

挚感光子：超声焊接质量纳米级精准监控方案

焊接是一种连接金属或热塑性塑料的制造或雕塑过程。随着现代工业技术的演进，焊接技术的发展日新月异，目前超声波焊接因其具备工作效率高、操作简便、可面对多种焊接需求及适应流水线作业等诸多优点，备受瞩目，被广泛应用于各种金属焊接或塑料焊接中。

超声波金属焊接原理是利用超声频率的机械振动能量，连接同种金属或异种金属的一种特殊方法。金属在进行超声波焊接时，既不向工件输送电流，也不向工件施以高温热源，只是在静压力之下，将线框振动能量转变为工件间的摩擦功、形变能及有限的温升。接头间的冶金结合是母材不发生熔化的情况下实现的一种固态焊接，因此它有效地克服了电阻焊接时所产生的飞溅和氧化等现象，且可通过计算机程序控制来定位实施焊接。目前超声金属焊接在汽车领域应用越来越广泛：汽车部件的接合必须满足最高的焊接质量：密封性、牢固度、尺寸精度、外观无瑕疵。超声波焊接为这些复杂的工艺要求提供了快速经济的解决方案。在超声波技术的帮助下，可以轻松实现工艺优化和产品验证工作。

目前锂电池金属焊接领域也广泛采取了超声焊接，相比较电阻点焊（RSW）和激光束焊接（LBW），超声波金属焊接（UMW）是锂离子电池应用中更为理想的连接工艺。RSW 依靠材料的阻力来产生热量以进行连接。然而，通常用于电池工业的铝箔和铜箔具有极低的电阻，且铝箔表面形成的坚韧氧化物层，抑制 RSW 的应用。LBW 对焊接两端的材料层间隙非常敏感。一般经验认为，间隙应小于材料厚度的 10%，即 $12\mu\text{m}$ 的箔片将需要 $1.2\mu\text{m}$ 或更小的间隙，这些要求难以实现。对于超声波金属焊接工艺，则没有以上这些问题。此外传统焊接结构件在装配过程中无法对连接片及保护片进行定位造成产品报废、无法有效除尘造成电池短路报废率较高，严重影响了产品的一致性。在锂电池技术中，涉及到金属焊接的部分主要有三个位置：铜/铝箔到极片，极片到极片，极片到极耳。其中，铜/铝箔焊接到极片上，难度比较大。因为金属焊接的两端采用不同厚度和材料的金属，一端相对较厚（例如 0.2mm ），另一端由多层极薄的金属片构成。极箔到极片的焊接，是将电池内部所有阴阳极箔连接到对应的极片上，从而将电池内部能量传递到外部。数以百计的锂电池单元构成典型的锂电池组。超声金属焊机能对铜、银、铝、镍等有色金属的细丝或薄片材料进行单点焊接、多点焊接和短条状焊接等定位焊接，高效，清洁，故越来越广泛的应用于锂电池极片、极耳、电器引线等的焊接中，是目前主要的方法。

但是在锂电池金属焊接应用中，超声波焊接也有不可忽视的缺点。**对于超声波焊接，好坏取决于换能器焊头的振幅，所加压力及焊接时间等三个因素，焊接时间和焊头压力是可以调节的，振幅由换能器和变幅杆决定。**这三个量相互作用有个适宜值，能量超过适宜值时，焊接物易变形；若能量小，则不易焊牢。

金属焊接是目前超声焊接挑战最大的领域，现有超声波焊接工艺设计中，焊头下压后与底模必须完全对齐，否则会出现工件受压不均，导致焊点虚焊，焊接强度达不到要求；当焊接工件的厚度及硬度提高时，焊接所需功率呈指数增大，当所需功率过大时，声学系统的设计制造和工艺效果都会产生一系列较难解决的问题，而目前重点应用锂电池焊接中处理的往往是多层结构，为了提高封装密度，目前极箔已经多达 100 层，这时功率的监控和有效输出就比较重要了。在焊接过程中，每个焊接物体工况都有些不同，甚至焊接过程中的应力变化，都会造成功率超声输出频率的细微变化，从而导致有效输出功率的变动，**目前通常的做法是在超声波驱动端通过 PID 锁定，但即使有效锁定，输出的能量也不等效到被测物体转化的焊接能量，特别在电池焊接领域里，各电池单元之间采用串联或者并联方式组合，如果一个极箔与极片连接出现故障，那么将导致整个电池组的输出故障。**

因此，极箔与极片之间稳健牢固的连接，至关重要。锂电池目前被广泛应用于各个领域，比如手机，新能源汽车领域，一旦存在上述隐患，将对整个系统造成不可估量的安全隐患，**因此超声波焊接领域急需一种有效的独立的质量监控手段。**但是当前超声波焊接的质量检测比较困难，一般的检测方法难以在生产过程中进行实时监控，无损检测的方法尚未达到普及状态。

基于此，挚感（苏州）光子科技有限公司（下文简称挚感光子）研发了全新的、基于激光多普勒测振仪的在线非接触测试方案，用于在生产过程中实时监控超声波焊接状态。相当于传统基于分立器件的多普勒测振仪，挚感光子推出的基于集成光学芯片技术的数字化小型智能激光振动传感器体积和功耗大大缩小，整个产品只有火柴盒大小，内含激光多普勒测试仪、信号处理单元、电池、通讯模块，是划时代的智能传感器。产品具有非接触测量、纳米级测量精确度、出色的动态响应能力、抗干扰、产品体积小等优点，并可方便的集成到各类系统中。

针对锂电池极箔焊接质量实时监控这个行业终极难题，挚感光子提出了以下方案：图 1 为挚感监控方案框图描述和实物平台。超声金属焊接机一般包括超声驱动，换能器，焊机机架、底模及焊头等部件。

焊接时两个需焊接的金属片夹持在焊头和底模之间，工件定位后，焊头下降压紧工件，当焊接机达到设定的压紧力（又称为触发力）后，焊头将发出超声波，高频振动波沿着焊头传递到上金属片表面后，焊头带动上金属片高频振动，底模固定

住下金属片，从而使两个金属片的接触面之间产生高频摩擦而产生热量，使得该接触面被熔化。待工件冷却后，这两个金属工件被连接为一体，对于锂电池极箔焊接，整个过程持续大约数十毫秒。前文提到超声驱动 PID 控制只能衡量超声输出功率，无法获得被焊物实际能量吸收过程，故挚感光子提出在底模靠近 DUT 处设置多普勒激光测量点，挚感光子小型化的智能激光传感器可以设计集成于焊机机架上或者独立的产线工台节点上。通过测量实时底模振幅频率特征，就可获得 DUT 实际能量吸收过程。挚感光子的激光传感器是集成的智能化传感器，在焊接完成的同时可以把测量结果通过工业以太网接口或者 modbus 等串口通知焊机控制台或者产线 PLC，完成在线实时，且独立的质量监控。

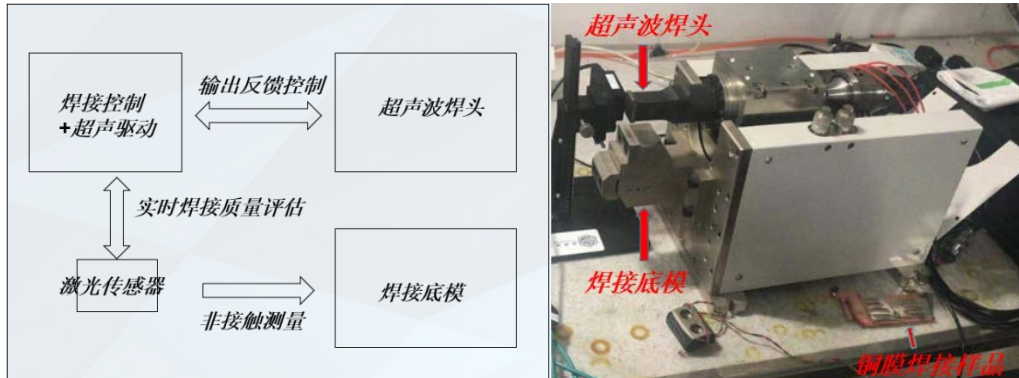


图 1：方案框图（左）&实测装置（右）

挚感光子与杭州成功超声设备有限公司就此方案展开了深度合作，计划一起协作将该技术推广到商用焊接设备上。目前在真实的环境下进行了方案测试和验证工作。

下图为挚感光子测试方案测量结果图例。图 2、图 3、图 4 依次为实时监控中测量得到的欠焊、过焊、合格焊接三种示例。传感器内部对测量信号进行更具体的时间频率分析，通过设定的特征来判断焊接质量的好坏。在合作产商的协助下，挚感光子获得了 105 组标签后的数据。挚感光子对 105 组焊接数据进行了分析。

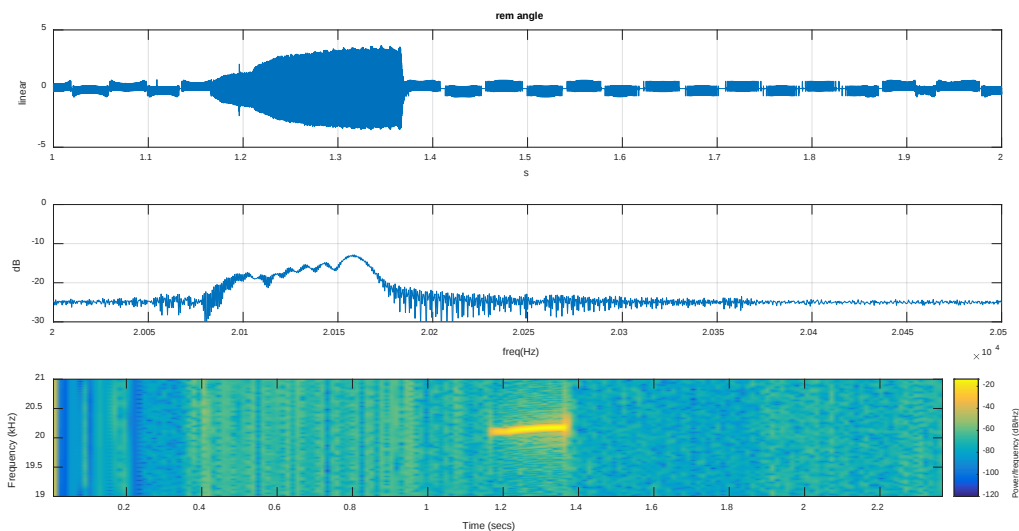


图 2：实时监控举例-欠焊

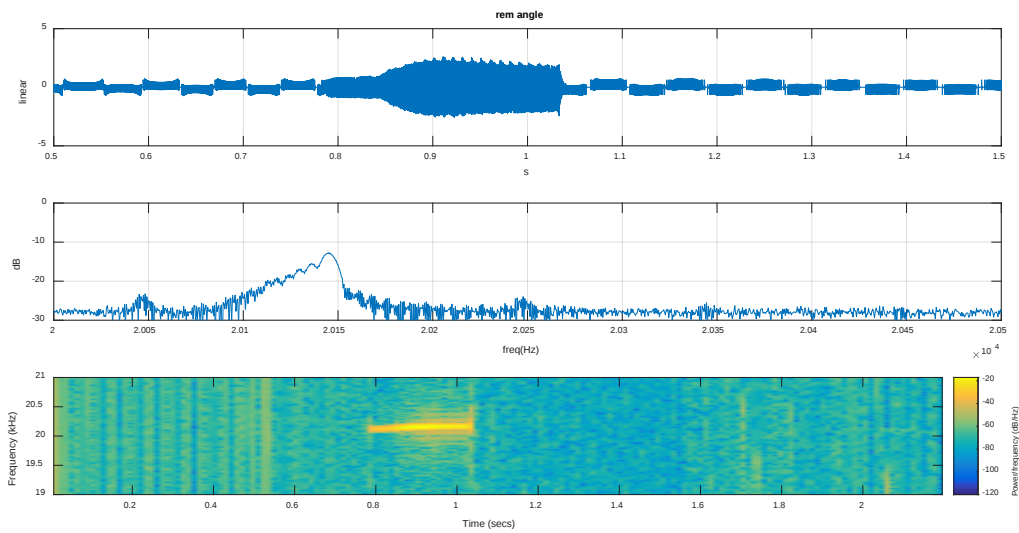


图 3：实时监控举例-过焊

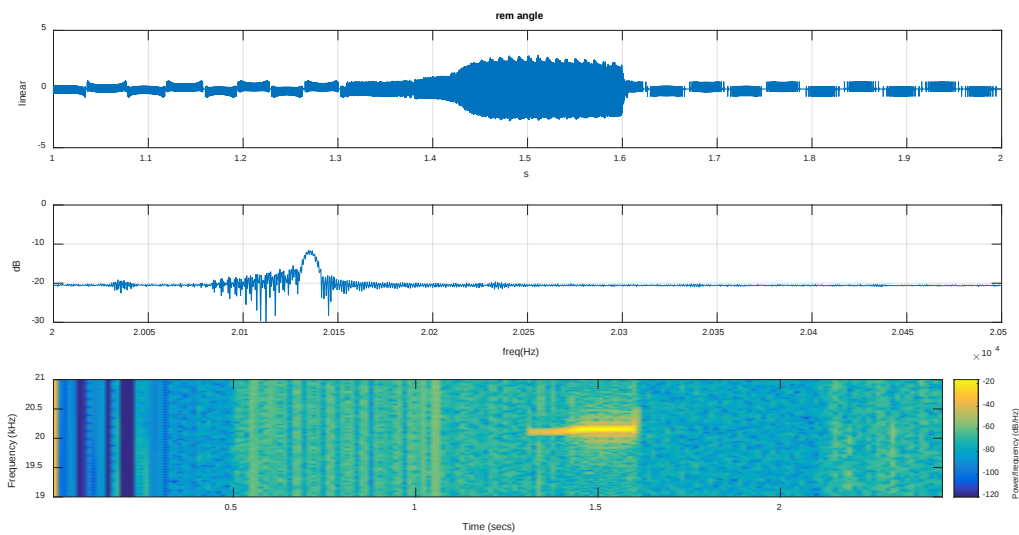


图 4：实时监控举例-合格焊接

去除无效数据点后，下图 5 显示了机器学习模型分类的结果，可以看到挚感的模型可以有效区别焊接不足，焊接过量，焊接正常的样品，其中，焊接不足（虚焊）与其他样品区别明显，证明本方案可有效监控多层金属焊接质量，摒除安全隐患。本方案也可区分严重过焊样品，比如焊接穿孔，一些过焊与正常样品比较近似是由于人为判别两者边界模糊，存在人为标签不准的因素。这也反过来证明量化后的传感器质量监控是一个更严格的质检过程。

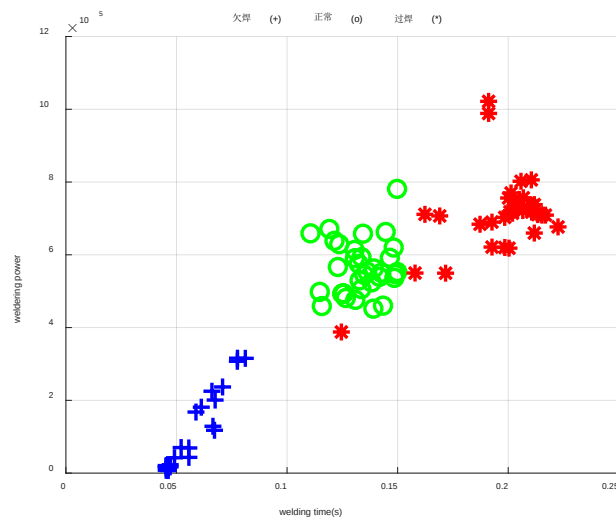


图 5：105 组数据特征分类

总结：在本方案书里，挚感科技原创性地提出了超声波焊接在线监控方案，本方案通过集成非接触小型化激光多普勒传感器，通过机器学习，将判别准则集成在智能化的传感器中，能够解决业界锂电池级箔极片焊接质量监控的难题，为方兴未艾的新能源汽车等领域做出自己的贡献。

挚感方案的优势与要点：

- 集成智能传感器，可通过 modbus/工业以太网等和 PLC 实时通讯；
- 集成智能传感器，可集成在焊机内部或产线的任何位置；
- 非接触激光多普勒测量，精确获得实时超声振动频率和振动幅度；
- 直接测量焊接物获得的等效超声焊接能量；
- 可以实时监控超声测量头位置和焊接底模位置；
- 实时分析时频域特征，通过机器学习算法获得模型，利用 PCR 检测有效智能传感器实施途径；
- 通过大数据积累，机器学习算法可不断迭代，达到高准确度的监控结果。

下图 6 为挚感光子自主研发的光电集成芯片。图 7 在外观上对比了国际上激光多普勒振动仪的标杆企业 Polytec 近年推出的便携式可独立测量的 VibroGo 型激光多普勒振动仪，与挚感光子的 MV 型激光振动传感器的区别，两者体积差别达 40 多倍。其次，可以通过下表对比一下两者在性能指标上的差异，可以看出，挚感光子的 MV 系列激光振动传感器很多性能指标已经领先世界，超小体积的优势使得系统集成变得非常容易，且能应对各种复杂困难的测试环境。并且，成本的成倍减少，更是为所有客户带来了福音。

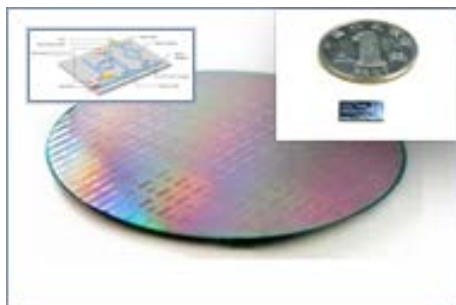


图 6：挚感光子自研光电集成芯片



图 7：尺寸对比，Polytec VibroGo 系列（左）& 挚感光子 MV 系列（右）

Category	Polytec VG0-200 型	挚感光子 MV-H 型
----------	-------------------	-------------

频率测量范围	DC~100KHz	DC~2.5MHz
测量距离	0.355~30m	0.06~40m
最大振动量	2 m/s	20m/s
速度信号分辨率	10nm/s-1/√Hz	5nm/s-1/√Hz
Time Trigger	NO	Trigger IN/OUT
Dimensions	344*124*87	80*50*22
Weight	3.1Kg	0.18Kg
Operating temperature range	5℃~40℃	0℃~50℃
Power supply & consumption	12V DC, 25W Max	12-24V DC, 3W Max
Level of protection	IP 64	IP 67
Laser Class	Class 2	Class 1
Laser Wavelength	633nm	1310nm
信号接口	Ethernet/WLAN (Optional)	Ethernet
软件	Vibsoft	GUI & Dll (For system integration)

图 8：性能指标对比表

挚感光子介绍

挚感光子是一家由海归芯片专家团队创建的高精密传感器公司，从芯片设计、模组封装到传感器模块的制程拥有完整的原创的自主知识产权，致力于以光电集成芯片技术为智能工业制造提供终极解决方案。在具体的产品实现上，挚感光子将光学相干检测光路、测距光路集成在单个芯片上（图6），并通过一体化封装，将光学芯片、激光器、探测器以及探测用的光学镜头集成到一个略等于半个火柴盒大小的模组里。这一设计不但可以近百倍的减小其体积，同时使得激光振动传感器的大规模量产成为可能，从而可以成倍的减少其成本，为激光振动传感器的广泛应用奠定了基础。

挚感研发的激光振动传感器还在快速的技术迭代中，欲了解详情，请登录我们的网页（www.osphotonics.com），或直接与我们的销售工程师联系（sales@osphotonics.com）。欢迎联系我们！