

# 超声波透视焊接真相 标准化检测提升低压电器可靠性

——访上海和伍精密仪器股份有限公司 陈乐生 博士

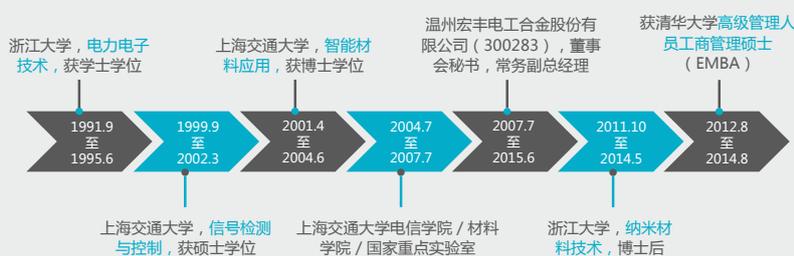
全国优秀科技工作者

上海交通大学精密仪器及机械专业博士

浙江大学纳米材料技术博士后

承担并完成国家重大科技成果转化项目 1 项、863 计划 1 项、火炬计划 2 项

获国家发明专利授权 36 项



## 一、低压电器焊接质量检测现状

2015 年 5 月 19 日, 备受期待的《中国制造 2025》出台, 描绘了中国制造未来 10 年由大变强的清晰路线图。制造业转型升级和健康发展, 产品的可靠性是核心主题之一。对于低压电器而言, 焊接可靠性是低压电器的重要内容, 触点脱落、复层触点热应力损伤剥离、焊接层电阻导致的温升过高等因素会直接导致低压电器产品的失效。

目前, 低压电器焊接质量分析大部分采用破坏性检测的方法, 例如拉伸试验、金相分析等。拉伸试验获得应变 / 应力曲线, 分析拉伸数据以及断面形态得到焊接层的质量信息。金相试验通过分析焊接后电触点几个切面的金相图像, 获得缺陷统计数据, 然后判断电触点的焊接质量。

然而, 现有的破坏性检测方法存在效率、成本、有效性、通用性等方面的局限。例如, 拉伸试验的前提是焊接组件中的电触点和铜件的强度要远大于焊接层的强度。因此, 拉伸试验对于多层复合电触点、薄型电触点、大型电触点、易碎粉末电触点并不能得到可靠的检测数据; 金相分析方法只是选择有限的几个断面, 对于具有空间特异性分布的电触点焊接, 金相分析可能会得到误导性的结论。如图 1 所示, 不同的切面位置将会得出截然不同的判断。不难理解, 利用超声波获得焊接界面的二维图像是一个非破坏性的高效检测方法。

超声波检测方法具有坚实的理论基础, 而且在生产实践中已得到充分验证。但是, 电触点焊接质量的定量评估对于仪

器的稳定性有很高的要求。例如, 某型超声波无损检测仪器对一个焊接后的电触点连续检测 50 次, 测量重复性的波动量达到 15% 以上, 如图 2 所示。如果以 85% 作为质量合格的判断标准, 不难设想, 这将给企业带来很大的质量判定风险, 导致供应商和客户之间的信息混乱!

## 二、和伍精仪超声无损检测平台的基本原理和性能

上海和伍精密仪器股份有限公司 (简称“和伍精仪”) 与上海交通大学精密仪器系经过近 5 年的技术合作, 突破检测原理、传感器、信号检测和数字化、机械、电气、计算机硬件、计算机软件、算法等技术关键, 成功研发出超声波无损检测平台。截至 2015 年 7 月 31 日, 已获得实用新型专利授权 28 项, 另有 30 项发明专利

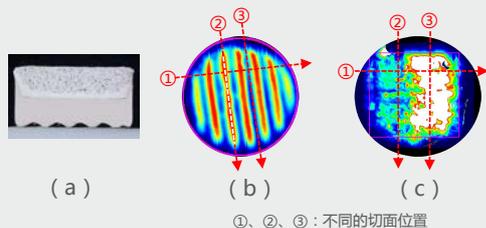


图 1 · 焊后触点横截面金相图像和不同切面的位置示意

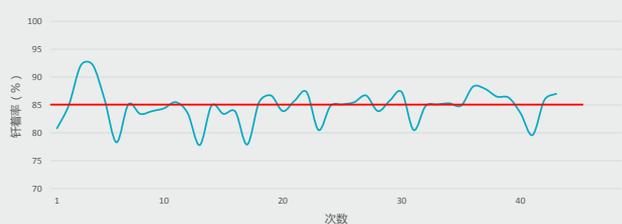


图 2 · 某型仪器对一个焊接件连续 50 次的检测结果

处于实质审查中。和伍精仪焊接质量超声无损检测平台的基本原理如图 3 所示。

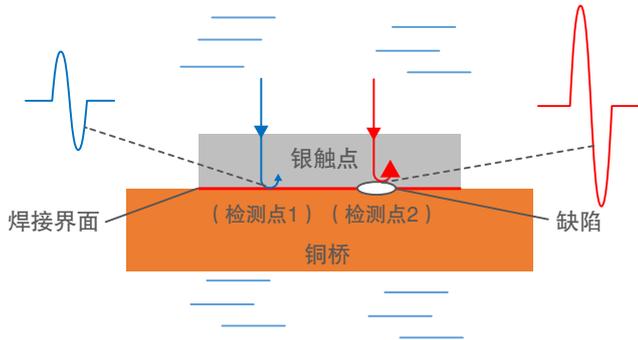


图 3 · 焊接质量超声无损检测平台的基本原理

由图 3 可知，超声波探头产生超声脉冲信号，通过耦合介质（水）到达被测工件。由于声阻不同，在各种物质的交界处产生反射回波和透射波。超声波探头接收反射回波，并转换成电信号。在良好焊接区域，焊接界面均匀致密，反射强度很弱，电信号幅值很小。在存在缺陷的焊接区域，例如分层、气泡等，反射强度很强，电信号幅值很大，通过计算机处理，显示波形或图像。

在众多专利技术的支撑下，和伍精仪超声无损检测平台获得了优异的性能，100 次重复测量精度 (RSD) 如图 4 所示。基本配置条件下，银基触点的厚度检测范围为 0.3mm 至 5mm，100 次重复测量精度 (RSD) 小于 0.5%。可以看出，若以 85% 为焊接质量的判断标准，就不难得出可靠的结论。

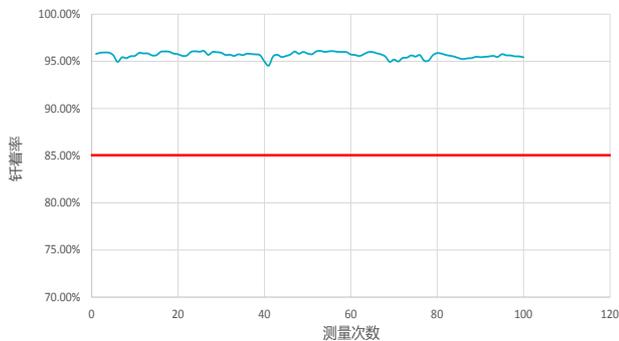


图 4 · 焊接质量超声无损检测平台 100 次重复测量精度 (RSD)

### 三、和伍精仪超声无损检测平台：看清焊接真相

近一年来，和伍精仪的超声无损检测平台已为国内外众多客户做了大量的检测实验。按照某著名客户的评价，就是“看清了焊接的真相”。

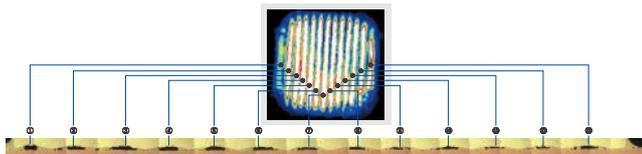


图 5

图 5 为和伍精仪超声无损检测平台对某单层触点的超声检测结果，超声图像显示了 13 条沟槽。金相检测表明，缺陷位置与超声图像一一对应。

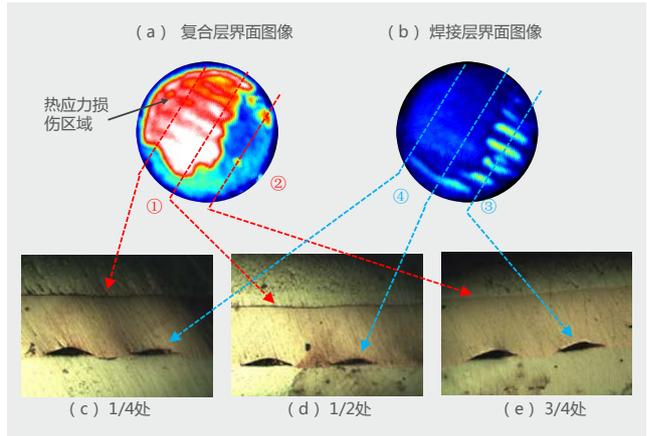


图 6

图 6 为和伍精仪超声无损检测平台对某复合型触点的复合层界面和焊接界面分别成像，发现了焊接过程引起的复合界面损伤（这可能会导致触点工作过程中的脱落！）。图 6 (c、d、e) 的金相图像验证了超声图像的正确性。

### 四、为低压电器行业量身定制的功能设计

超声检测具有很强的专业性，和伍精仪为低压电器行业提供个性化定制服务，最大限度降低人为影响因素。主要做法：1、三级授权管理模式：(a) 操作工模式提供简单的标准化检测操作；(b) 工艺工程师模式提供专业的检测方案配置及全面图像分析功能；(c) 维护工程师模式提供设备维护和监控功能。2、全自动检测程序，简单的四步操作即可完成全部工作。3、采用包括 3D 打印技术在内的快速定制技术和手段，提高检测精度。

### 五、面向可靠性和标准化的功能设计

和伍精仪依据客户需求，建立标准传递及溯源机制（图 7）。线下建立工件标样体系，线上融合“物联网、云服务、大数据”等技术（图 8）。对大批量生产进行过程质量监控和分析，如图 9 所示，用户可以及时发现焊接质量的状态和变化信息，及时采取有效的应对措施。另一方面，通过构建物联网系统，实现数据共享，用户可以看到全球各地相关单位的检测情况，质量管控能力大幅提高。进一步的，采用图像处理、模式识别、专家系统、大数据分析等先进技术，挖掘有价值的信息，为客户提供更多的焊接工艺优化服务。如图 10 所示，某客户在超声图像支持下，通过调整焊接工艺、焊接质量不断提高，最终获得最优的焊接工艺参数。



图 7 · 标准传递机制——建立供应链和内部质量统一标准

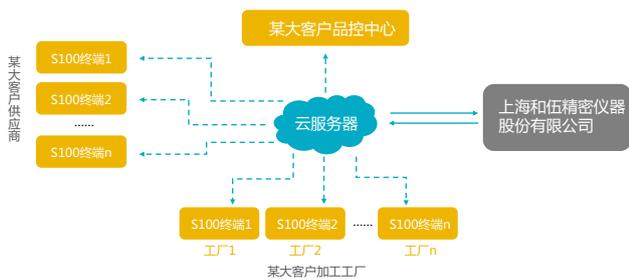


图 8 · 以云服务实现客户供应链和内部质量标准统一

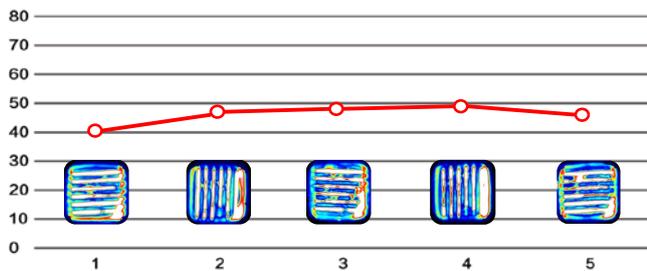


图 9 · 某客户大批量生产的过程监控和质量分析

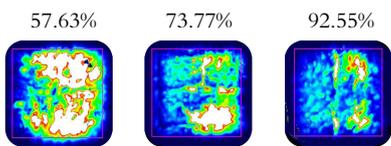


图 10 · 某客户产品在超声图像支持下的焊接质量优化过程

根据客户需求的不同，和伍精仪提供检测设备、测试方案定制、来样检测服务、协同开发及标准定制等多层次的技术服务。

## 六、焊接可靠性的系统服务

和伍精仪在为客户提供焊接质量超声无损检测服务的同时，还为客户提供焊膏定制化研发、焊接工艺设计及实验、焊接设备和工艺的计算机仿真等服务，从而为低压电器行业提供焊接质量及可靠性工程的系统解决方案。

### 1. 焊膏的定制化研发



图 11 · 焊接钎剂研发实验室

焊膏是电触点与触桥焊接的关键材料。和伍精仪可根据客户自动化焊接的工艺要求量身定制研发焊膏，提高生产效率和产品可靠性。

### 2. 焊接工艺实验



图 12 · 焊接实验室

和伍精仪建立了焊接实验室，引进了全系列的先进焊接设备，通过焊接工艺设计和实验，为客户提供最优的焊接工艺。

### 3. 焊接的计算机仿真

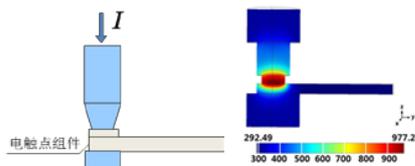


图 13 · 电流、时间、电极等因素对电阻钎焊温度分布的影响

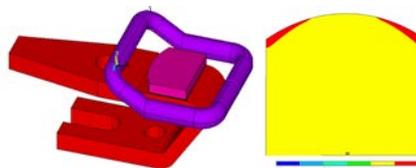


图 14 · 线圈参数、空间位置、频率、电流对感应钎焊温度分布的影响

和伍精仪的电阻钎焊（图 13）及感应钎焊（图 14）仿真技术，可有效缩短新产品的研发周期，降低实验费用和研发成本。

## 七、和伍智造营简介

和伍智造营（上海）科技发展有限公司（以下简称“和伍智造营”）地处上海“零号湾全球创新创业集聚区”核心地带，紧邻上海交通大学及紫竹国家科学园区，是一家以“新材料、先进装备、信息技术”等为重点领域的产业化投资机构。拥有“和伍智库、研发中心、生产基地、创投基金”等四大功能模块，形成了“需求导入—研发及中试—产业化—股权投资—IPO 及并购”的完整价值链。上海和伍精密仪器股份有限公司是“和伍智造营”培育的成功项目之一。