

摘 要

本文在简介液晶显示原理、背光源作用及灯管压条结构的基础上，分析了灯管压条的现有加工工艺及其缺陷，提出了背光源塑胶件的超音波焊接课题。

针对塑胶件超音波焊接，介绍了超音波焊接的发展现状、应用领域及焊接形式，分析了不同种类塑料的超音波焊接的可焊性，并根据粘弹性力学的原理及超音波塑料焊接的简化模型，由塑料的复模量导出了塑胶超音波焊接过程中的能量形式转换的公式。

分析了超音波焊接界面的设计原则及其对焊接质量的影响，对灯管压条的原有结构进行了相应的设计变更，在灯管压条的白色反光片上设计了三条导能肋，在灯管压条黑色基体的相应位置设置了三条焊接槽；根据超音波焊接机理确定了导能肋/焊接槽的形状及尺寸，并通过实验验证了焊接界面设计的可行性和合理性。

介绍了本课题实际使用的超音波焊接机的结构、操作规程及加工准备要求；分析了焊接时间、焊接压力和焊接保压时间三个参数的影响，并根据前述的超音波焊接机理及其能量转换公式，确定了上述三参数的合理取值区间。

对背光源塑胶件进行了超音波焊接试生产，分析并解决了试生产中出现的问题；目前，超音波焊接背光源塑胶件已成功量产，获得了合格率提高、产能提升、设备费用节省的良好效果。

关键字：超音波；焊接；塑胶件；液晶显示器；灯管压条

作 者：惠艳萍

指导老师：钱志良

Abstract

This Article mainly analyze the existing lamp block process and its shortcomings based on the introduction of the principle of liquid crystal display, the role of backlight and structure of lamp block, and further put forward the subject of ultrasonic plastic welding.

For ultrasonic plastic welding, this article introduces the development of ultrasonic welding, application areas and welding forms .It analyzes the ultrasonic solderability of different types of plastics as well . Further more, the theory of energy conversion for ultrasonic plastic welding is studied and the energy conversion formula is inferred on the basis of viscoelastic mechanics theory and simplified model of ultrasonic plastic welding.

The lamp block needs to make some design change after the analysis of the design principles of ultrasonic welding interface and welding quality influencing factors. Three ribs which can guide energy are laid on the white reflector sheet; accordingly, three grooves are designed on the black part. We further decide the figure and dimension of the ribs and grooves on the basis of ultrasonic welding principle, and its feasibility and suitability are verified by the welding experiment.

In this article ,The welding machine structure、 operation instruction and process preparation items which are utilized for the Topic are introduced .The analysis result shows that all of welding time、 welding pressure and keep time have influence on the welding quality, and the three parameters are defined the range by the ultrasonic welding theory and energy conversion formula figured out in previous chapter.

The backlight plastic parts have had a try run on the welding machine, and the problems found during the try run have been analyzed and solved. Till now, the ultrasonic plastic welding process have succeed in mass production too, it has brought a great benefits, such as better yield、 higher capacity and lower cost of equipments.

Key words: Ultrasonic, Plastic welding, Liquid-Crystal Display, Lamp block

Written by: YanPing Hui
Supervised by: ZhiLiang Qian

苏州大学学位论文独创性声明及使用授权的声明

学位论文独创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不含为获得苏州大学或其它教育机构的学位证书而使用过的材料。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人承担本声明的法律责任。

研究生签名： 惠艳华 日 期： 2009.5.23

学位论文使用授权声明

苏州大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆、清华大学论文合作部、中国社科院文献信息情报中心有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权苏州大学学位办办理。

研究生签名： 惠艳华 日 期： 2009.5.23
导师签名： 钱志远 日 期： 2009.5.23

第一章 绪论

1.1 液晶显示及塑件应用

与传统的 CRT 对比,液晶电视有重量轻,体积小,耗能少,低噪音,高清晰度等优点,并且伴随着技术成熟,成本降低,价格日趋平民化,产品应用日益广泛。

液晶电视的制造带动了一系列周边产业的发展,如光学元件,薄膜产品,钣金模具,塑胶产业等。本课题的背景,就是针对液晶电视显示器中应用的塑胶产品的二次加工工艺的改善,进行专案研究。

1.1.1 液晶显示的发展

在液晶电视机已经蓬勃发展的今天,“液晶”已经是一项非常具有“历史”的科学发现,1888 年,奥地利植物学者弗莱契莱尼兹(Friedrich Reinitzer)在胆固醇研究中发现了液晶现象,1960 年代,美国正式进行液晶显示研究,1970 年代,日本推出了第一台采用液晶显示技术的计算机,此后,很多国家开始进入液晶显示的研究与制造领域。

目前,CRT 显示器已逐步淘汰,液晶电视(LCD TV)的需求正在稳步上升。液晶电视外观如图 1-1 所示,包括液晶显示屏、外壳、支架、音箱及相关电讯号接口等,其中液晶显示屏是液晶电视最主要的器件,对液晶显示屏的分析研究显得尤为重要。

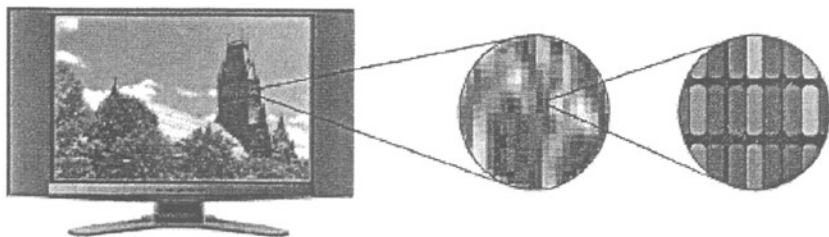


图 1-1 液晶电视

1.1.2 液晶(LCD)显示屏的结构

图 1-2 为液晶(LCD)显示屏的功能结构图,从左到右依次为上偏光片、上玻璃、彩色滤光片、上电极、液晶层、TFT-array、下玻璃、下偏光片和背光源。

液晶显示是通过玻璃上制作 TFT 等线路,使用电讯号来控制液晶分子的扭转方向及角度,从而控制光的通过,得到电讯号传递的画面。液晶是被动发光元件,本身并不发光,需要背光源提供光才能实现显示。

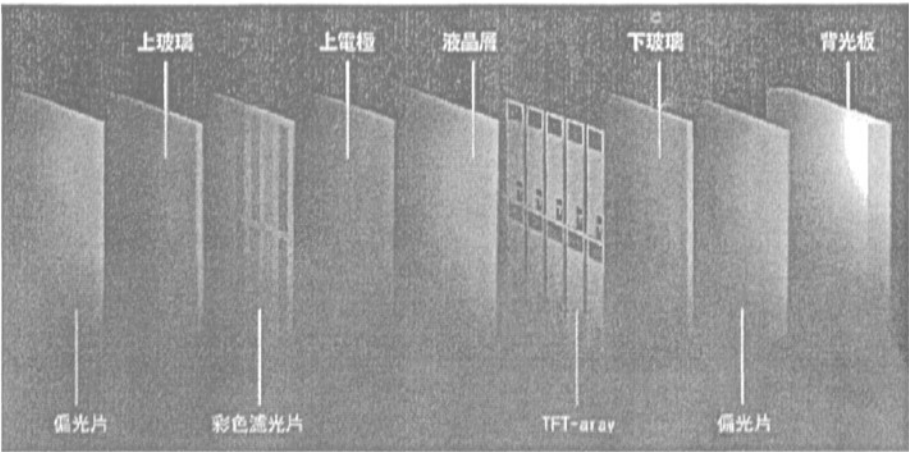


图 1-2 液晶显示屏的功能结构图

图 1-3 是实际液晶电视模组的结构炸开图。由图可见，液晶显示模组主要由以下六部分组成：①铁框(Front Bezel)、②液晶面板组(LCD Cell)、③背光源模组(Back Light Unit,简称 BLU)、④PCB 电路板遮蔽盖 (Control Shielding) ⑤PCB 电路板 (Control PCB) ⑥螺钉。

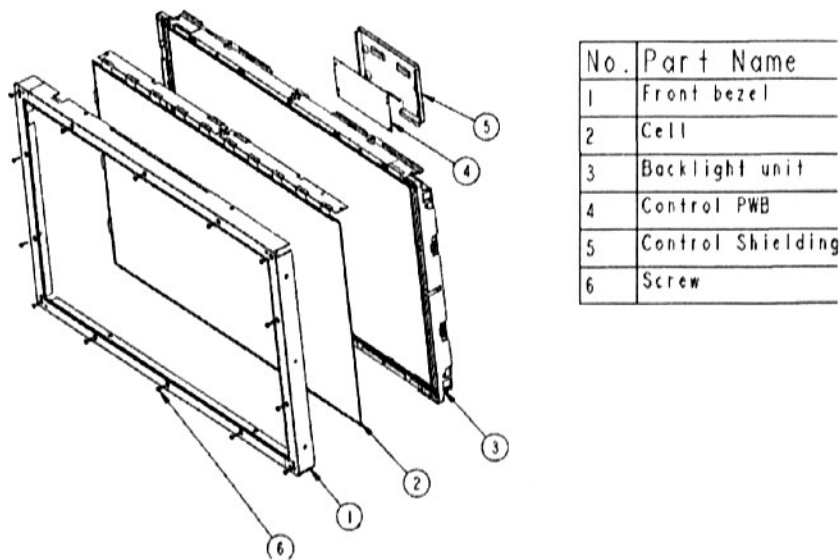


图 1-3 液晶显示模组结构炸开图

1.1.3 液晶电视的背光源

由于液晶不会主动发光，需要背光源提供光源才能显示画面，所以，背光源模组是液晶电视必要组成部分。

图 1-4 为液晶电视背光源的示意图。由图 1-4(a)可见，背光源是一个组合体，其组合方式是：在金属底板的基础上，放入灯管若干支，四边

是黑色塑胶框，左右侧胶框侧边部分会使用白色的高反射塑料反射灯管的光线，如图 1-4 (b)所示，左、右侧黑色塑胶与白色高反射塑胶的结合件称为“灯管压条”。图 1-4(c)为背光源剖视图，左、右侧红色为反射光线需要的灯管压条，灯管上部覆盖扩散板及若干光学膜片，起到雾化灯管影子、提升正面亮度的作用，以获得液晶电视所需要的背光源亮度和雾度。

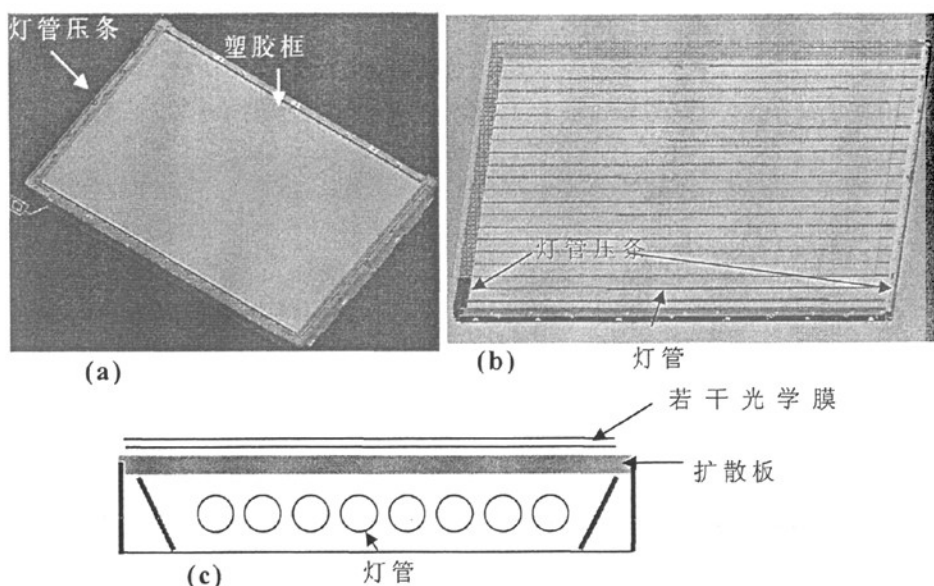


图 1-4 背光源模组示意图

1.1.4 塑胶件在背光源中的应用

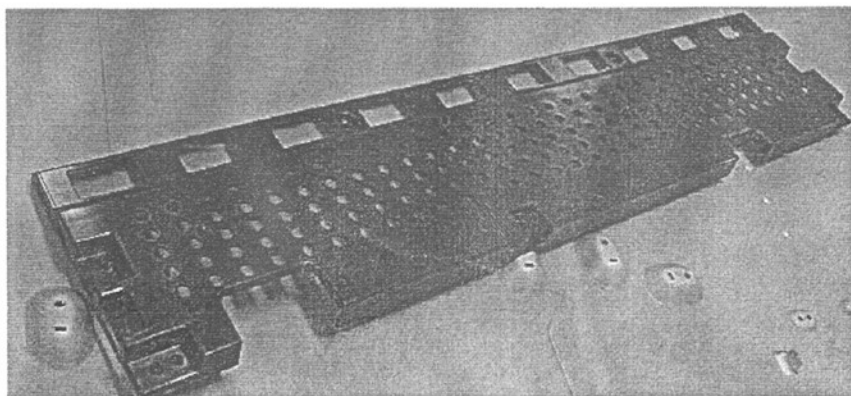


图 1-5 塑胶制作的 PCB 电路板遮蔽板

随着近几年液晶显示的快速发展与普及，受强烈的成本降低、产品大型化和轻薄化的需求刺激，很多零件在可靠度允许的情况下，更多地采用塑胶元件。比如用于保护 PCB 电路板用的遮蔽盖，在 TFT-LCD 制

造领域内，三、五年前普遍使用金属不锈钢材料或者铝制品，但是在降低成本及轻薄需求驱使下，近两年来逐渐由金属件改为塑胶件，使用 PC 加玻璃纤维的原料进行射出成型，用作 PCB 电路板的遮蔽板，如图 1-5 所示，效果理想，同时成本降低，并进一步减轻产品重量。

塑料元件在液晶显示器内已经变得非常普遍和重要，背光源模组中，塑胶最大的应用是黑色塑胶框及灯管压条，用于起固定光学膜片并支撑液晶玻璃面板的作用。如图 1-6 所示，两条短边是灯管压条，两条长边为塑胶框。

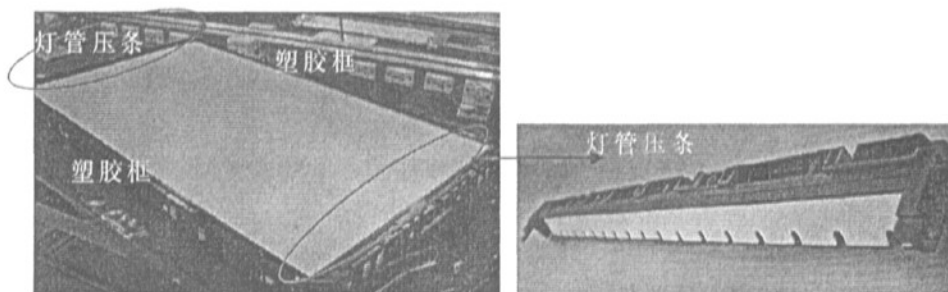


图 1-6 塑胶框及灯管压条

在 TFT-LCD 制造领域内，在对塑胶制品的原料及特性进行持续关注及改进的同时，对于制作方法、结构设计、质量及成本的综合改进也日益被重视。本文主要是针对灯管压条的二次加工技术改进，即塑胶件的二次加工方法进行研究。

1.2 本课题的研究背景

本课题来源于液晶显示器背光源内部塑胶件的制造方式改造项目，该技术已经由友达光电有限公司申请相关专利，并已取得某些应用上的专利权。

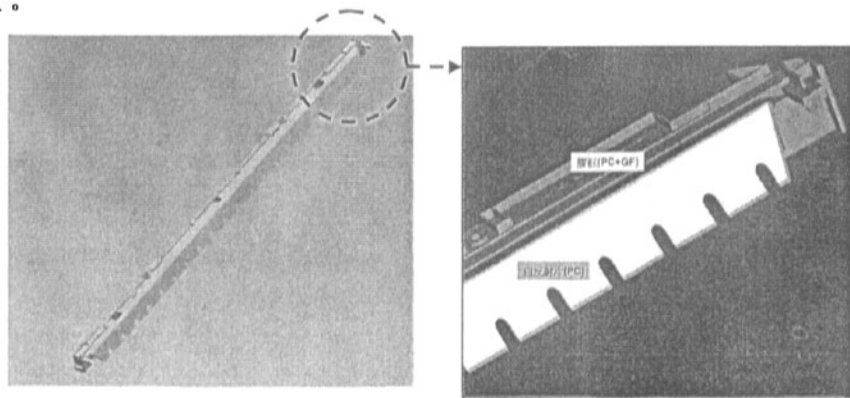


图 1-7 灯管压条

在背光源内部会有高反射率的白色塑胶件,用于支撑内部构件及反光,如灯管支撑架、灯管压条。在塑胶件中,灯管压条因为内侧有反射光线的需求,所以其内侧材料为白色高反射材料,外侧为黑色塑料(图1-7所示)。在制造这种结构的灯管压条过程中,需要对黑、白两塑料件进行二次接合加工。

1.2.1 现有的接合方式及其缺点

目前,灯管压条使用的接合方式,主要有以下几种^[1]:

a.反射片背面涂胶后贴附于灯管架上,即人工贴合,如图1-8所示。此种方法的缺点是贴合加工成本高,需要花费额外的人力;且贴合对位不易,容易贴附偏移,影响质量;胶失效的风险会导致反射片脱落,增加额外的产品质量风险。基于上述原因,此加工方式已经逐步被淘汰。

b.同一模具中先射出黑色胶框再射出白色反射片,即双色射出成形,如图1-9。此种方法受以下缺点制约应用较少:射出成形周期长,产能比较低;模具结构复杂,开模时间长,模具费用也非常高;另外需要有双色射出的专用机台,购买该设备费用非常高,目前的厂商拥有这种设备的较少。

双色射出成形还有一个最重要的问题:量产中射出成形的合格率仅约85~90%,远低于一般射出成形合格率水准,造成单位成本较高,不利于产品成本的降低。

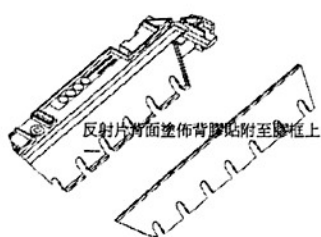


图 1-8 人工贴合图

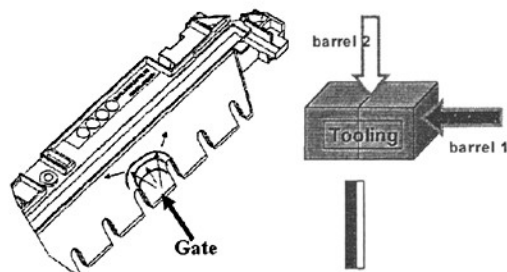


图 1-9 双色射出

c.先射出白色反射片再放置到胶框模具中作二次成形,即模内加工射出成形,如图1-10。目前,灯管压条制造厂商普遍采用这种方法,但其同样有一些缺点:首先,射出成形周期较长,模具结构复杂费用高;其次因为要先射出成形白色反射片,再将白反射片放置到胶框模具中,射出成形黑框部分,将白反射片包附成形,所以存在白色反射片放置到胶框模具中时定位困难,需耗费较长的反射片放置操作时间,影响产品的生产效率,若白色反射片未准确定位的情况下模具就合模,还可能出現夹模的生产故障。

d.使用全白色具有反射功能的 PC 塑料直接射出成形,如图 1-11 所示。这种方法的最大缺点是会导致整组胶框成本升高(约 30%),其原因之一是白色高反射 PC 原料的价格较高,另外还需要制作整组的黑色胶框来进行遮光,故使用该结构不符合降低成本的发展趋势。

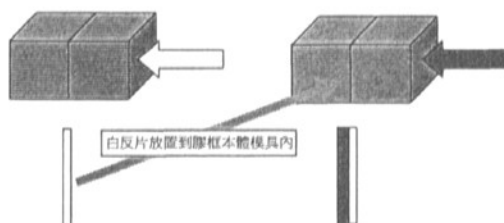


图 1-10 模内加工射出成形图

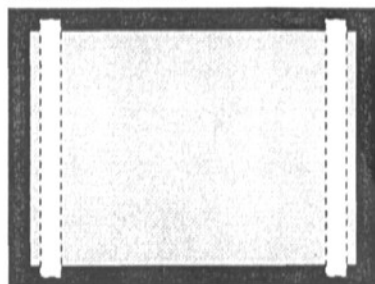


图 1-11 全部使用全白反射材

1.2.2 灯管压条加工的改进方向

基于上述的一些问题,在液晶电视显示屏制造领域内,持续寻求一种技术的改进与突破,可以较好地平衡质量、产量及成本等要求。

改善方向一:更改目前的塑料制品的二次加工方式,超音波焊接是值得尝试的一种技术,虽然以前从未在背光源塑料制品上采用超音波焊接技术,但作为一种加工技术已经发展得比较成熟,有很多专业的厂商可以提供技术支持;

改善方向二:在灯管压条有反射光线要求的地方喷涂高反射的白色涂层。但该材料必须满足光线反射率 95%以上,抗 UV 黄化的能力强,且要满足目前高反射 PC 所达到的阻燃等级,其成分要符合欧盟 ROHS 的最新环保指令,目前需要时间才能找到合适的材料,另外还要进行新材料和新制程的整套性实验认证,包括从未用过的涂布方法,过程会相当长。

基于上述因素,针对改善方向一进行深入研究和实验,可行性好且容易获得比较理想的改进成果。

1.3 塑料及超音波焊接

1.3.1 塑料制品的发展

随着塑料工业的发展,塑料已经成为许多领域必不可少的材料,用具有重量轻、摩擦阻力小、导热导电性能低等卓越优点的塑料及其复合材料取代金属材料制作结构件已经成为趋势。塑料及其复合材料制成的零件或产品已广泛应用于电气工业、建筑、航天航空、汽车、玩具、日常用品、医学、工业设备等行业,如:在汽车制造中,目前每辆汽车平

均要使用 100 公斤以上的塑料,而且塑料用量还在逐年增加;在人造卫星和宇宙飞船中,塑料占其总体机构的一半^[2]。如今,塑料的应用普及程度已非常高,塑料已成为推动社会生产力发展的重要材料。

在现代生活中,液晶显示器正在迅速普及,如悬挂在客厅墙上的电视,放置在公共场合的触摸屏,自助式柜员机,导航设备的显示屏幕等,同时,因液晶显示器轻薄价廉的需求,其内部的金属材料用量日趋下降,塑料用量越来越大。

塑料可以分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。热塑性塑料同热固性塑料相比,具有韧性好、易加工、高温性能好、耐一般化学溶剂溶解、寿命长且可重复使用等一系列优点^[3]。先进的热塑性复合材料已经在各行各业中广泛应用,且有越来越广阔的应用前景。在液晶显示器背光源中的塑胶制品主要使用的是高反射的 PC 原料,以及黑色的 PC 掺玻璃纤维混合原料,主要应用于塑胶框及灯管压条。

由于大多数塑料制品都是模制品,其尺寸及结构复杂程度受到模具的尺寸和结构的制约,对于大型复杂的热塑性塑料零件,最经济有效的生产方法通常是先注塑出若干个尺寸较小的零件,再把多个零件连接在一起,因此出现了各种各样的塑料件连接方法,即二次加工方法。塑料件的快速和可靠连接方法已成为探寻与研究的热点。

工程上常用的热塑性塑料及其复合材料的连接方法主要有粘接、熔接和焊接。塑料的焊接方法又有热气焊、热板焊、振动焊和超音波焊等多种,而且一些新的焊接方法正在快速发展中,如微波焊接^[4]、红外线焊接^[5]、激光焊接^[6]和利用聚焦的太阳能进行焊接^[7~9]等。其中超音波焊接以焊接效率高、热输出量能够精确控制、通常不需要填充焊料、易于实现自动化以及焊接质量好等优点,成为热塑性塑料及其复合材料的理想连接方法^[10]。薄膜电晶体液晶显示屏制造厂商友达光电首先尝试了将超音波焊接应用于背光源模组的塑料件生产,并实现了成功量产。

1.3.2 塑料超音波焊接的发展

塑料超音波焊接技术于 1956 年由美国琼斯等人提出,在上世纪 60 年代,美国、瑞士、日本、英国、西德以及苏联等国便开始研究这种焊接技术并开始投入实际应用。因为塑料的焊接需要较大的功率,而且直至近二、三十多年塑料才大量应用于实际工程和日常生活,所以只是近十几年来,随着基础电子工业的发展以及大功率换能器的研制成功,超音波塑料焊接才逐渐发展起来^[11~13]。

超声波塑料焊接, 也称超音波塑胶熔接, 台湾地区多采用“超音波”、“熔接”和“塑胶”的说法, 大陆地区多称“超声波”、“焊接”和“塑料”, 其表达含义相同, 本文采用“塑胶超音波焊接”的说法。

超音波焊接装置是机电一体化的焊接装置, 主要由超音波发生器、控制电路系统、声能系统(换能器、变幅杆、焊头)以及传动系统等组成, 结构如图 1-11 所示^[14]。

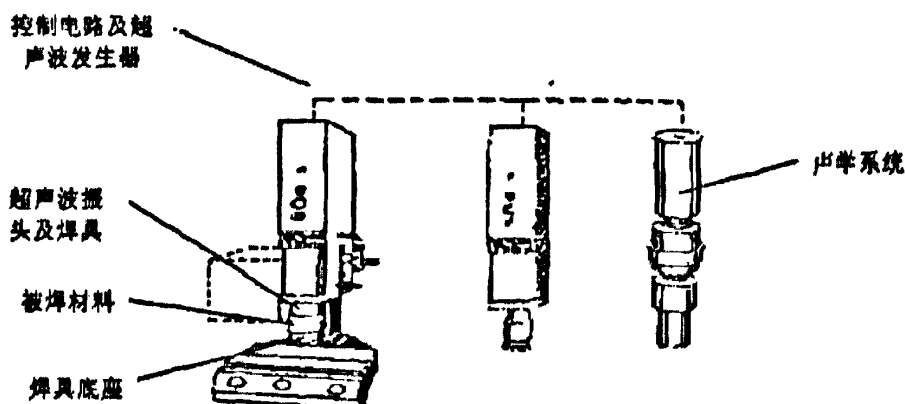


图 1-11 超音波焊接机器结构

超音波发生器将 50Hz 的工频电流转化成(20~50)kHz 或其他频率的超音频电流, 用以激励声学系统; 声学系统将电能转化成同频率的机械振动, 然后经过振动系统变幅杆及焊头将振幅放大到 15~60um, 通常在压力的作用下, 经过 0.5~1.5 s 的焊接时间后塑胶件的焊缝处得到超音频的机械能。超音振动导致焊接表面凹凸交变变形, 这种微观不平通过塑胶分子间的摩擦将振动转化为热能, 并熔化这些凹凸点, 使之流动并形成一定厚度的融化层, 经过一定的保压时间, 融化层形成焊接接头^[15~16]。

塑胶超音波焊接适合焊接热塑性塑料, 该材料在热的作用下可产生塑性变形, 并可经过较短时间的冷却重新恢复固态。热固性塑料工件不会因高温和压力的作用而产生变形, 所以无法进行超音波焊接。热塑性塑料的焊接最初采用的是高频塑料焊接(HF)方法, 此种方法速度、功率均能令人满意。但是因为可焊性的原因, 聚丙烯等多种材料并不适合采用此种方法^[17]。

为了适应各种性质不同、形式不同的材料, 塑胶超音波焊接机的功率从几百瓦到几十千瓦, 换能器和变幅杆的形状结构也各不相同, 研究的方法也各有千秋^[18]。

超音波焊接的种类分为点焊、环焊、缝焊及线焊, 也可以按照焊头接触面到接头的距离分为远程焊和近程焊。近程焊是指塑件接口部分与

电极臂端部的距离在 6mm 以内，超过此距离的焊接称为远程焊接^[19]。非结晶性硬质塑料，如 PVC、PS、ABS 和 PMMA 等，通常对超音波能量具有良好的透射率，高频振动能经过较长的距离传输到接口区域，使材料发热熔化，互相渗透而牢固结合，因此这些材料在近程或远程均具有良好的焊接性能。而半结晶性塑料具有较强的消声作用，高频振动在 PA(尼龙)、PP(聚丙烯)、PE(聚乙烯)和 POM(聚甲醛)等半结晶性塑料中传输时，超音波能量衰减很快，因此半结晶性塑料只适合于近程焊接。弹性及软质塑料具有更强的吸音作用，对它们进行超音波焊接不是很有效。

由于塑胶超音波焊接应用的范围不断扩展，为了解决许多声发射特性较差的材料的焊接问题，许多新型的振动模式得到了发展，如扭曲^[20]、横向、纵向-横向、扭曲-纵向、扭曲-横向等振动模式^[21~26]。

日本学者 Jiromaru 和 Tsujino 等设计了一种复杂的塑胶超音波焊接系统，它由一个 90KHz 的振动系统和一个 27KHz 的振动系统组成，而这两个系统又有三种组合方式。他们认为使用高于 27KHz 或 40KHz 的超音波频率时，因为超音波振动可以被材料更多的吸收，所以得到较高的焊接质量^[27~28]。

本课题研究灯管压条表面白色反光片与黑色衬底框架的结合面的粘合问题，所需的超音波能量较小，公司和台湾厂商“**一源超音波机械股份有限公司**”合作开发，由厂商“**一源**”按照焊接需求设计并提供焊接机台供实验使用。

1.3.3 塑胶超音波焊接的优点

图 1-12 为塑胶超音波焊接示意图，使用超音波焊接具有如下优点：

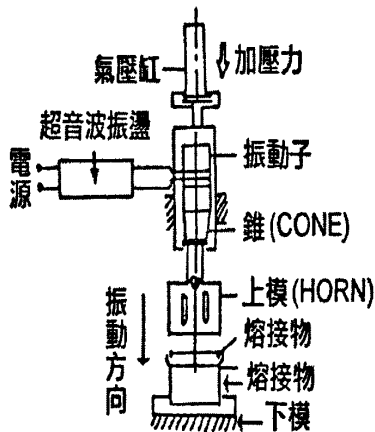


图 1-12 超音波焊接示意图

a.超音波热熔只作用于接合界面，无需担心待焊品其他部分的变形、变质及尺寸偏差等问题；

b.接合界面若有水等异物存在，熔接过程中会自动震开；

c.熔接时间短，作业简易，生产效率高。

d.意外的收获是：因为老鼠怕高频音波，作业空间无鼠干扰。

进行超音波焊接技术改进灯管压条的制作，节省工时，经初步评估可以提高 50% 的产能，提升厂商备料的灵活性。预计成本可以按照实际合格率不同而有不同程度的降低，并且能以现有的射出机台搭配专用焊接机台^[29]实现灯管压条的高效生产。

综合以上优点，分析得出：超音波焊接技术导入背光源塑胶件生产是可行的。

1.4 本课题的研究内容

本课题的研究内容是：

1) 在介绍 TFT-LCD 液晶电视内部结构、背光源内部塑胶件的结构及作用的基础上，分析并讨论了背光源内部塑胶件现有加工工艺的缺陷，提出了塑胶件超音波焊接的解决方案。

2) 基于热传导的基本理论和粘弹性动力学，导出了接头处在超音波作用下的应力响应公式、以及单位时间内单位体积的平均耗散能量，为后续的背光源内部塑胶件的超音波焊接提供了理论依据。

3) 探讨超音波焊接技术的原理及焊接形式，针对超音波焊接界面设计原则和注意事项，对背光源塑胶件的结构进行设计变更。

4) 进行背光源塑胶件焊接的准备工作，并进行塑胶件焊接的实验验证，根据实验结果，确定了切实可行的焊接工艺，获得了质量合格的焊接塑胶件，并已实际量产，取得了良好的效果。

1.5 本章小结

本章主要介绍了液晶电视和背光源内部塑胶件的结构，针对塑胶件结构及其在背光源内的作用、以及目前制作塑胶件灯管压条过程中遇到的问题，提出了采用超音波焊接技术的改进方案。

简要介绍了超音波焊接的发展情况及优点，分析了超音波焊接用于灯管压条二次加工的可行性，并给出了本课题的主要研究内容。

第二章 塑胶件超音波焊接

2.1 超音波焊接技术

2.1.1 超音波的定义

超音波是指高于人类听觉所能接受频率范围的音波，人类听觉能力在 20Hz~20KHz 之间；因此一般来说，凡是频率高于 20KHz 以上的音波就称为超音波。但在工业应用中，为了适应特殊的工艺需求，音波频率有低于 10KHz 的（如超音波烘干机）、15KHz 的（如塑胶超音波焊接机），这些习惯上也称为超音波。超音波的频率上限通常是 100KHz 以内，但在非破坏用的医疗检查系统中也有高达 5000KHz 的。总而言之，工业上通常把能产生和利用在各种不同介质中传导，随着各种不同介质的特性差别产生各种不同功能与效用的波动，统称为超音波。

2.1.2 塑胶超音波焊接原理与特点

最初塑胶件的接合加工方法是使用强力胶或其它溶剂进行粘合，但使用这种方法，产品不合格率较高、产品美观度低，且会影响操作人员的身体健康。超音波技术的发展及应用，为塑胶件的接合加工提供了更好的解决方案。

超音波焊接的原理：将音波籍焊模（HORN）传递到塑胶加工物上，以每秒 15~30KHz，振幅为 4~5um 左右的振动，再经过固定的增幅杆和可换增幅工具头放大，在两片塑胶件接合面上产生 20~30um 左右的高频振动。这样在金属工具焊头的端面瞬时最大速度可达 4m/s，这种高频捶击作用到塑胶表面上，在应力高的地方发生强烈的摩擦热，使界面熔化了了的塑胶粘接在一起，从而实现焊接。常用的塑胶超音波焊接机的功率在 100W~2000KW，频率为 15~30KHz。

超音波焊接的特点：

- (a) 焊接速度快，效率高，通常只需 0.5~2s
- (b) 焊接质量好，接合强度高
- (c) 无需加焊剂或溶剂，焊缝无污染，表面美观
- (d) 气密、水密性好，可进行压力容器的密封焊接；
- (e) 不会有高频焊接时发生火花的安全危险，安全性好；
- (f) 超音波焊接属于机械振动方式，手触及到金属焊头不会出现生命

危险

(g) 设备结构简单，操作容易，维修方便。

2.1.3 超音波焊接常用功能

超音波焊接不仅可以用于塑胶件的接合，还可用于将金属件埋插于塑胶件内、在固定金属或塑胶件上连接塑胶件、塑胶包覆、塑胶板点焊、塑胶射出品的切除、塑胶袋的封口及切边等。

(a)超音波焊接：以超音波超高频率振动的焊头（HORN），在适度的压力下使两块塑胶件的接合面产生磨擦热而瞬间熔融接合，并可达到完全水密及气密的效果。

(b)超音波铆接：将超音波超高频率的焊头压着塑胶品突出的梢头，使其瞬间发热熔融成为铆钉形状，使金属物件被铆覆而固定。

(c)超音波埋植：以超音波超高频率的音波振动，借着焊头的传导及适当的压力，瞬间将金属零件（如螺母、螺杆）等挤入预留的塑胶孔内，并固定在设定深度。完成后无论拉力、扭力均可媲美传统在模具内成型的强度，并可免除射出受损及射出缓慢的缺点。

(d)超音波点焊：两片塑胶板要熔接时，因限于熔接物的条件，无法开设导熔线，可用点焊熔接，其原理是将超音波传导至焊头前端，从上板穿越至下板，从而达到熔接的效果，并可同时点焊数十件，提高工作效率。

(e)超音波切除：以超音波高速振动的焊头切除射出成形的塑胶件锋锐的毛边，切除射入口，使塑胶原件在瞬间脱离射出流道，不但省去人工切除的工序，并且塑件光滑美观。适用于超音波切除的材质有 ABS、PS、压克力、PC、塑钢等，太软或富有弹性的塑胶不适合超音波切除，塑胶料刚射出还未冷却时超音波切除效果也不佳。

(f)超音波成形：与超音波铆接类似，将凹状的焊头压着于塑胶品外圈，通过焊头的高频率振动使塑胶熔融并包覆金属物件，使其固定，并且成形件外观光滑美观，多使用于电子类、喇叭的固定成形及化妆品类的镜片固定等。

本文只涉及利用超音波焊接实现塑胶件和塑胶件的接合。

2.2 塑料的分类和可焊性

塑胶材料的分类及其应用范围见表 2-1。

实验表明，塑胶材料的可焊性 G 主要取决于材料对超音振动的衰减

能力及材料的弹性模量 E 、熔化温度 t 、密度 ρ 、比热 C 、摩擦系数 μ 、导热率 λ 等，可用下式表示：

$$G = K \cdot \frac{E \cdot \mu \cdot \lambda}{\rho \cdot C \cdot t} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \tag{2-1}$$

式中： K —焊件形状因子，取决于焊件的壁厚、尺寸大小及焊头的形状尺寸（是变化的参数）

E —材料的弹性模量(GN/m^2)

μ —材料的摩擦系数

λ —材料的导热率 ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

ρ —材料的密度 (kg/m^3)

C —材料的比热 ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)

t —材料的熔点 (K)

表 2-1 塑料材料的分类及应用

材料类别	名称	英文简称	主要应用
硬塑料 (聚苯乙烯)	聚苯乙烯	PS	玩具、文具、日用品
	高冲击聚苯乙烯	HIPS	玩具、日用品、收音机壳、电视机壳
	丙烯晴-丁二烯-苯乙烯	ABS	电器用品外壳、日用品外壳、高级玩具、运动用品
	苯乙烯-丙烯晴共聚物	SAN	食具、日用品、透明装饰品
	发泡聚苯乙烯	EPS	货品包装、绝缘板、装饰板
软塑料 (聚乙烯)	低密度聚乙烯	LDPE	包装袋、购物袋、玩具、瓶、花、电线
	高密度聚乙烯	HDPE	包装袋、购物袋、水桶、电线、玩具
	乙烯-醋酸乙烯共聚物	EVA	鞋底、吹气玩具制品、包装袋
PP (聚丙烯)类	聚丙烯	PP	包装袋、玩具、日用品、瓶子、洗衣机
PVC (聚氯乙烯)类	聚氯乙烯原树脂	PVC	软管、硬管、窗框、地板
	聚氯乙烯糊状树脂	PPR	人造皮革、洋娃娃

表 2-1 (续)

聚丙烯酸树脂	聚甲基丙烯酸脂	PMMA	透明板、装饰品、太阳镜片、文具、灯罩、人造首饰
聚缩醛类	聚甲醛树脂	POM	玩具齿轮、滑轮、弹簧
	聚氧化丙烯树脂		
尼龙类	聚酰胺	PA	拉丝、牙刷毛、齿轮、电器配件、电动工具外壳、运动用品
聚酯类	聚对苯二甲酸乙二醇脂	PET	汽水软瓶、录音带、磁带
	聚对苯二甲酸乙丁醇脂	PBT	机械部件、电器部件
	不饱和酸脂	UP	装饰品、游艇外壳、汽车外壳
纤维素	醋酸纤维素	CA	眼镜框、工具手柄、雨伞柄、装饰品、文具
	丙酸纤维素	CP	
	醋酸丙酸纤维素	CAP	
	醋酸丁酸纤维素	CAB	
PC 类	聚碳酸酯	PC	电动工具外壳、电器外壳、安全头盔、防弹玻璃
PU 类	聚氨基甲酸脂	PU	鞋底、椅垫、人造革、油漆
环氧树脂	环氧树脂	EP	工模具材料、建筑材料
氟塑料	聚四氟乙烯	FEP	易洁护表层、涂层、保护剂、润滑剂、耐热部件
	氟化乙烯丙烯	FEP	
	聚六氟丙烯	FEP	
硅橡胶	聚硅酮橡胶		导电塑料、耐热部件
酚醛树脂	酚醛树脂	PF	灯头、电器外壳、齿轮
氨基树脂	三聚氰胺-甲醇树脂	MF	餐具、装饰品、电器配件及外壳
尿醛树脂	尿-甲醛	UF	餐具、装饰品

在通常情况下，用超音波焊接异种材料比较困难，这是因为不同材

料的熔点、分子结构不同，阻碍了材料之间的相互渗透。例如，聚碳酸酯和尼龙焊，在界面上都熔化了，却不会相互粘合，但也有成功的焊例，如 ABC 同丙烯晴、ABS 和 PVCC（树脂）。

表 2-2 为塑料材料的可焊性比较^[30]。

表 2-2 塑料材料的可焊性性能比较

材料名称	直接焊 (近焊)	传递焊 (远焊)	注释
聚苯乙烯晶体	良好	良好	焊接性能很好，临界距离 120mm
聚苯乙烯	良好	良好	焊接性能好，声学性好，但能量过多时，工件易从中间裂开
中冲击聚苯乙烯	良好	好	比标准的聚苯乙烯要求更多的能量，临界距离为 30mm
高冲击聚苯乙烯	好	一般	当有太多的丁二烯填充物时，效果较差
苯乙烯及 苯烯晴共聚物	极好	好	临界距离 40mm
丙烯晴-丁二烯-苯 乙烯(ABS)	极好	好	与聚苯乙烯性能相近
高冲击 ABS 及防火级 ABS	困难	不能	丁二烯使材料具有吸附性，焊头易在支承面上造成压痕
注塑丙烯晴	极好	一般	要求大的平焊头，以免陷入工件
耐冲击丙烯晴	好	一般	丁二烯填充性降低了可焊性
抗压丙烯晴	极坏	极坏	明显出现损坏，不能焊
聚碳酸脂	良好	好	要求一定的功率，临界距离为 20mm
乙酰	好	一般	熔塑互相渗透，通过特定的设计焊线能使焊缝致密防气
尼龙	好	极好	要求大的能量和特殊的接口。注塑或磁化后立即焊
尼龙 6/6	极好	好	与尼龙不同，临界距离 10mm，硫化后能改善焊合效果
玻璃填充尼龙	极好	一般	需要很大的能量，接合非常牢固
聚丙烯	好	一般	要求大功率，外形效果差，加玻璃填充物能改善焊接性能
高密度聚乙烯	好	不能	只限于板材、瓶、管等的焊接

表 2-2 (续):

低密度聚乙烯	好	不能	
聚乙烯-铝-聚丙烯	好	不能	可连续焊接
PPO	好	有限	要求功率较大, 临界距离 10mm
聚氯乙烯	好	一般	硬 PVC 效果好
高弹性聚氯乙烯	好	不能	只限于钳子的焊接

2.3 塑胶超音波焊接形式

根据被焊材料的特性和零件的形状大小以及焊线的部位等, 焊接方式可分为两种, 即近焊 (或称直接焊) 和远焊 (或称传递焊)。

2.3.1 近焊 (直接焊)

所谓近焊是指焊头距离焊合面较近, 如图 2-1a 所示。这种方法适宜于超音波传递性不好的材料, 如尼龙、聚丙烯、醋酸纤维等。由于这些材料刚性小, 传递超音波的能力弱, 音波振幅衰减很快, 因此, 焊头应离焊合面近些。

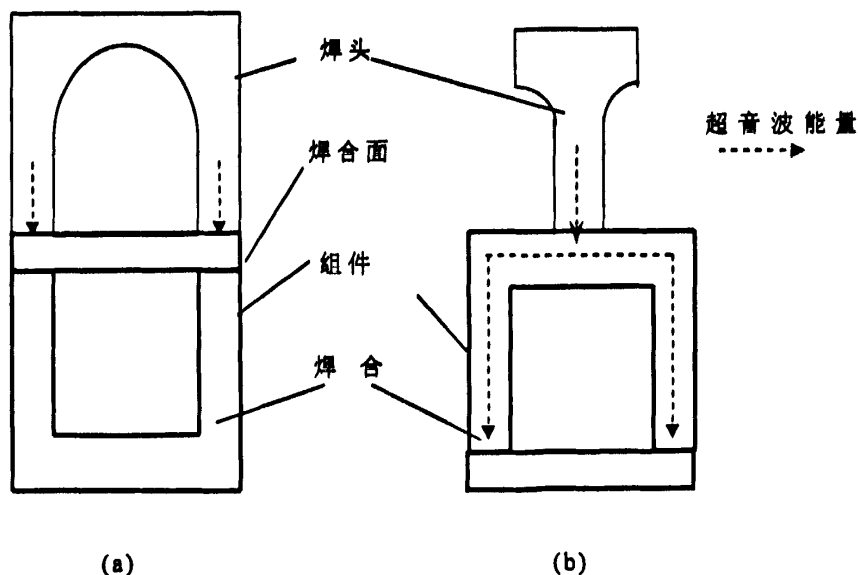


图 2 近焊和远焊示意图

近焊要求焊头的形状同焊合界面的形状相适应。这种方法已经成功地应用于自动包装、自动制袋等。表 3 为软质塑料的焊接工艺参数^[30]。

表 2-3 软质塑料的焊接工艺参数

材料	厚度 (mm)	压力 (N)	封口速度 (m/min)	封口强度
氯乙烯	0.03	19.6~29.4	20	良
聚乙烯	0.03	19.6~29.4	20	可
聚丙烯	0.03	19.6~29.4	25	优
聚乙烯醇	0.03	19.6~29.4	20	优
聚脂	0.02	29.4~39.2	15	良
尼龙	0.02	29.4~39.2	20	良
聚赛璐玢	0.05	29.4~39.2	20	良
合成纤维	0.05	29.4~39.2	20	良
尼龙布	0.10	49.0	10	可
备注	①焊机功率：70W，频率：28KHz，振幅 30~35 μ m ②上述材料用于各种制袋、果酱、辣椒油、酱油等的包装。			

2.3.2 远焊（传递焊）

在用超音波焊接硬质塑料时，超音振动能量通过材料传递到远离焊头端面的焊合面处，使材料发热熔化互相渗透、凝固而实现牢固结合。这种方法称为远焊，见图 2(b).表 4 为远焊的适用性和技术特性。

表 2-4 塑料的远焊特性比较

材料	远 焊 特 性				
	性能说明	适宜性	工艺性	精加工性	结合强度
聚苯乙烯	最适宜远焊，传递距离远	好	好	好	好
耐冲击聚脂	橡胶含量为 30%左右为宜	好	好	较好	好
丙烯晴-苯乙烯	传递距离比聚苯乙烯短，结合力大	较好	较好	好	好
聚丙烯	传递距离在 5mm 左右，接合面有大的突出	较差	一般	较差	较好

表 2-4 (续):

ABS (丙烯晴-丁二烯-苯乙烯)	传递距离要短, 应根据嵌合部位的形状和产生摩擦的情况调整焊接压力	较好	较好	好	较好
聚碳酸脂	要求有足够的能量, 传递距离要短, 焊头端面振幅要大	较好	较好	较好	好
聚缩醛	比聚碳酸脂困难, 要有充足的能量和大的振幅, 且传递距离尽量短	较好	较好	较好	好
丙烯树脂	与焊头接触部分会膨胀, 因此, 形状应精心设计, 适于小型件焊接	一般	一般	一般	一般
聚氯乙烯 (硬质)	传递距离在 5mm 左右, 与焊头接触部分有软化的倾向	一般	一般	一般	较好
醋酸纤维素	与焊头接触部分软化倾向大, 接合面突出大, 用于结合强度不大和焊后精加工件	较差	较差	较差	较差
氟化乙烯叉氯	传递距离在 5mm 以内时, 可作结合面焊, 但注意与焊头接触面会发生软化	较差	一般	较差	较好
聚乙烯	比聚丙烯可焊性差	较差	较差	较差	较差
尼龙	与焊头接触面处会发生较大变化	较差	较差	较差	较差

远焊要求固定金属焊头的端面输出频率为 20kHz 左右, 所以, 振荡器应采用频率自动跟踪方式, 以保持端面振幅不低于 $10\mu\text{m}$ 。金属焊头的截面形状设计, 要求有适宜的形式变化, 以便获得更大 ($15\sim 40\mu\text{m}$) 的振幅, 满足焊接要求。

为使被焊产品的表面不留任何压痕, 金属焊头的端面要加工成镜面。

另外，焊接过程中，金属焊头表面会产生污垢，焊头本身也会磨损，影响使用寿命。

远焊工艺的成败取决于材料对超音波振动的衰减情况，对于聚丙烯、丙烯晴-丁二烯-苯乙烯（ABS）、苯乙烯（SAN）等材料焊接效果很好，因为，它们的刚性和弹性都很好。同样，对于应用于液晶显示器内部背光源的聚碳酸酯(PC)及其掺杂物，一样属于硬塑料，同样有较好的远焊性能。

但是远焊工艺有明显的“临界距离”要求，超出临界距离，对同种材料也很难焊接。

2.4 超音波焊接能量转换的机理

在超音波焊接过程中，接头处能量的转换主要是指由超音波的机械能转换成使塑料熔合的热能，这种能量变化直接影响到结合面处温度的变化，影响到接头的质量。

由于超音波焊接过程的复杂性，有关焊接过程的研究还很不充分，关于其焊接机理也有多种解释。目前，关于塑胶超音波焊接熔合机理主要有以下两种观点：

1) 摩擦振动机制。认为当超音波作用于两焊件时，塑料质点会被超音波激发而引起连续交替的受压和解压，以至焊件接触表面因振动而产生摩擦，振动频率就是超音波的频率。此时，机械功转化为热，使焊件表面的温度升高直至熔化，最终形成焊接接头。

2) 应力应变储能及转换机制。认为塑料是粘弹性体，超音波在其中传播时，引起塑料质点的应力应变不同相，从而引起能量损耗，转化成热使焊件表面熔化形成接头。

2.5 能量转换模型及其计算

基于塑胶性能、结构以及分子组成的特殊性，大多数学者倾向于应力应变的储能转换机理。下面利用粘弹性动力学理论，通过求解物体在交变应力作用下所产生的应力响应来进行理论计算。

当弹性体受到正（余）弦波变化的应力(应变)作用时，应变（应力）与应力（应变）同相地作正（余）弦波的变化，如图 2-2（a）；对于粘性流体，应变(应力)则滞后 $\pi/2\omega$ 时间，如图 2-2（b），其中 ω 为频率。一般粘弹性材料的应变响应介于上述两者之间，若用 δ 表示相位差，则 $0 < \delta < \pi/2$ ，应变（应力）滞后的时间为 δ/ω ，如图 2-2（c）。

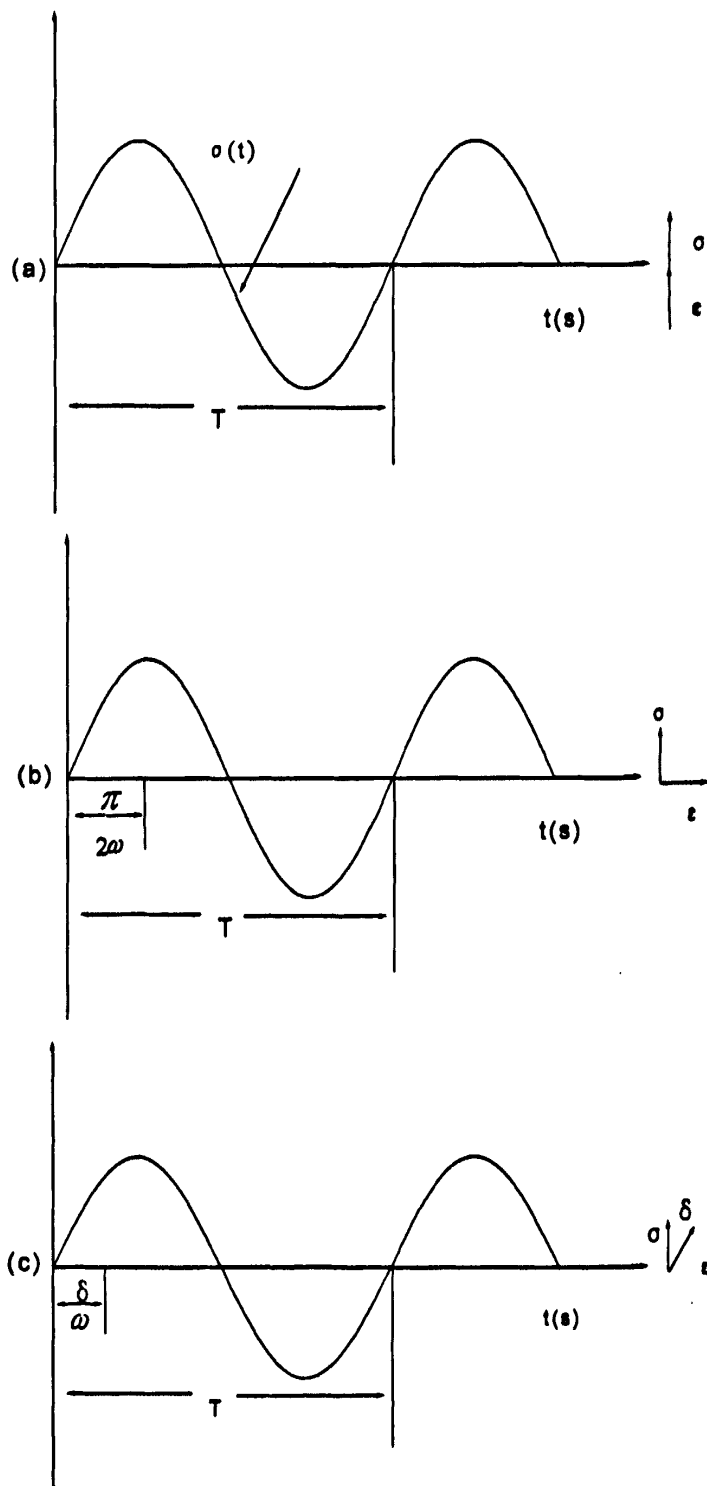


图 2-2 粘弹性体中波的位相关系(a,b,c)

设材料所受的震荡应变为：

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{i\omega t} = \varepsilon_0 (\cos \omega t + i \sin \omega t) \quad (2-2)$$

式中： ε_0 是应变幅， ω 为角频率，任一时刻的应变可分为实部 $\varepsilon_0 \cos \omega t$ 和虚部 $\varepsilon_0 \sin \omega t$ ，由微分型 Kelvin 本构方程：

$$P\sigma = Q\varepsilon \quad (2-3)$$

即：

$$\sum_{k=0}^m p_k = \frac{d^k \sigma}{dt^k} = \sum_{k=0}^n q_k \frac{d^k \varepsilon}{dt^k} \quad (n \geq m) \quad (2-4)$$

因为 P 和 Q 均为线性实数算子，当 $\varepsilon_t = \varepsilon_0 e^{i\omega t}$ 时，则应力亦必有公因子 $e^{i\omega t}$ ，则应力响应为

$$\sigma(t) = \sigma^* e^{i\omega t} = \sigma_0 e^{i(\omega t + \delta)} \quad (2-5)$$

其中： σ^* 为复应力振幅。

将 $\varepsilon(t)$ 及 $\sigma(t)$ 代入 Kelvin 本构方程(2-2)，得：

$$\sum_{k=0}^m p_k(i\omega)^k \sigma^* e^{i\omega t} = \sum_{k=0}^n q_k(i\omega)^k \varepsilon_0 e^{i\omega t} \quad (2-6)$$

或

$$\sigma^* = \varepsilon_0 \sum_{k=0}^m \frac{p_k(i\omega)^k}{q_k(i\omega)^k} = \varepsilon_0 Q(i\omega) / P(i\omega) \quad (2-7)$$

式中： $P(i\omega) = \sum_{k=0}^m p_k(i\omega)^k$ ， $Q(i\omega) = \sum_{k=0}^n q_k(i\omega)^k$ 。

设：

$$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} = \frac{\sigma^*}{\varepsilon_0} = \frac{Q(i\omega)}{P(i\omega)} = Y^*(i\omega) = Y_1 + iY_2 \quad (2-8)$$

其中 $Y^*(i\omega)$ 为动态模量，即为复模量，是频率的函数，与应力和应变幅值无关，而且不随时间的变化而变化。

根据弹性动力学的知识，塑料材料在超音波作用下的变形功 $W = \int \sigma d\varepsilon = \int \sigma \dot{\varepsilon} dt$ [31]。因此，对塑料受到的周期性外力作用进行分析，求出其储能模量和损耗模量，就可以计算出塑胶超音波焊接时工件的产热量。

粘弹性行为可用弹簧和粘壶相并联而成的 Kelvin 体来描述，为了能够真实的反映材料在超音波作用下的行为，做出更准确的分析，将塑料工件简化为 3 个串联的 Kelvin 体组成的模型，如图 2-3 所示。

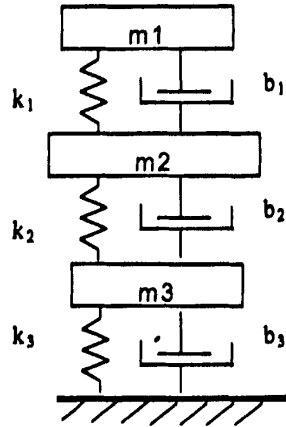


图 2-3 塑胶超音波焊接简化模型

对于塑胶超音波焊接，将其看成振荡应变作用，根据前面的数学模型可得：

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (2-9)$$

$$\sigma = (k_i + b_i)\varepsilon_i \quad (2-10)$$

令

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma}{ki + biD} \quad (2-11)$$

其中 D 代表 d/dt 。

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_i = \sum \frac{\sigma}{ki + biD} \quad (2-12)$$

即

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k_1 + b_1D} + \frac{\sigma}{k_2 + b_2D} + \frac{\sigma}{k_3 + b_3D} \quad (2-13)$$

亦即

$$p_0\sigma + p_1\dot{\sigma} + p_2\ddot{\sigma} = q_0\varepsilon + q_1\dot{\varepsilon} + q_2\ddot{\varepsilon} + q_3\varepsilon' \quad (2-14)$$

其中

$$p_0 = k_1k_2 + k_2k_3 + k_3k_1$$

$$p_1 = k_1(b_1 + b_2) + k_2(b_1 + b_3) + k_3(b_1 + b_2)$$

$$p_2 = b_1b_2 + b_2b_3 + b_3b_1$$

$$q_0 = k_1k_2k_3$$

$$q_1 = k_1k_2b_3 + k_2k_1b_3 + k_3k_1b_2$$

$$q_2 = k_1b_2b_3 + k_2b_1b_3 + k_3b_1b_2$$

$$q_3 = b_1b_2b_3$$

当把超音波的功效看作振荡应变作用，则可求得

$$Y_1(\omega) = \frac{p_0 q_0 + (p_1 q_1 - p_0 q_2 - q_0 p_2) \omega^2 + (p_2 q_2 - p_1 q_3) \omega^4}{p_0^2 + (p_1^2 - 2p_0 p_2) \omega^2 + p_2^2 \omega^4} \quad (2-14)$$

$$Y_2(\omega) = \frac{(p_0 q_1 - p_1 q_0) \omega + (p_1 q_2 - p_2 q_1 - q_0 p_3) \omega^3 + p_2 q_3 \omega^5}{p_0^2 + (p_1^2 - 2p_0 p_2) \omega^2 + p_2^2 \omega^4} \quad (2-15)$$

同理，由弹性动力学可知，在超音波作用下的形变功为：

$$dw = \sigma d\varepsilon \quad (2-16)$$

单位体积的能量为：

$$W = \int \sigma d\varepsilon = \int \sigma \varepsilon dt \quad (2-17)$$

假设外界为等温条件，在振荡作用下的粘弹性体内的能量有弹性势能和耗散两部分。当所受应变为

$$\varepsilon(t) = \varepsilon \cdot e^{i\omega t} \quad (2-18)$$

则其应力响应为：

$$\sigma(t) = Y^*(i\omega) \varepsilon(t) = Y_1 \varepsilon(t) + \frac{Y_2}{\omega} \varepsilon(t) \quad (2-19)$$

应力分为两个部分：弹性相 $Y_1 \varepsilon(t)$ 、粘滞相 $\frac{Y_2}{\omega} \varepsilon(t)$ 。

超音波在周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 内，在塑料中所作的功为：

$$\begin{aligned} W &= \oint dw = \oint \sigma(t) d\varepsilon(t) = \oint Y_1 \varepsilon(t) d\varepsilon(t) + \oint \frac{Y_2}{\omega} \varepsilon(t) d\varepsilon(t) \\ &= \frac{1}{2} [Y_1 \varepsilon^2(t)]_0^T + \int_0^T \frac{Y_2}{\omega} \varepsilon^2(t) dt \end{aligned} \quad (2-20)$$

式中第一项为可逆的弹性势能，而后一项为损耗能量，即用于超音波焊接的能量。

若超音波的实际波形为 $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$ ，单位体积所耗散的能量为：

$$W_d = \frac{Y_2}{\varepsilon} \int_0^{2\pi/\omega} \omega^2 \varepsilon_0^2 \sin^2 \omega t dt = \pi \varepsilon_0^2 Y_2(\omega) \quad (2-21)$$

单位时间内作用于焊接的能量为：

$$W = \frac{1}{2} V Y_2 \omega \varepsilon_0^2 \quad (2-22)$$

V 为超音波所作用的体积。

2.6 本章小结

本章阐述了塑胶材料的超音波焊接机理及可焊性，介绍了超音波焊接的形式：近焊和远焊。从能量转换的理念，说明了塑胶超音波焊接过程中热量产生的机理。根据粘弹性力学理论，从塑料的复模量出发推导了塑胶超音波焊接过程的能量转换公式。

第三章 超音波焊接品的结构设计

3.1 焊接界面的设计原则

进行塑胶件的超音波焊接时,焊接界面的形状及导能设计十分重要,直接影响焊接的结果,即使材料具有良好的可焊性,设计界面也应遵循以下原则:

(a)减小初始接触面积,使能量高度集中,以有利于界面区材料的快速熔化。

(b)两待接合件在焊合接口处应采用间隙配合,以便于振动的流畅传递,增加摩擦。

(c)应留有足够的间隙,容纳熔化的塑料,以免产生飞边。

(d)尽可能使熔合面同时平行或垂直于振动方向,阶梯形接口对焊缝的气密性有利。

(e)被焊件与焊头要有足够大的接触面,以免焊头在发射超音波时陷入工件内。

(f)最好将两塑胶件的接口设计成带 0.5mm 宽的凸缘,以免接缝处出现痕迹。

焊接界面的设计形式如图 3-1 所示。

图 3-1(a)是一般焊接界面的形式,水密性较差。壁厚 $W=1\sim 2\text{ mm}$ 时,内壁的接合面 $X=W/2$ 为宜。接合面的间隙 t 随接合面的长度而变化,一般取 $t=0.2\sim 0.5\text{ mm}$ 。

图 3-1(b)的形式适合于薄壁焊。壁厚 $W=1\text{ mm}$ 左右时,由于箭头指示部分突出,为防止外部膨胀,取 $X=W/3$ 为宜, $t=0.3\sim 0.5\text{ mm}$ 。

图 3-1(c)的形式如图 3-1(b)所述,为避免向外膨胀和防止苯乙烯因突出而引起破裂所采取的措施。 $X=W/2$, $t=0.3\sim 0.5\text{ mm}$ 。

图 3-1(d)的形式适合于水密性制品的焊接和大型模塑制品的均匀焊接。接触面的角度 $\theta=45^\circ\sim 60^\circ$, $X=W/2$, $t=0.3\sim 0.8\text{ mm}$ 。

图 3-1(e)是要求水密性和防止向外膨胀的形式。接触面的角度 $\theta=45^\circ\sim 75^\circ$, $X=W/2$, $t=0.3\sim 0.8\text{ mm}$ 。

图 3-1(f)适宜于焊接强度大的制品。(ii)和(iii)是圆锥形表面,互相嵌得太紧,接合面不发生振动,使能量直达下部而不能焊接。因此,必须充分注意圆锥面的接触, $X=Y=W/3$, $X'=W/4$, $t=0.2\sim 0.5\text{ mm}$ 。

图 3-1(g)是要求水密性好和强度高的焊接界面形式。 $V=1\sim 2\text{ mm}$,

$t=0.3\sim 0.6\text{mm}$ 。

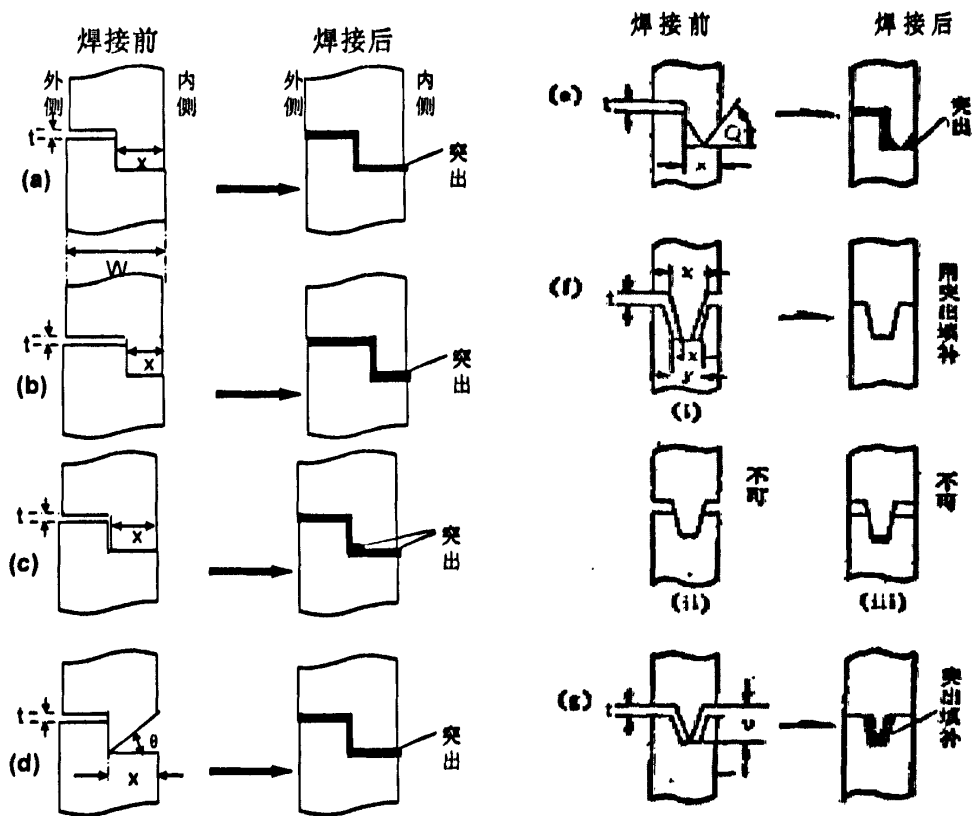


图 3-1 焊接界面设计形式

3.2 影响焊接的其他因素

(a)脱模剂。各类脱模剂，特别是含硅物，像烟雾一样笼罩在焊合面上，使其润滑，有碍于焊件之间的相对摩擦，影响焊接效果。

(b)丁二烯。含有丁二烯填料的高冲击硬塑料，如聚苯乙烯、耐冲击丙烯、高冲击 ABS 等，都由于含有丁二烯而使可焊性大大降低，焊头的工作面上留下明显的印痕，焊接均匀性差，甚至焊不上。

(c)钛的氧化物。钛的氧化物过多，有与丁二烯类似的缺陷，尤其是白色高冲击塑料，如焊白色的 ABS 比焊红色的 ABS 所需的时间长一倍。

(d)导能肋的位置。导能肋应设计在与焊头相接触的焊件上。

(e)振动件的选择。如 2.5 章节所推导的公式(2-22),焊接能量 W 正比于超音波所作用的体积 V ，所以对于两个体积不同的焊件，焊头应放在质量较轻焊件上，这样可以节省能量，降低超音波机台功率要求。

(f)不同的材料。两种不同材料焊接时，导能肋原则上应设计在材质

较硬的焊件上，而且焊头也应放在硬件上。如：ABS 与丙烯晴，导能肋应设计在丙烯晴焊件上，并且将其作为动件；聚碳酸酯与丙烯晴，导能肋就应设计在聚碳酸酯件上，且将其作为动件。

(g)尼龙的潮湿。尼龙注塑件在注塑后 24 小时左右就会潮湿，会大大降低其可焊性，为了保证焊接质量，尼龙必须在注塑后立即焊接，或焊接前在 80℃下硫化 4 小时，消除其湿度。

(h)氧化皮的作用。由尼龙焊可见，氧化皮会影响 V 形导能肋尖端的焊接。

3.3 灯管压条的结构设计

针对待超音波焊接的灯管压条，需要增加导能肋，以便使超音波能顺利传导并产生作用，在设计时要进行相应的变动，改变部分结构以传递超音波并产生熔合的界面。

3.3.1 灯管压条的原有结构

按现有加工方式制作的灯管压条，除双面胶贴敷反射片的工艺不需要增加固定机构。其他方式都要有机构结合点。

如采用二次射出成形时，因为正面有反射光线的需求，不能有外观上的差异，如图 3-2 所示，所以应在先射出的反射薄片的背面设计嵌脚。当把反射片放入射出机台，进行二次射出时，后射出的黑色 PC 会包覆白色反射片的嵌脚，所以当塑胶冷却脱模后，白色嵌脚和黑色塑胶紧密结合在一起。灯管压条反面会看到有高反射白色嵌脚在黑色胶框内，达到加强接触强度，如图白色嵌脚所示。

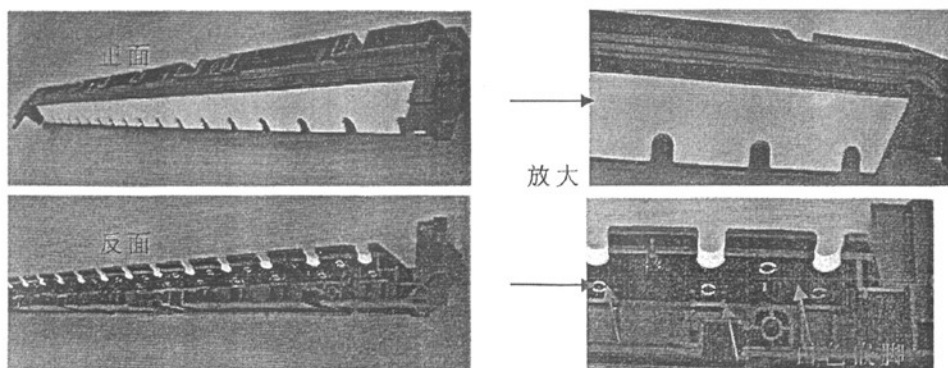


图 3-2 现有工艺制作的灯管压条

3.3.2 灯管压条的新工艺结构

对于进行超音波焊接的灯管压条，其结构必须进行相应的设计变动，需要增加焊接肋(导能肋)和焊接槽来实现焊接，如图 3-3 所示。

在黑色的塑胶上设计上、中、下三条内凹的焊接槽，对应的白反射片背面设计凸起的上、中、下三条凸起的焊接肋，因为焊接结合面在槽和肋之间，所以如下图所示，焊接完成品背面是看不到任何白色塑胶嵌脚的。这也是区分灯管压条工艺种类的一个简单的方法。

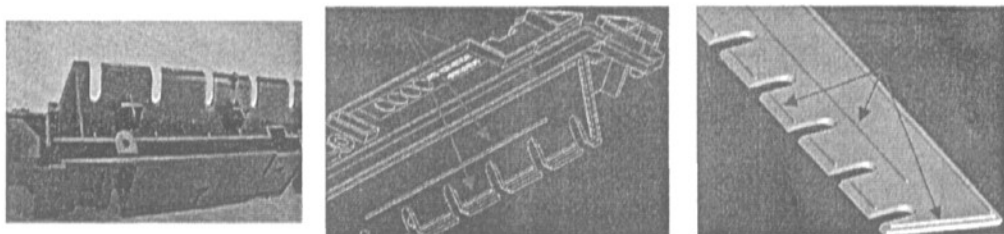


图 3-3 超音波焊接的灯管压条设计

依据 3.1 节所述的焊接界面设计原则，对焊接界面的槽和肋进行了如下设计：

- 1) 焊接界面设计形状如图 3-4(a)所示，肋的设计截面为接近梯形，但顶部设计为圆弧形，这样和槽的接触点比较小，有利于能量集中。
- 2) 槽和肋是间隙配合，有利于能量传递，增大摩擦。
- 3) 焊接熔合面和超音波传递方向为同时垂直和平行，有利于气密性。
- 4) 留有足够的间隙，容纳熔化的塑料，不会产生飞边,如图 3-4(b)，焊接后体积配合相当。

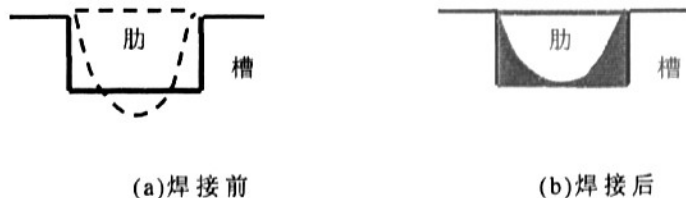


图 3-4 焊接面示意图

3.3.3 结构设计注意点

根据 3.2 节所述影响焊接的因素，进行灯管压条的焊接设计，有以下注意点：

1) 清洁焊接件：在焊接前，被焊物应如图 3-5（黑色胶条和白色反射片）所示进行清洁处理，将表面的机油及脱模剂等化学品，应用超音波清洗机，配合化学溶剂进行清洗。

2) 导能肋设计：焊接肋必须设计在与焊头相接触的焊件上，本课题中的白色反射片接近焊头，所以焊接肋应该设计在白色反射片上。

3) 振动件的选择：对于两个体积不同的焊件，焊头应放在质量较轻

的焊件上，所以白色反射片应该设计为振动件，同时反射片表面较光滑，厚度比较均匀，能较好地传递超音波能量。如图 3-5 所示，为焊接时焊件位置。

4) 不同材料焊接，导能肋放置在较硬的材料上。本课题实验的灯管压条黑白材料均为 PC，所以影响比较小。

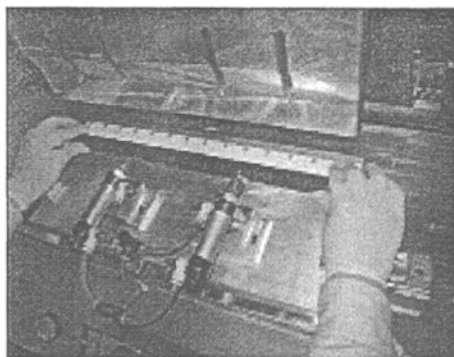


图 3-5 焊接时焊件位置

焊接槽(肋)尺寸相差不能太大，否则容易出现以下问题：溢胶和焊接强度不足。

如表 3-1 所示，当设计不当时，焊接肋设计远大于焊接槽时，肋熔融的塑胶会溢出槽，造成外观不良或者表面不平整，称为“溢胶不良”；相反，当焊接肋远小于焊接槽时，肋熔融的塑胶无法充分接触焊接槽底部，造成结合强度不够，会引起脱落或强度不足。

这两种不良情况都要尽量避免，这就要求必须要有相当体积的焊接槽和肋。

表 3-1 焊接槽和焊接肋设计不当的情况

熔接線設計比例遠大於熔接槽				溢料表面貼合不平整
熔接線設計比例遠小於熔接槽				熔接強度不足

本课题的实际设计尺寸如图 3-6 所示，焊接肋高度 0.81mm,焊接槽 0.45mm，公差 $\pm 0.1\text{mm}$ ，经过测量计算，肋和槽的体积相当。

实验结果：在体积相当的前提下，肋的高度要比槽的深度更大，但是槽和肋的干涉量以不超过 0.5mm 比较合适，这样结合强度比较好。

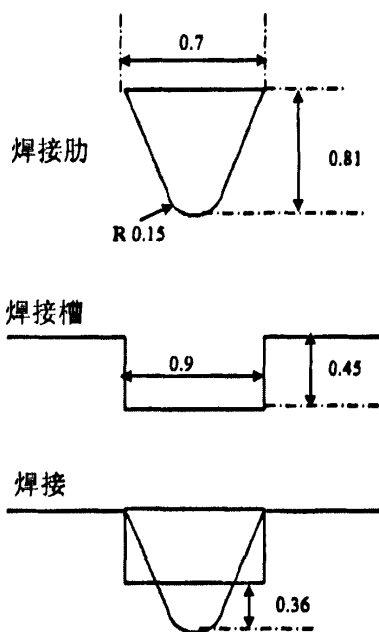


图 3-6 焊接槽和焊接肋设计尺寸(单位:mm)

3.4 本章小结

本章阐述了超声波焊接界面的设计原则及焊接质量的影响因素，根据焊接界面的设计原则，列出了灯管压条结构设计的注意事项，给出了超声波焊接件——灯管压条的结构方案及其焊接槽/肋的适当尺寸。

第四章 灯管压条超音波焊接的前期准备

4.1 超音波焊接机简介

超音波设备由台湾厂商“一源”制造，其焊接机采用日本 NTK 公司的压电换能器，应用摩擦生热的原理，经超音波振动后，使两片塑料件于瞬间在接触面热熔，完成焊接，不仅可以达到不漏水、不漏气的要求，而且使产品美观、坚固耐用，还可以使生产过程自动化。

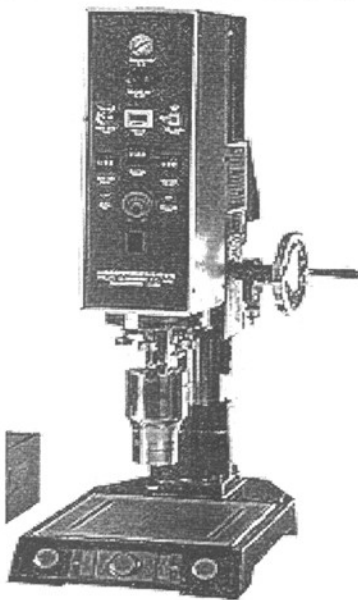


图 4-1 一源超音波焊接机

4.1.1 超音波焊接机的特点^[32]

1) 采用固态全晶体式超音波发振机，耐振强，耗电少，并能自动追踪周波率在最适合之共振频率，所以适合长时间使用；

2) 压电式 P.Z.T 振动子，结构坚固，效率高，振动力特强；

3) 空压驱动回路，配合 IC 自动控制回路，各种熔接状况的设定可靠，操作简便，初学人员也容易操作；

4) 焊头及模具的换装调整极为方便，互换性高，增加其应用性。

目前使用的机台规格：

振动力：2200W，15KHz

电源：220V，50/60Hz 11A

4.1.2 超音波熔接机的结构

焊接机的结构及实物照片如图 4-1 所示。

图 4-2 为超音波焊接机示意图。

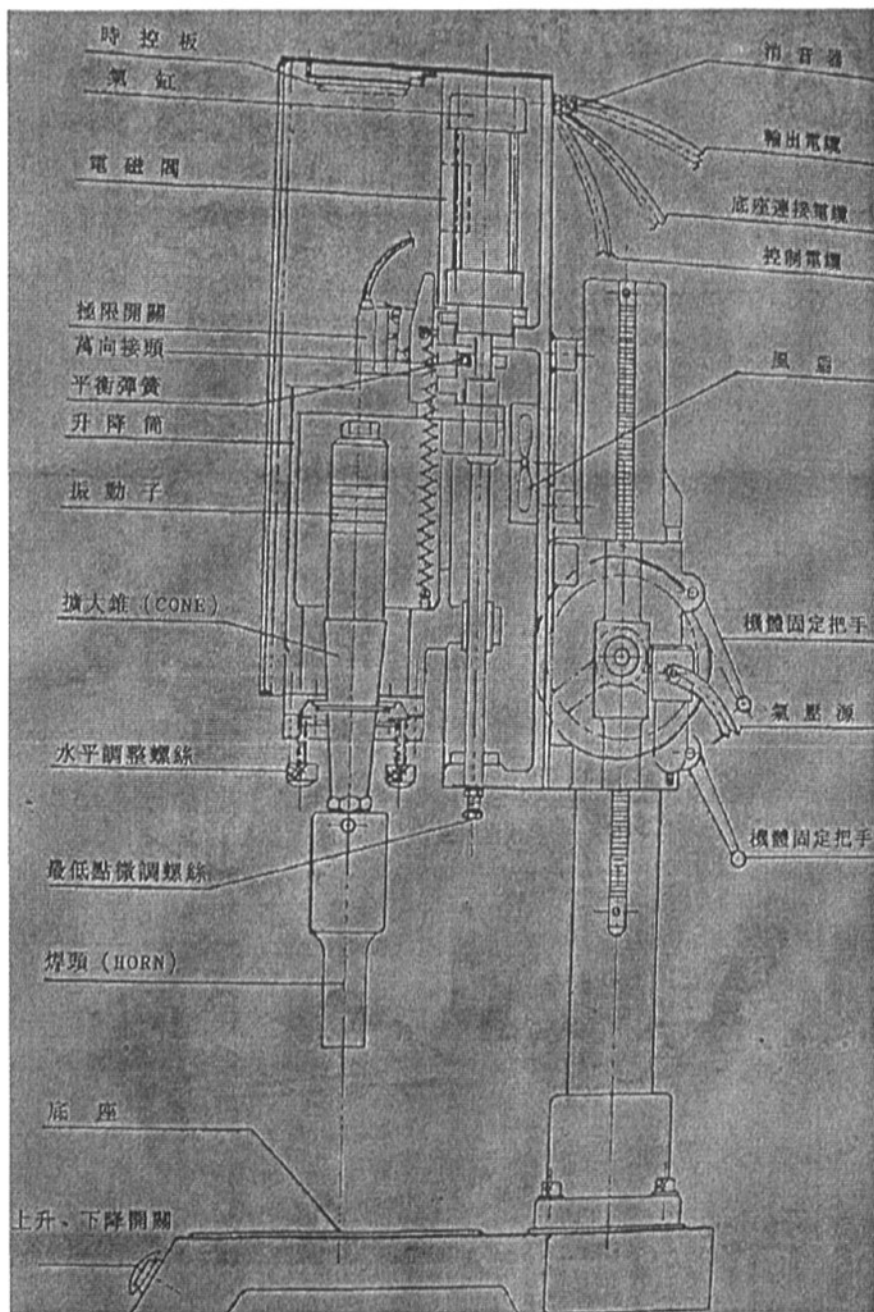


图 4-2 超音波焊接机台示意图

图 4-3 为两台并联式超音波焊接机照片，因为每台超音波焊接机的功率作用范围有限，当被焊物长度达到一定程度时，需要并联两台焊接机，同时使用并联的焊接制具，来加长焊接的长度。

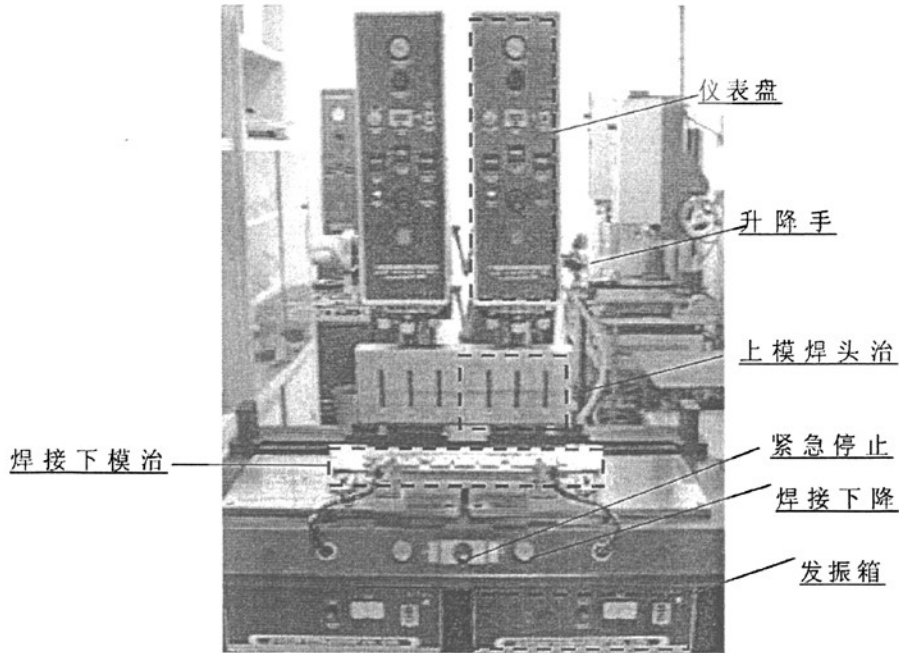


图 4-3 超音波焊接机（两台并联式）

图 4-4 为发振箱正面照片，并注明了设定功率、音波调整螺丝等界面。



图 4-4 发振箱正视图

如图 4-2～图 4-5，该机台的主要功能部件为：

- 1) 焊头:传达振动能量与工作物上，使之熔化焊接。
- 2) 上升/下降缓冲调整：调整孔位于机台侧面可适当调整，使上升惯性适中。

3) 下降速度调整：调整合理适当之下降工作速度用。

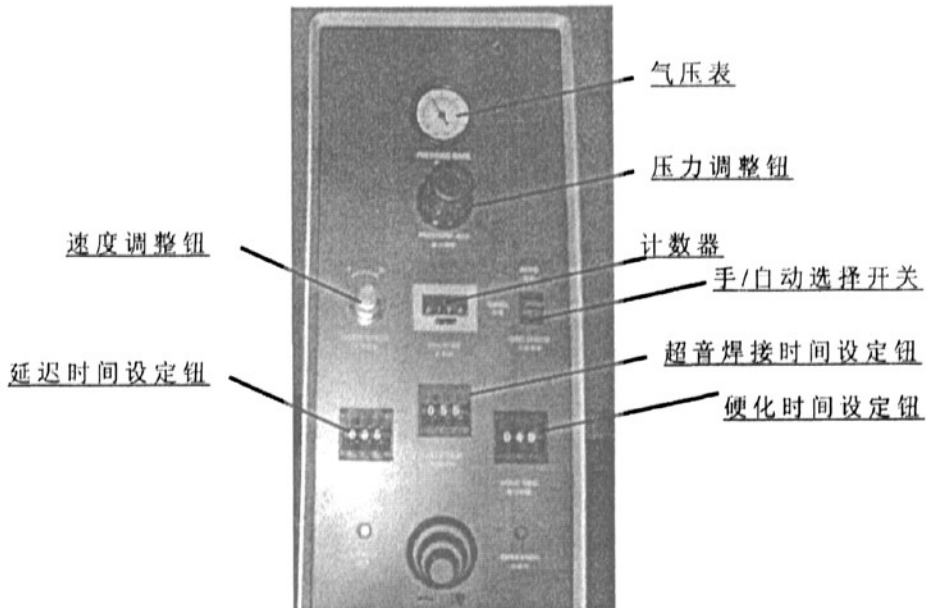


图 4-5 仪表盘

4) 升降手轮：在机台侧边，升降整个机体用，每转动一圈约升降 5mm 行程

5) 最低点微调螺丝：在焊接熔化快，或外形尺寸需精确时使用，可限制升降筒之下降。

6) 水平微调螺丝：调整此四个螺丝，可使焊头平均压附在工作物上。

7) 机体固定手把：使机体与支柱紧密固定用

8) 调压及压力表：工作压力指示及调整设定用

9) 延迟时间设定：调整开始发振的时间，在限制开关动作后 0-9.99 秒开始发振

10) 焊接时间设定：调整焊接时间长短，在延迟时间终了发振 0-9.99 秒之范围

11) 硬化时间设定：调整发振终了工作物熔融处冷却定型时间在 0-9.99 秒之范围

12) 音波调整：调整振动子系与发振回路之共振匹配，使转换效率达到理想

13) 振幅表：显示音波空载或负载工作之振幅强弱

14) 电源开关及灯：电源开关之控制，及提示开路之灯号

15) 选择开关（自动/手动/音波检查）：自动或自动操作的选择，及

作超音波空载检视之按钮。

16) 音波出力调整钮：音波出力段数之设定用，2-4 段为一般使用，5-6 段为强力输出用。

17) 音波过载灯：显示音波过载之不正常，需做音波调整，至过载灯不会显示为止。

18) 焊接下降钮：自动/手动操作方式时做下降之动作按钮

19) 紧急上升钮：做紧急上升或手动上升用

20) 接地螺母：电子回路之接地线连接用，漏电时的安全保障

4.1.3 超音波焊接机台操作步骤：

对于超音波焊接新机台，在了解其各个界面之后，就要进行开机调整操作，具体步骤如流程图 4-6：

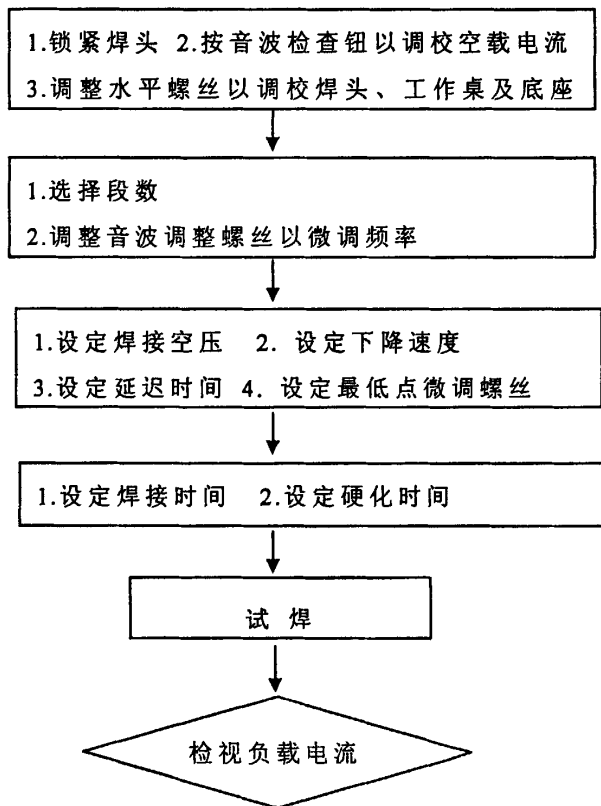


图 4-6 超音波焊接机台调机流程图

当负载电流分别出现过载，正常和异常时，分别按照图 4-7 流程图处理：

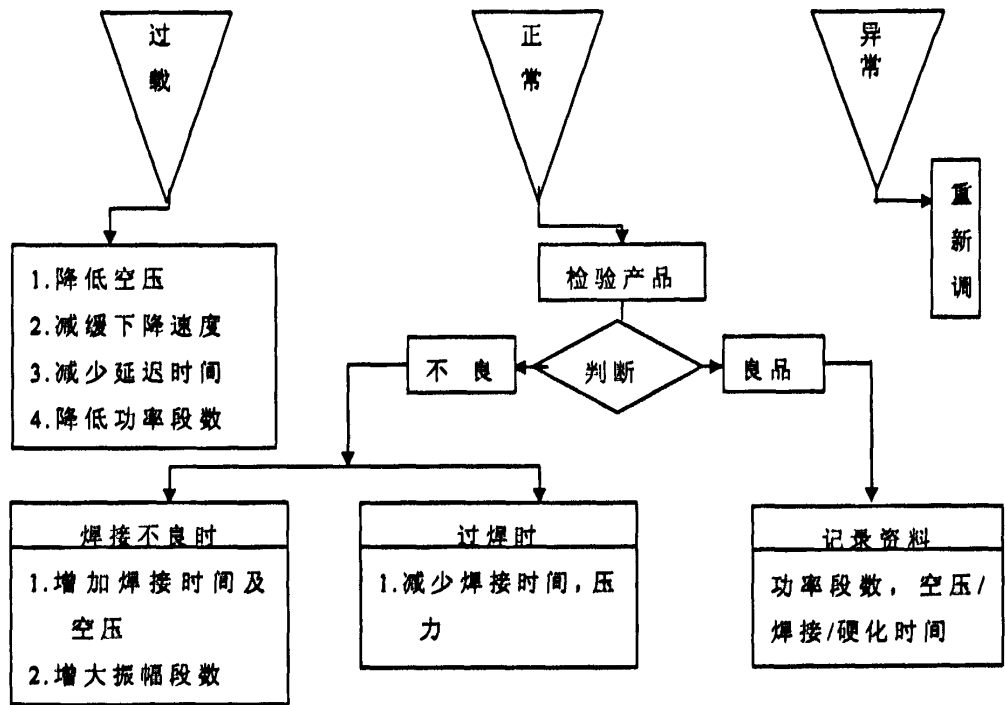


图 4-7 负载电流调节流程图

机台初次调整时，由机台原厂商进行操作，按照上述流程进行调整。

4.2 实验前相关准备

4.2.1 制具

机台焊接制具(上、下模)，用于固定上、下两部分待焊接加工的部件，对应于不同的产品，需要有不同的上、下模制具来定位焊接物，制具需要提前准备，给出产品对应的结构图面，请厂商制作。

如图 4-8，由铝合金制作完成的上、下模制具，表面进行了硬度处理，不仅可以更好地定位，还能增加制具使用寿命。上模制具用于传送超音波能量，下模用于将被焊物固定，当上模下降时，能准确地定位被焊物相对结合位置，同时将超音波能量传递到被焊物上。

两个气动定位制具的作用是，焊接前当被焊物放到下模上以后，气动定位制具会前推待焊物，使其确实和下模紧密配合，确认定位准确，防止超音波能量传递错位，或造成焊接位置不良的问题。

4.2.2 材料

提前生产被焊物，即灯管压条的半成品：使用高反射 PC 粒子生产塑胶半成品白色反射条，使用含黑色色母的 PC 掺杂 10%玻璃纤维混合原料

粒子生产黑色胶框。

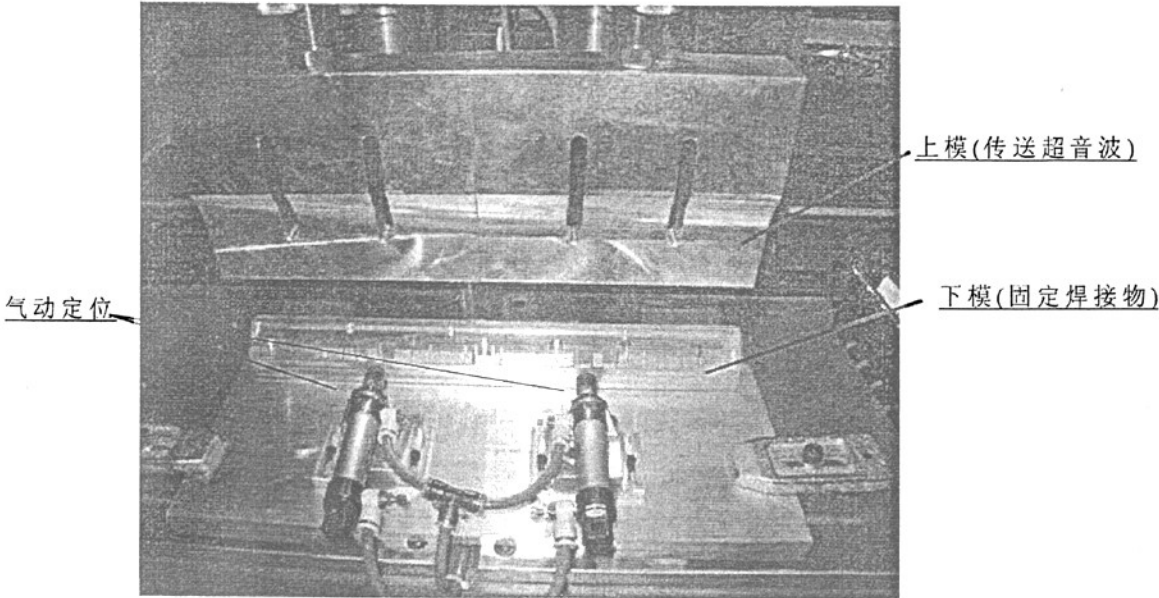


图 4-8 上下模制具

实验用第一片射出塑胶黑、白半成品，焊接前需要对导能肋和焊接槽进行量测，高度的规格如图 4-9 所示，尺寸公差 $\pm 0.1\text{mm}$ ，按照规格对每条槽和肋测量，测量结果尺寸合格。按照此法进行材料的尺寸检查，尺寸合格才是焊接成功的前提。

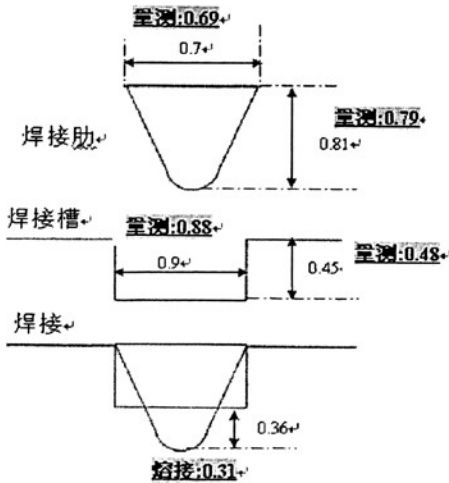


图 4-9 实际焊接件尺寸量测

4.2.3 耗材

PE 膜在焊接过程中用于防护，压合时会磨伤白色反射面，当有磨伤

时, 灯管光线的反射会不一致, 影响到显示效果, 引起不良品, 对于合格率会有影响。如图 4-10 卷状的塑料膜(PE 材质), 较薄、透明状, 需要提前购买准备。该 PE 防护膜使用前要确认不可有褶皱及破损, 生产时需要覆盖到压合表面, 压合使用后如无破损可以重复使用, 但需要定期更换。

4.2.4 工艺指导书

制作过程中需要给作业员定义正确的作业方式及方法, 工作区域要在相对比较洁净的环境中进行:



图 4-10 防护塑料膜(PE 材质)

1. 待焊接物外观检查, 确认是否有结构不良, 及影响焊接的外观性不良, 如有不良品需挑选出来不予使用, 并重新选取合格品。
2. 焊接物定位: 取贴合半成品(反射片和压条), 确实放置在下模治具上, 如图 4-11, 要确保贴合在制具上, 放好后再用两手从中间向两端抹一下, 防止有翘屈, 使焊接槽和焊接肋配合到位。
3. 覆盖 PE 塑料膜在反射片上。如图 4-12 所示, 需确认 PE 塑料膜的铺放平整, 且其表面无杂物, 需确认 PE 塑料膜完好, 如有破损, 则需立即更换后才能进行焊接加工。
4. 启动焊接: 左、右手拇指分别对准左、右两个绿色按钮, 然后同时按下按钮约 1 秒后释放按键。如图 4-13 所示, 按下前需确认: 没有手、头发、衣物等在上面^[33], 否则会有安全事故发生。
5. 待焊接完后, 上模治具上升到最高点并停止后, 掀开 PE 塑料膜, 双手各执产品一端, 斜向后提起使产品脱离下模治具。
6. 焊接完成品需要进行 100% 全部检验^[34], 如图 4-14 所示, 检验其焊接质量及外观, 不可有反射片移位、磨伤、刮伤、变形、溢胶、脏污等不良现象。
7. 轻微压反射片底部, 检查反射片与边条是否有确实熔接, 如发现



图 4-11 放置待焊物图



4-12 加保护膜图



4-13 按下启动钮

反射片与边条有剥离现象，则把此不良品放入不良品区。

8. 遇紧急状况时，如图 4-15 所示，立即按下机台操控板中间的红色按钮以停止机台运作。

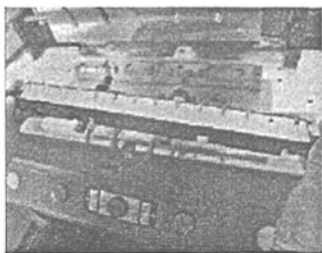


图 4-14 检查焊接品



图 4-15 紧急制动

4.2.5 人员教育训练及防护

在量产前需要请机台的厂商对作业员进行机台操作的教育训练和上岗认证，同时焊接工艺必须由负责的工程师进行现场的教育训练，经过实际操作考核，获得上岗证，才能凭证上岗生产，减少不应该发生的质量和安全隐患。

超音设备发出高频噪音，长期作业对操作人员会影响听力，产生恶心，疲劳，头痛等症状，本机台音频较低，相对伤害较小，但还是要进行防护。超音设备要单独存放，且人员要佩戴耳罩及其他防护用具，该物品都要提前做好，作业前检查是否佩戴。

4.3 塑胶超音波焊接工艺参数的选择

影响超音波焊接质量的各个因素，进行分析，才能发现塑胶超音波焊接的工艺参数之间的相互关系，及各自对焊接质量产生的影响。选取三个主要的参数进行分析，分别是：焊接时间、焊接压力和保压时间。

4.3.1 焊接时间对焊接质量的影响

焊接时间是一个对焊接质量具有很重要影响的工艺参数。焊接过程中产生的热量与焊接时间成正比，随着焊接时间的增加，意味着在接头部位产生的热量增加。结合处的温度上升曲线类似图 4-16^[35]，焊接开始

时升温速率很快，但是当接头处开始大面积熔化后，随着内部熔化后流体的流动热量的分布开始逐渐均匀，升温速率开始下降。

在一定范围内，随着焊接时间的增加，接头处的强度也随之增加，这是因为焊接时间的增加，结合表面的塑胶熔合量也越多，上下表面间的熔合越充分。分子间的紧密熔合造成了分子链的紧密缠绕，使熔合区的强度增高，但并非焊接时间越长越有利于接头强度的增加。焊接时间的增加，一方面使熔合区的结合更加紧密，另一方面由于过度的热量的影响，熔合区增大，热影响区也相应增大，使得整个接头的强度出现下降趋势。此外，焊接时间过长，容易造成热影响区的韧性下降，使原来具有高度取向性的分子变得无序，从而改变了母体在结合区的物理性质，

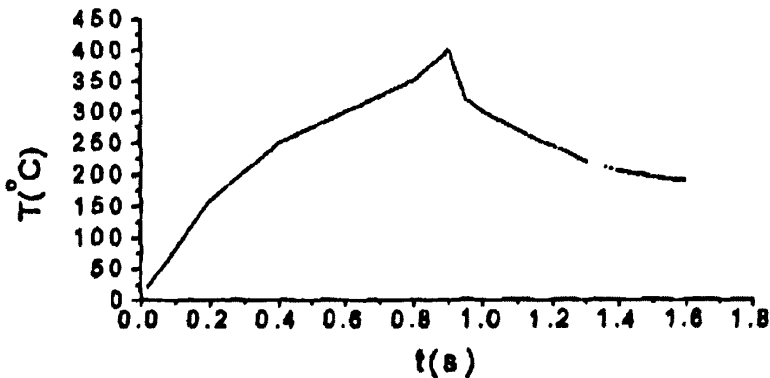


图 4-16 焊接接头处温度变化

对强度造成相应的影响。

对于本文研究的 PC 材质，如果焊接时间过长，母材将大面积熔化，焊接槽溃坍，材料物性变化，不光焊接强度受到影响，连外观都会有影响。

有实验表明，其他焊接参数一致，将塑胶件进行焊接实验，将焊接时间持续加长，可以发现焊接强度也发生变化，从图 4-17^[36]中可以看出焊接时间对强度的影响趋势。引起了材料的声阻抗的增加。由于声波的损耗特性，超音波在材料中的损耗增加，导致了接头部位整体的温度上升速率变大，也使接头处焊缝中的挤出量增加，影响接头处美观，也影响焊接质量。

4.3.2 焊接压力对焊接质量的影响

焊接压力对焊接接头的质量影响主要表现在两个方面。一方面，焊接压力的存在使接头处的两个界面紧密接触，有利于超音波的作用。因为过多空气隙的存在会增加音波的损耗。另一方面，焊接压力的存在使

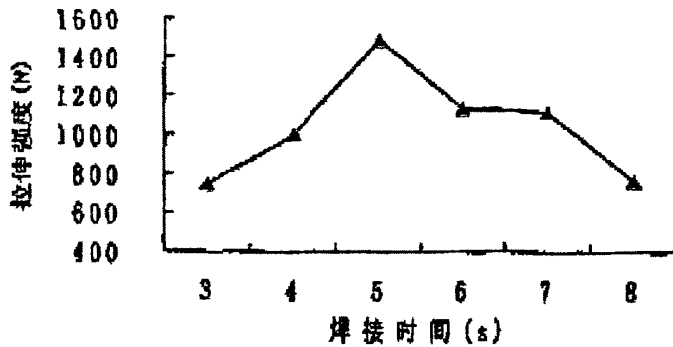


图 4-17 焊接时间对强度的影响

内表面在熔融后，既能够使熔融层在两个表面迅速扩展，使两个界面熔合，又能够在保压阶段，使接头处在压力的作用下逐渐冷却，避免了材料在自身的弹性作用下产生接头处分离的现象，从而增加了接头处的熔合强度。同时，压力也对表面质量有一定的影响。

在其他参数确定的情况下，压力在一定范围内，对接头强度的提高有比较明显的作用。焊接压力只有在达到一定的数值后，接头处才能焊合。但是经过实验得到焊接压力对于焊接强度的影响如下图 4-18^[37]所示。焊接成功需要达到一定的焊接压力才能实现，但是随着焊接压力的增加，达到一定数值之后，接头的强度会开始下降。

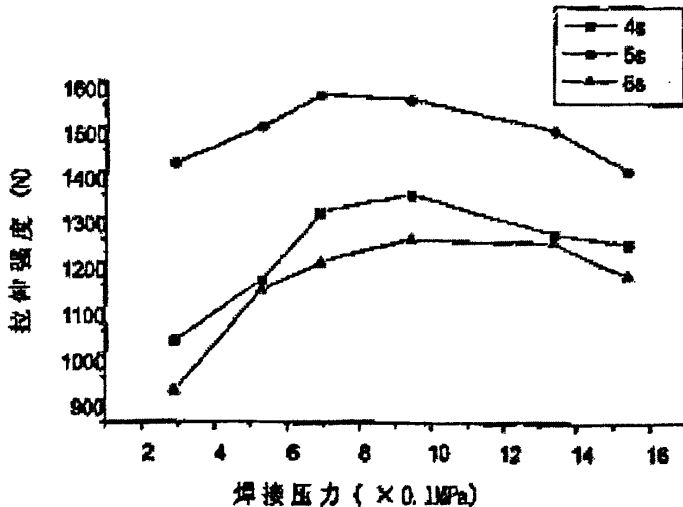


图 4-18 焊接压力对于焊接强度的影响

另外，当焊接压力过大时，还会将焊接熔融塑胶从焊缝中挤出，影响到接头外观，同时也降低焊接接头的强度。

4.3.3 保压时间对焊接质量的影响

保压时间的作用主要在于使接头处能够在一定的压力下完成熔合后凝固，时间越长，凝固的就越充分，材料分子间的结合也就越紧密，对焊接接头强度的贡献也就越大。因为在停止超音波输入后，结合区的温度达到最高点，处于晶体的熔融温度 T_m 之上。如果此后没有压力的继续存在，接头处将可能因为材料本身的弹性或因为焊接机的工具头与材料的粘连而使两表面分离。但是当接头处的温度降到粘态流动温度 T_f 以下后，塑胶重新成为固体，接头处的强度接近最大值，此时间后，压力的存在对强度的影响基本上可以忽略了。

图 4-19 是不同保压时间的焊接强度与时间的关系图^[37]，保压时间对焊接强度的影响属于正面的影响，随着保压时间的增加，焊接强度也增加，但是达到一定数值后就不再增加了，而且相对于其他影响因素，保压时间对总体的影响幅度比较小。

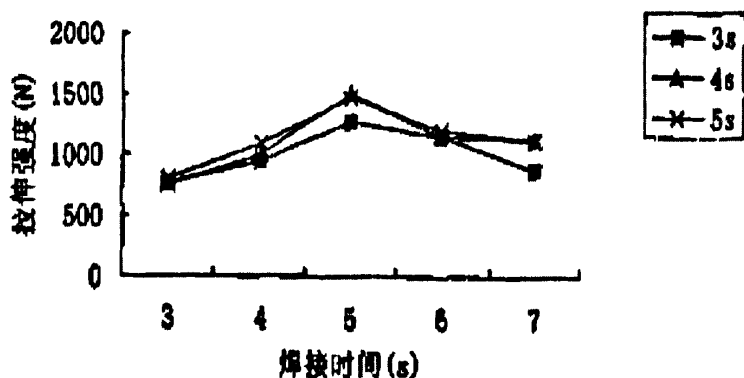


图 4-19 保压时间对焊接强度的影响

4.3.4 工艺参数的关系及选择

基于对工艺参数的研究结果对机台进行调谐，超音波焊接时间、焊接压力和保压压力是影响焊接质量的三个主要工艺参数。增加焊接时间，结合处热量增加，有利于焊接强度，但是加大焊接压力，会影响焊接处外观，甚至影响强度，所以要获得好的焊接质量，必须综合调整各个参数，使之匹配良好，而且这三个参数都存在一定的范围值，在范围内均可得到好的焊接质量。

本论文研究的待焊接件，其焊接强度标准，达到双面胶的粘贴强度即合格，超音波焊接非常容易达到这种强度，但需要注意的就是焊接外观要好，足够平整，没有溢胶，不会影响光学反射效果。

机台调试后，在 15KHz 的振动频率下，电源功率 1800W~2000W 左

右(2~3 段), 谐振频率 $<1\text{A}$ 时, 要达到好的焊接质量, 基本工艺参数范围如下:

气缸压力: $2\sim5\text{ Kg/cm}^2$, 建议设定值 3 Kg/cm^2

焊接时间: $0.45\sim0.75\text{s}$, 建议设定值 0.6s

硬化时间(保压时间): $0.4\sim0.7\text{s}$, 建议设定值 0.5s

机台相关参数的具体数值需要按照各个型号的产品, 参考建议设定值来进行实际微调, 直到焊出外观和焊接质量均完好的产品, 也代表找到了最合适的参数。

4.4 本章小结

本章主要介绍了超音波焊接实验前需要准备的事项, 从机台的准备, 重点介绍了超音波机台的特点和相关结构, 然后介绍了实验前需要准备的制具, 相关焊接材料, 生产过程中用到的耗材, 生产人员需要的工艺指导书及人员的教育训练。基于对焊接机台比较重要的三个参数的分析, 得到其各自和焊接强度之间的关系, 然后对机台进行调谐, 得到本论文实验相关的参数选择。

第五章 超音波焊接的实际生产

5.1 超音波焊接作业

5.1.1 架模开机

按照不同的产品架设对应正确的上、下模，然后开机，在开始前先将机台擦拭干净，调整模具方向、位置，确保其固定好。依据厂商给出的参数建议值，将设备参数预设好。

如果是新的产品，需要进行参数的实验，分别使用不同参数，来进行质量检验，综合考虑生产速度和质量，定出比较合适的数据作为机种参数，并以文件的形式记录下来，供后续生产使用。

5.1.2 焊接前确认

先将清洗干净的待焊接物，进行检查，确认尺寸、外观等品质完好，然后放置到下模上，定位，按下开始按钮进行焊接。

5.1.3 检查焊接品

目视检查成品外观，不可有反射片移位、磨伤、刮伤、变形、溢胶、脏污等不良现象。轻微压反射片底部，检查反射片与边条有确实熔接，如发现反射片与边条有剥离现象，则把此不良品放入次品区，分析出不良原因改善以后再生产。

5.1.4 可靠度测试

将加工完成的焊接品进行相关强度和环境测试：

强度测试：标准为白反射片从黑色胶框上剥离的力要大于等于使用双面胶人工贴敷方式的强度。因为焊接强度太大，无法直接撕开黑白塑胶件，必须先将焊接完成品用工具从中间折裂，然后用力撕开反射片和黑色胶框，此时的力测得结果远远大于背胶贴敷方式。撕开后的白反射片接触面，如图 5-1 所示，可见熔合的黑色塑胶痕迹。

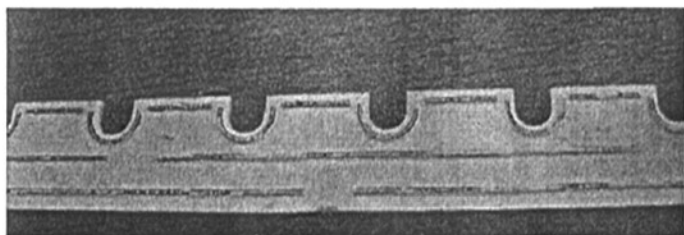


图 5-1 从焊接完成品上撕开的白反射片

针对焊接完成品进行可靠度测试，主要是环境测试：测试在各种温湿度环境下的品质。进行的测试有：3 片焊接完成的灯管压条，进行高温高湿 70℃/70%RH/300 小时，测试通过；3 片超音波焊接的灯管压条组成

液晶背光源后，进行高温高湿 50℃/80%RH/300 小时，测试通过；3 片组成背光源后跌落测试，条件 70G/20ms(一般产品测试条件较松 50G/20ms)，测试通过。判定标准是焊接处是否有剥离及变形，实验结果，超声波焊接的灯管压条，能够通过各种产品要求的环境和机构测试，甚至某些强度比之前工艺的产品更好。

5.1.5 生产评估

实际生产因为合格率提升及生产周期的降低，使产能提升了 55%^[39]以上，且减少模具投入，单体灯管压条的制作成本也降低了。

5.2 焊接产品问题点改善

在焊接的过程中也发现了一些焊接问题点，需要找到不良发生的原因，并针对原因进行逐一改善解决。

超声波焊接的合格率相比以前其他的制作工艺，合格率有很大改善，其主要的不良主要有以下：

5.2.1 脏污

脏污，白色反射片如果表面没有做好防护，或者防护膜损坏，当焊头下压的时候，就会有油污等造成脏污，或者焊头表面的异物压伤白色反射片表面，影响到白反射片反射光线的效果，反应到产品上，发光面就会有色差。

所以在焊接前做好清洗，焊接时进行表面的 PE 膜遮盖防护，是很重要的，焊接后要进行检验，防止不良漏到组装站，引起不良的维修成本。

5.2.2 溢胶

溢胶，如图 5-2，其主要原因有三个：一是超音波时间过久，熔融穿透，造成溢胶，解决方式是调整焊接时间参数；二是熔接槽和肋设计值不合理，干涉量过多，体积不相当，肋体积远大于槽体积，所以设计焊接肋和焊接槽的尺寸要恰当；三是焊接前对位不好，没有将槽和肋确



图 5-2 溢胶

实对位，造成肋没有熔融在槽内，引起溢胶，解决方式是焊接前的对位要确实，加强对位的确认动作和制具精度。

5.2.3 结合不良

结合不良造成翘起，当焊接肋没有熔入焊接槽内时，会引起表面不平整，结合力不够，如图 5-3，撕开结合面可见，相互熔合渗透不够。

其主要原因是因为压合的模具平整度不好，或长度不够，造成没有接触到，从而超音波的能量没有办法传达到，无法熔融，表面看起来，该区域会有轻微翘起。解决方式是将平整度不好的制具修正或垫高，长度不够的制具，进行制具微调或重新制作，确保覆盖到相应焊接区域。

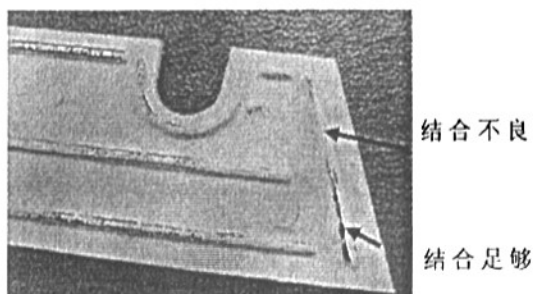


图 5-3 结合不良

5.3 放量生产及收益

实际试生产过程顺利，超音波焊接顺利导入，据统计：产能提升为原来的 203%，合格率提升(损耗降低)5%左右，一片 TV 内部有两个灯管压条，节省成本约 ¥2.5。预估 2008 年每月生产 190 万片，即可每月节省： $190W * ¥2.5 = ¥475$ 万元^[39]。

因为有这么大的收益，超音波焊接技术将普遍应用于后续液晶显示屏背光源产品。

5.4 本章小结

本章主要介绍了实际进行生产的过程，首先进行超音波焊接作业，从开机到焊接，再进行检查，并进行可靠度测试。然后进行了焊接产品问题点说明及对应改善方法。最后进行放量生产后的收益评估，确认该工艺导入的可行性。

第六章 总结与展望

6.1 总结

通过理论分析到实际应用的过程，总结本论文内容如下：

(a)首先介绍了液晶显示器及其背光源的结构，特别针对内部塑胶件灯管压条的加工，分析了现行加工工艺的缺点与不足，尝试进行新工艺的研究，即超音波塑胶焊接工艺，评估了该工艺的优势及导入可行性。

(b)分析了塑胶超音波焊接能量转化的原理，利用热传导的基本理论和粘弹性动力学的方法推导接头处在超音波作用下的应力响应公式，以及单位时间内单位体积的平均耗散能量公式。

(c)通过研究超音波焊接，借用第二章推出的焊接能量公式，分析焊接界面设计原则和注意事项，进行灯管压条的结构设计变更，按照超音波焊接原则进行设计导能肋和焊接槽的尺寸。

(d)使用超音波机台，提前进行相关制具准备和人员教育训练，制定出正确的工艺流程来进行实验。对于超音波焊接产生的问题，找出方法进行改善解决。同时通过对三大主要的焊接参数研究，得出三大焊接参数的合理取值区间。

(e)投入实际的生产，使用正确的方法生产出合格的焊接质量，通过认证后投入量产，取得合格率及成本降低等成效，达到工艺改善的目的。

6.2 本论文的后续工作

本论文虽然在灯管压条的制作工艺改善上进行了一次有成效的改善，提供了可以供参考的工艺变更方法。但还有一些不足的地方，需要继续展开研究：

(a)超音波塑胶焊接方式能够提升产能，但还是需要先分别射出待焊品，才能进行二次加工工艺。考虑到反射片的外形比较规则，是否可以采用射出以外的其他更快更好的方法来生产，以节省射出机台等成本。

(b)超音波设备工作时，产生对人耳敏感的高频嘈声，对长期操作的人会产生伤害，因此超声设备除了单独存放，人员加防护用具以外，要进一步评估机台添加吸音防护罩等设备。

(c)进一步分析其它方法改进灯管压条的工艺，比如本论文绪论部分提到的改善方向二：涂布白色高反射层。但是要考虑到涂层原料是否满足欧盟的 ROHS 绿色要求，涂层设计是否有触及到其他公司专利；另外的考虑点在于塑料和化学涂料结合的非均质零件，是否符合国际 WEEE 的绿色可回收趋势。

参考文献

- [1] Jeff,超音波热熔技术评估 for TV lamp block, 友达光电(厦门)有限公司内部资料, 2008:3~5
- [2] 许建南, 塑料材料, 北京: 中国轻工业出版社, 2001年1月
- [3] 邢玉清, 热塑性塑料及其复合材料, 哈尔滨工业大学出版社, 1990:1-2
- [4] Yarlagadda Prasad KDV, Tan CC, An Investigation into Welding of Engineering Thermoplastics Using Focused Microwave Energy. J Mater Processing Technical 1998, 74(3):99~212
- [5] Potente H, Natrop J, Pedersen TK, Uebbing M, Comparison on Three Methods for Welding Glassfiber Reinforced PES, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers ANTEC, May 1-5; San Francisco. 1994:1274~1279
- [6] Jones IA, Tailor NS. High Speed Welding of Plastics Using Lasers. Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers ANTEC, 94, May 1-5; San Francisco. 1994:1360~1363
- [7] Wagner JK. Introduction to the Solar System. London: Saunders, 1991:112~131
- [8] Solar '95 Renewable Energy: The Future is Now. Conference Proceedings on 33rd Annual Meeting of ANZSES, December, 1995:3
- [9] L.A. Stoykov, Prasad K.D.V. Yarlagadda, Wang Chin Yen. A Feasibility Study into Joining of Engineering Thermoplastics Utilizing Concentrated Beam Solar Radiation, Renewable Energy 21, 2000:333~361
- [10] 丘明恒, 塑料焊接加工, 电子工艺技术, 1995, (6):39~44
- [11] 黄锐主编, 塑料成型工艺学, 中国轻工业出版社, 1997
- [12] 弗兰茨·阿贝尔(F·Abel) [德], 孟宪知(译), 塑料超声波焊接, 焊接, 1999(6): 30~33
- [13] 孙强义, 辛乐, 超声塑焊技术的发展, 升学技术, 1994, (4):149~150
- [14] 田修波、杨士勤, 塑料超声波焊接的安全与防护, 化工劳动保护, 1997(1):5~7
- [15] Taylor NS, Watson MN, Welding Techniques for Plastics and Composites. Joining Mater, 1988:70~76
- [16] Gordon, J.; Marquis, B.P.; Jeong, D.Y.; Perlman, A.B. Investigation of

- Residual Stresses in Tank Car Shells in the Vicinity of Weld Ends.
Railroad Conference,1997,Proceedings of the 1997 IEEE/ASME
Joint,1997:157~164
- [17]德国汉堡 AF 机器制造有限公司, F.Abel,高频塑料焊接技术, 焊接,
1999, (7): 30~31
- [18]Tsujino,J, Recent Developments of Ultrasonic Welding,Ultrasonics
Symposium,1995,Proceedings,1995 IEEE,vol.2, 1995:1051~1060
- [19]赵梓年, 超声焊及法兰式高强度接口设计, 塑料, 1999 (2): 19~23
- [20]阎向宏,张福成,扭转振动夹心式压电换能器的研究,声学技术,1994,
13 (4): 165~166
- [21]阎向宏,张福成,扭转振动夹心式压电换能器的研究,声学技术,1994,
13 (4): 166~167
- [22]Tsujino,J.;Ueoka,T.;Sano, T.;Tanaka, S.Ultrasonic Complex Vibration
Welding System Using 100 kHz One-Dimensional
Longitudinal-Torsional Vibration Converter, Ultrasonics Symposium,
2000 IEEE, vol1.Oct 2000:695~698
- [23]Jiromaru Tsujino*,Hiroyuki Yoshihara, Tsutomu Sano,Shigeru Ihara.
High-Frequency Ultrasonic Wire Bonding Systems. Ultrasonics
38,2000:77~80
- [24]谭军安, 林书玉, 夹心式纵-弯复合振动模式超声换能器的研制, 陕
西师范大学学报 (自然科学版), 1998, (9): 37~40
- [25]韩书帮, 林书玉, 弯曲振动变幅杆的设计, 声学技术, 1996, 15 (4):
156~159
- [26]Masuzawa, Nobuyoshi, (Musashi Inst. of Technology) Hori, Kiichi |
Ide, Masao."Ultrasonic Welding of Plastic Pipes Using Torsional
Vibration",Japanese Journal of Applied Physics,Part 1: Regular
Papers& Short Notes & Review Papers v37 n 5B May 1998 JJAP p
3007~3008
- [27]Jiromaru Tsujino, Takako Uchida, Welding Characteristics of Ultrasonic
Plastic Welding Using Two-Vibartaion-System of 90kHz and 27kHz
and Complex Vibration System.Ultrasonics 36(1998):67~74
- [28]Sujino,Jiromaru(Kanagawa Univ.),Tamura,Toshiki |Uchida,Takako|
Ueoka ,Tetsugi."Improvement of Welding Characteristics of Ultrasonic
Plastic Welding Using High and Low Frequency Vibration Systems of

- 90 kHz and 27 OR 20 kHz"Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium v 2 Nov 3-6 1996 Sponsored by:IEEE
p1027~1032,1051~1071
- [29]Jeff, 超声波熔接技术效益分析, 友达光电(厦门)有限公司内部资料, 2008.
- [30]陈传良, 超声波熔接技术, 电加工, 1989, (6)
- [31]杨士勤, 董庆刚, 田修波等, 超声波焊接聚乙烯接头温度场的计算及检测. 焊接学报, 1995, (9):172~178
- [32]一源超声波机械股份有限公司, 超声波塑熔接机使用说明书, 2007
- [33]Kevin, 超声波熔接作业指导书, 达运光电(厦门)有限公司内部资料, 2008.
- [34]Kevin, 侧边条外观检验规范, 达运光电(厦门)有限公司内部资料, 2008.
- [35]鞠建斌, 超声波塑料焊接热计算及工艺研究, 哈尔滨工业大学硕士论文, 1998:13~24
- [36]侯旭光, 超声波塑料浩劫工艺参数的研究, 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2001:28~29
- [37]侯旭光, 超声波塑料浩劫工艺参数的研究, 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2001:29~30
- [38]侯旭光, 超声波塑料浩劫工艺参数的研究, 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2001:30~31
- [39]Jeff, 超声波热熔技术评估 for TV lamp block, 友达光电(厦门)有限公司内部资料, 2008:13~23

致谢

在攻读硕士学位期间，作者进行了工作地点和工作性质的变动，除了要处理工作上的事务转变以外，还经历了为人妻，为人母的过程，各项责任纷至沓来，倍感压力，庆幸的是，在整个过程中，导师钱志良给我莫大的鼓舞和激励，两年多来，钱老师严谨的治学精神，渊博的知识，敏锐的思维，对工作的热情和对本人论文的建议，使我一步步建立自信，不论是对待学业，还是工作，甚至是生活都抱以乐观向上的态度，在此论文完成之际，谨向我敬爱的钱老师表示最诚挚的感谢。

苏州大学是我大学本科的母校，现在又给我机会深造研究生，非常感谢苏州大学，同时要感谢的是苏州大学的老师和同学，特别是班主任姜老师和张老师，时刻关心作者的学业进度，给予理解和支持，在空间和时间不够便利时，尽最大的努力来帮助我克服这一困难。

完成此论文，也要感谢我的公司，友达光电(厦门)有限公司，是公司及单位领导给予我支持，还有单位同事陈唐博、江芝仲、严星煌等人给予的许多支持与协助。

在整个实验过程中，厂商达运和—源超音波机台厂商提供硬件设施、技术配合等大力支持，在这里表示衷心感谢。

最后，向所有帮助支持过我的老师、亲人和同事朋友们致以深深谢意！