验方法及试验参数

鉴于以上的理论基础, 采用铝箔腐蚀法来

描述容积为 $470 \times 410 \times 420 \text{mm}^3$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) 的洗涤槽内的超声空化强度的分布情况。洗涤槽俯视图如图 1 所示。

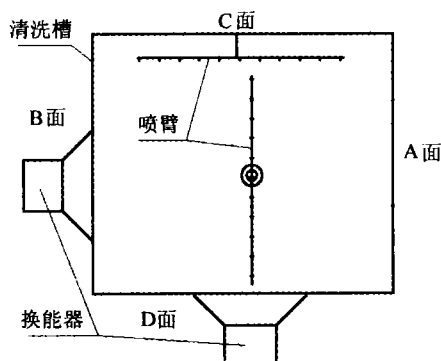


图 1 洗涤槽俯视图

超声频率 28kHz, 清洗液为自来水且在室温 (25°C) 时, 液面离清洗槽顶部为 70mm, 超声功率 300w, 超声作用时间 3min。分别在单面超声作用 (B 面的换能器工作)、双面超声作用、单面超声且扫频作用 (B 面的换能器工作) 和双面超声且扫频作用时, 用长 $\times$ 宽为 $295 \times 270 \text{mm}^2$ 的木框固定铝箔纸, 先后平行 A、B 两个面垂直放入水中并固定, 以声源为起点, A、B 两个面以步长分别为 5.85cm、6cm 的距离测量不同的八个位置的空化强度。

(2) 试验结果的处理

为了直观定量地描述洗涤槽内超声空化效应的相对强度, 需对试验结果进行简化处理。定义每一张铝箔纸腐蚀面积与整个面积的百分比即为超声空化的相对强度。处理过程为: 对每一张超声作用后的铝箔纸拍照, 然后用平面图像处理软件, 把照片变成灰度模式, 通过调节黑白对比度来区分腐蚀区域和非腐蚀区域, 使腐蚀部分显示为黑色 (色阶为 0), 非腐蚀部分为白色 (色阶为 255), 最后用软件中的 histogram 功能 (直方图功能) 计算出腐蚀面积所占整个面积的百分数, 即黑色像素和图像总像素的比值做为空化相对强度。在不同情况下平行 A 面和 B 面的试验结果分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 平行 A 面的空化相对强度

离声源距离 (cm)	0	6	12	18	24	30	36	42
单面作用 (相对强度 %)	5.1	20.24	21.57	10.47	8.77	7.26	8.03	6.87
单面扫频作用 (相对强度 %)	20.85	21.42	33.6	26.69	27.77	22.5	22.92	19.86
双面作用 (相对强度 %)	8.21	2.93	7.3	5.5	8.0	10.91	7.47	6.37
双面扫频作用 (相对强度 %)	6.43	6.55	10.85	11.53	10.64	19.46	33.04	18.93

表 2 平行 B 面的空化相对强度

离声源距离 (cm)	0	5.85	11.7	17.55	23.4	29.25	35.1	40.95
单面作用 (相对强度 %)	3.65	12.92	10.46	15.31	6.49	6.65	5.18	1.97
单面扫频作用 (相对强度 %)	7.7	43.58	33.68	51.37	52.95	44.20	31.07	17.37
双面作用 (相对强度 %)	7.26	9.46	8.63	7.54	9.18	4.26	3.68	4.94
双面扫频作用 (相对强度 %)	11.40	10.16	14.61	18.75	22.83	22.37	24.44	19.28

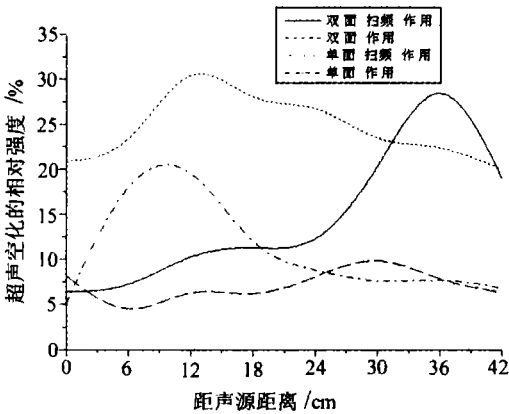


图 2 平行 A 面空化场分布

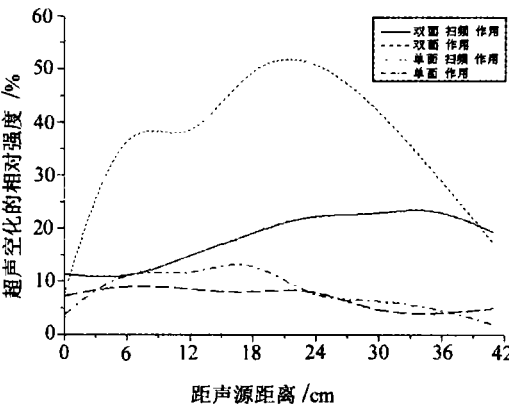


图 3 平行 B 面空化场分布

对表 1、表 2 的数据在数据分析处理软件 Origin 中用 B-Spline 曲线进行拟合, 可得空化场分布曲线分别如图 2、图 3 所示。

4 试验结果分析

根据图 2 和图 3, 可以得出以下结论:

(1) 空化强度在清洗槽中部最大, 而在远离声源的地方声强有所减弱。这是由于较高的声强会造成空化泡过多, 形成声波屏障, 使声波不容易传播到整个液体空间 [3], 因而造成在离声源较远的地方, 空化相对强度变小。

(2) 有扫频作用时比没有扫频作用时清洗效果要好。由于清洗槽是有限空间, 超声波由声源向液面传播时, 在液体和清洗槽壁及和气体的交界面会反射回来而形成驻波 [2]。这样会造成清洗不均匀的现象。要减少驻波的影响, 可将清洗槽特意做成不规则的形状, 避免驻波的形成, 或者在超声电源方面采取扫频的工作方式, 也就是在清洗过程中使超声频率在合理的范围 (25kHz~30kHz, 步长为 100Hz) 内往复扫动, 让声压最小点不固定在一个地方, 而是不断地移动, 同时带动清洗液形成细微回流, 以减少清洗的不均匀现象。通过比较图 4 和图 5, 可以明显地看出, 扫频作用后铝箔纸腐蚀孔较小且分布比较均匀, 也就是说超声空化场分布

较均匀, 而无扫频作用时铝箔纸腐蚀孔较大, 集中在局部, 使局部易产生蚀点, 对餐具和清洗槽都是不利的。这一点从图 2 和图 3 中也反映出来。

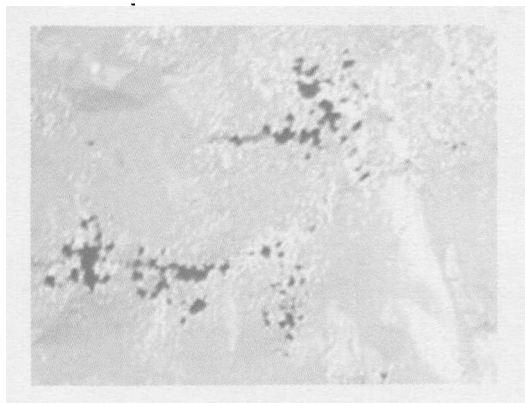


图 4 有扫频作用时铝箔腐蚀情况

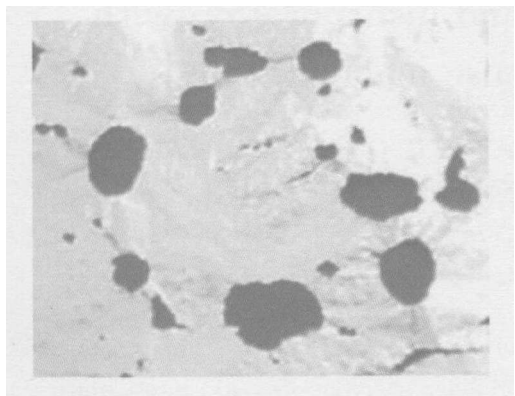


图 5 无扫频作用时铝箔腐蚀情况

(3) 相同的作用条件下, 单面作用比双面作用空化强度要高。超声波是一种波, 由波的叠加性, 双面都有波传播时, 两列波发生叠加, 相互抵消反而减弱了清洗效果。这一点在后续的对洗涤方式进行研究的试验中也得到了验证。

(4) 空化的相对强度大小的直观表现形式在一定程度上确定清洗效果的好坏, 从图 2 和图 3 上可以看出, 单面扫频作用效果最好, 双面扫频作用和单面作用效果其次, 双面作用的效果最差。

5 结束语

通过铝箔腐蚀法, 分别描述了在不同作用面加超声波、单频和扫频作用下洗涤槽内空化的相对强度。测试分析结果表明, 单面扫频超声波作用时空化效果最好, 否定了双面同时超声波作用的设想, 这对超声清洗的参数选择提供了重要依据, 有一定实际指导意义。但此种测量方法所测得的结果, 只能反映超声清洗机空槽时的清洗效果, 要得到较全面的衡量, 还得看实际的洗涤效果。

参 考 文 献

- 1 林仲茂, 方启平. 化学清洗, 1998, 14(5): 41~44.
- 2 林仲茂, 方启平. 化学清洗, 1998, 14(6): 44~46.
- 3 任建新主编. 物理清洗. 北京: 化学工业出版社, 2000. 195~197.