

超声波焊接专家系统 焊接

超声波焊接专家系统的探索及开发

17-20

齐志扬 罗红林 涛

(上海交通大学 上海 200030)

1993年2月23日收到

TG 453.9

超声波焊接 ES 软件包括三个相关的模块,即材料可焊性判别、声学系统优化 CAD 以及焊接工艺参数优选。本系统采用 C 语言并通过 TurboC 编译。

声学系统优化 CAD 软件提供换能器、聚能器、耦合杆以及上声极等“声学元件”的优化设计方法。

SD-1 型锂电池专用超声波焊机即采用该系统进行设计并取得满意效果。

一、前言

超声波焊接作为特殊的固相焊接方法已经获得相当广泛的应用。作为超声波焊机的核心部分——声学系统的结构日趋复杂化,设计更显困难。目前国内外基本上采用工程经验设计方法,不仅速度慢而且精度低。

我们根据多年来从事超声波焊接的研究成果,探索建立有关超声波焊接“专家系统”(ES)的可能性,使这种比较困难的设计项目能借助于计算机技术而大大提高设计速度及精度。

二、超声波焊接专家系统(ES)的建立

1. 超声波焊接 ES 的建立及工具

超声波焊接 ES 的建立过程是知识工程师借助于计算机技术,通过合适的程序语言将超声波焊接及其相关领域内的专家知识,正确、迅速地转化为普通专业设计人员的指导性意见或设计数据和图样。可以将上述过程用图 1 来进行描述。



图 1 专家系统的建立过程

应用声学

建立专家系统需要通过合适的工具,它包括两个方面,即建立 ES 的程序语言及 ES 的支持环境。后者是提供调试、编程、成图等的人机对话条件。

本系统选择 C 语言作为程序语言,并通过 TurboC 编译。采用了目前流行的窗口技术。其矩形窗口结构边界可视,能显示包括菜单、输入数据元素及本文区域, TurboC 所具备的高速 C 编译器,每分钟可执行编译 700 行。此外,并能与多种程序语言相互调用。

2. 软件系统

本系统包括三个互联的模块。其结构如图 2 所示。

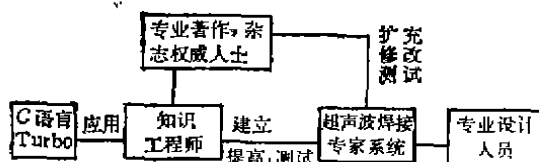


图 2 超声波焊接 ES 的软件系统

本系统软件的运行流程可简述如下:

(1) 首先用户通过击键根据 CRT 提示输入待焊产品的材质及厚度等物理性能参数; ES 将提供该产品的可焊性判别以及需用的最低超声波焊机功率值。(KW)

(2) 用户可按 CRT 的提示继续键入(字符或数据)。超声波焊机声学系统的基本设计

型式及谐振频率值 f 放大倍数 N 等主要数据, ES 通过优化 CAD 方法设计包括换能器、聚能器、耦合杆、上下声极等全部“声学头子”的构件。设计结果可以用图样形式供加工使用。

(3) ES 的连续运行将可提供产品焊接工艺参数的优选值, 并由数据库提供工艺实施中的一些特殊经验^[1-3]。

三、声学系统优化 CAD 软件

声学系统是超声波焊接的关键部件, 其基本要求就是使所有的声学单元, 包括换能器、聚能器、耦合杆等按同一个自振频率 f 设计, 并且在联结后可呈谐振状态。以下分别简介几个声学元件优化 CAD 软件。

1. 换能器

换能器是声学系统的一个重要组成部分, 它将电能转化为机械振动能。超声波焊机中主要采用压电陶瓷与磁致伸缩金属等两种材料, 前者主要用于中小功率焊机。优点是效率高, 可自然冷却并无需直流励磁电源, 此外设计十分简便。但中大功率的超声波焊机主要选用磁致伸缩金属(如 Ni、Fe-Co 合金等)作为换能器材料。这是一种近乎永久性器件, 过载能力强, 可长期稳定工作, 特别适用于类似焊接那种负载变化剧烈的工况。

磁致伸缩换能器通常采用窗形结构, 如图 3 所示。磁致伸缩换能器的优化 CAD 方法, 就是根据给定的谐振频率 f 及需用功率, 设计计算合适的结构几何尺寸^[3]。根据经典的振动理论, 各参数之间的关系可根据不同的振动状态设定, 并获得各种简化的数学模型。目前在工程应用上主要有二种模型:

(1) 假设两轭和两芯柱沿 X 方向作纵向振动, 忽略轭上的弯曲振动, 则可得振动方程^[4]:

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi d}{\lambda_1} \operatorname{tg} \frac{\pi h}{\lambda_2} = \frac{2b}{a} \quad (1)$$

λ_1 : 纵向振动波长

(2) 假设两轭为集中载荷, 两芯柱视为质量不可忽略的弹簧, 利用瑞利公式求出其固有

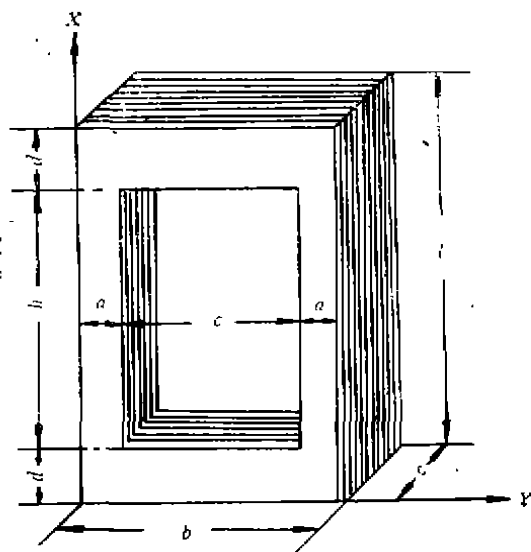


图3 窗式换能器结构图

频率^[5]。

$$f = \frac{v}{\pi} \sqrt{\frac{1}{h(h/3 + bd/a)}} \quad (2)$$

建立优化设计的目标函数:

$$F = \min \left\{ \left(fd - \frac{v}{\pi} \sqrt{\frac{1}{h(h/3 + bd/a)}} \right)^2 + \left(\operatorname{tg} \frac{2\pi d}{\lambda_0} - \operatorname{tg} \frac{\pi d}{\lambda_0} - \frac{2b}{a} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

在上述目标函数的四个约束条件内 (a, b, d, h), 固定其中三个参数, 对余下的一个参数在可变区间内用黄金分割法搜索, 并用判据 ε (阈值) 达到离目标函数最小的点, 即:

$$|X_n - X_{n-1}| < \varepsilon \quad (4)$$

2. 聚能器的 CAD 方法

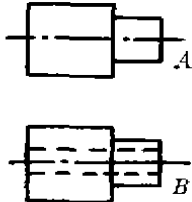
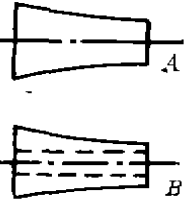
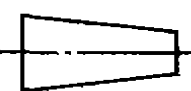
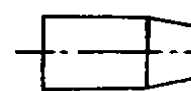
本系统登录了如表一所示的四种常用聚能器的 CAD 软件。使用者只要根据提示, 自选合适的聚能器结构, 键入原始设计数据, 即可由 ES 自动完成设计(含绘图)

其中以圆锥形聚能器的优化 CAD 为例, 采用目标函数搜索法, 其数学模型为:

$$\operatorname{tg}(2Lk) = \frac{2Lk}{(2Lk)N/(1-N) + 1} \quad (5)$$

式中 $2Lk$ 为方程的根。设 err 为方程允许的误差, 则其目标函数为:

表1 超声波焊机的聚能器CAD方法

名称	阶梯形	指数形	圆锥形	复合形
形式				
数学模型	$D=D_1 \quad 0 < X < \lambda/4$ $D=D_2 \quad \lambda/4 < X < \lambda/2$	$D=D_0 e^{-\beta x}$	$D=D_0(1-\alpha x)$	
谐振长度LK	$LK = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$	$LK = \frac{c}{2f} \sqrt{1 + \frac{\ln^2 N}{\pi^2}}$ N : 放大倍数	$Lk = \lambda LR / \pi$ $\lg(2LR) = \frac{2LR}{(2LR)^2 N} \cdot \frac{N}{(1-N)^2 + 1}$	$L_1 = RL_1 / \pi + \lambda^2$ $L_2 = \frac{\lambda \sqrt{(RL_1)^2 + \ln^2 N}}{2\pi}$ $Lk = L_1 + L_2$
应用	A: 金属焊 B: 塑料焊, 钎焊	A: 金属焊 B: 塑料焊, 钎焊	金属焊	主要用于大功率金属焊机及塑料焊机

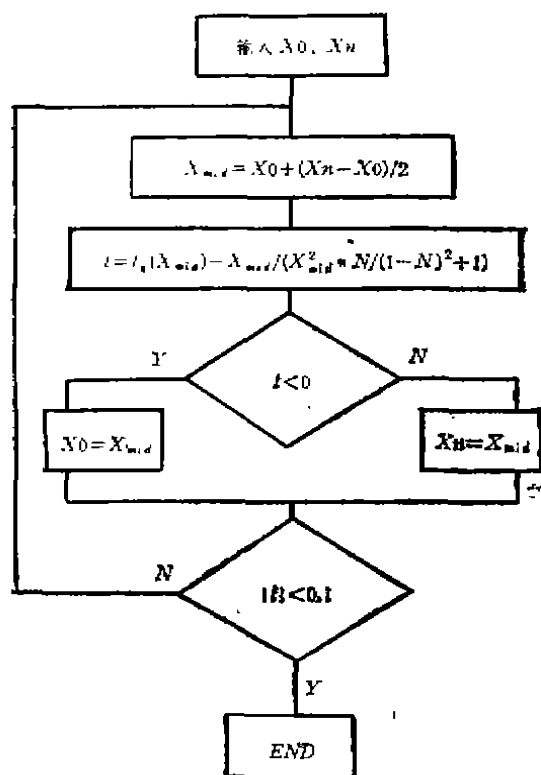


图4 算法框图

$$t = \left| \lg(2Lk) - \frac{2Lk}{(2Lk)N/(1-N)^2 + 1} \right| < \text{err} \quad (6)$$

对上述单调函数可采用二分法进行搜索, 每次取给定区域的中点, 计算出 t 值后判断所求点的位置, 减小搜索范围直至误差值达到要求, 其算法如图4所示。

3. 耦合杆及上声极

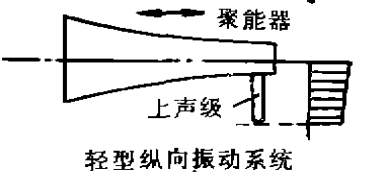
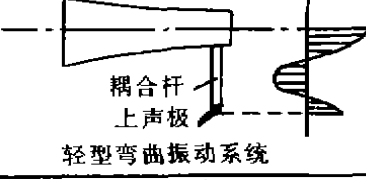
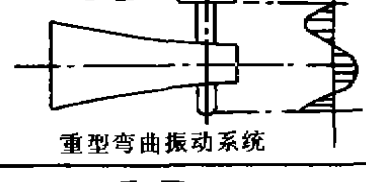
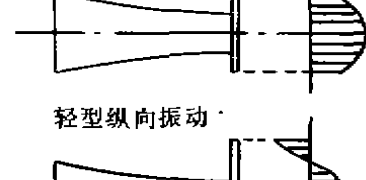
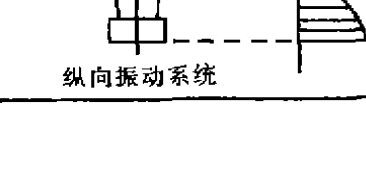
本系统可提供常用5种耦合杆及上声极的CAD方法, 其中最主要的组件之一是直接将振动能传递给焊接工件的上声极。表2是常用的耦合杆、上声极的结构及其设计方法。

在完成了上述声学系统的元件CAD以后, ES尚可提供仿真运行软件, 以便对组合起来的声学系统进行验证或修改。

四、结 论

1. 利用C语言及TurboC编制的超声波焊接专家系统主要是一种设计型ES, 可适用于

表 2 超声波焊机耦合杆、上声极的结构以及设计方法

序号	结构形式	适用焊机	设计方法
1	 聚能器 上声极 轻型纵向振动系统	小功率点焊机	质量互换法 优化 CAD
2	 耦合杆 上声极 轻型弯曲振动系统	中小功率点焊机	根据弯曲振动系统 数学模型进行 CAD
3	 重型弯曲振动系统	大功率点焊机	按数学模型 CAD
4	 轻型纵向振动	小功率滚焊机	质量互换法 优化 CAD
	 轻型弯曲振动	中小功率滚焊机	按数学模型 CAD
5	 纵向振动系统	塑料焊机	用 CAD 有限元法 求取异形上声极的 谐振频率

目前常用的各种超声波焊机的设计。

2. 声学系统的优化 CAD 方法,具有快速、精确、实用性强的特点。已用于 SD-1 锂电池专用超声波点焊机的设计及制造,并取得满意结果。

3. 作为超声波焊接 ES,本系统尚需进一步充实及拓宽数据库的内存信息,并进一步加以完善^[6]。

参 考 文 献

- [1] 潘际奎,焊接手册,第一卷,第 30 章,北京,机械工业出版社,1992,502—515.
- [2] American Welding Society, Welding Handbook, Seventh Edition, 1978, 59.1—59.56.
- [3] 齐志扬,应用声学,8-2(1989),14—18.
- [4] Л. Л. 锡林, Г. М. 巴兰, М. Г. 科干,超声波焊接,国防工业出版社,1963,216—239.
- [5] И. И. 捷明,超声波处理钢液,上海科技出版社,1960.
- [6] 日本溶接协会,溶接学会志(日),1989,(4),33—37.