

文章编号: 0258-7025(2008)11-1693-05

激光自动焊接技术在二次电池制造中的应用

张国顺^{1,2} 王 萌^{1,2} 刘铁根¹ 李朝阳³ 许宝忠^{1,2}

(¹ 天津大学光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072; ² 天津市力能激光技术有限公司, 天津 300072;

³ 天津市天大天发科技有限公司, 天津 300072)

摘要 二次电池, 尤其是无毒、无污染的绿色二次电池, 在全球有很大的需求。在其制造过程中, 为了保障生产速度、质量以及产品的一致性, 必须配备自动化程度很高的流水作业生产线。其中电池的外壳密封、电池正极的焊接以及安全阀的制作等多道工序均需使用激光焊接技术, 因而在二次电池制造过程中的各种激光自动焊接技术也应运而生。总结了目前国内外多种电池激光自动焊接技术的原理、研究进展、工艺方法以及关键部件的软硬件设计, 并指出了一些目前存在待解决的问题, 讨论了今后需要改进和发展的方向。

关键词 激光技术; 激光焊接; 二次电池; 自动生产线

中图分类号 TN249; TG66

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL20083511.1693

Application of Auto Laser Welding in Rechargeable Battery Manufacture

Zhang Guoshun^{1,2} Wang Meng^{1,2} Liu Tiegeng¹ Li Chaoyang³ Xu Baozhong^{1,2}

¹ Key Laboratory of Opto-Electronics Information Technical Science, Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072 China;
² Tianjin High Power Laser Technology Co., LTD, Tianjin 300072, China;
³ Tianda Tianfa Technology Co., LTD, Tianjin 300072, China

Abstract Nowadays, there is a great demand for rechargeable battery in the world, especially for the innocuousness and nonpollution ones. In process of manufacture, the automatic production line is used to ensure the productive tempo, the first-rate quality and consistency. And in the automatic production, the battery case, the electric terminal and the relief valve etc are welded by laser. So the battery laser auto welding technologies emerge as the times require. We make a summary of welding theories, research findings, techniques and the software and hardware design for the critical component in this article. We explain some questions that should be solved in the end, and give the developing direction for the future.

Key words laser technique; laser welding; rechargeable battery; automatic production line

1 引 言

二次电池, 又称充电电池, 是指在电池放电后可通过充电的方式激活而继续使用的电池。充电电池的充放电循环可达几百次到上千次, 故其相对于电池更经济实用。二次电池主要有镍氢、镍镉、铅酸和锂离子等, 其中锂电池等无毒、无污染二次电池是 20 世纪 90 年代新发展起来的绿色能源^[1,2]。以其无污染、高电压、高循环和高能量密度等优异性能而

备受世人青睐, 被称为 21 世纪的主导电源, 其应用领域不断扩大, 也成为我国能源领域重点支持的高新技术产业。二次电池的品种繁多, 多用于各种便携电器, 如 Mp3, Mp4, 电子词典、笔记本电脑、相机、仪表、计算器、电动工具、军用便携式通讯器材、电动车甚至电动汽车等, 仅美国市场在 2008 年的二次电池需求量预计将超过 60 亿只, 到 2012 年将高达 90 亿只, 而我国市场今年的二次电池需求量也在

收稿日期: 2008-09-16; 收到修改稿日期: 2008-10-10

作者简介: 张国顺(1938—), 男, 河北人, 教授, 博士生导师, 目前研究方向为激光加工应用技术研究。

E-mail: zhanggsh@vip.sina.com

15 亿只左右。目前,全球日产万支以上二次电池的生产线有数百条,国内已有日产百万支的电池制造公司,日产 30~50 万支电池的公司也有多家,还有更多的电池生产线准备上马或扩线,电池制造业的发展具有广阔的市场需求和市场前景。

2 激光焊接在电池生产中的应用

由于二次电池结构的特殊性,很多制造工序都需要使用激光进行焊接。其中绝大部分属于热传导激光焊接,即焊件结合部位被激光照射后,金属表面吸收光能而使温度升高,热量按照固体材料的热传导理论向金属内部传播扩散^[1,3]。被焊工件结合部位的两部分金属因升温达到熔点而熔化成液体,很快凝固后,两部分金属凝接焊在一起。其中较为典型的工序有电池外壳的密封、电池正极的焊接以及电池安全阀压力膜片的焊接等^[4,5]。目前,为了提高生产速度,必须要求使用高技术、高生产率的激光自动焊接配合整条二次电池生产线进行制造。这无疑对原本简单的激光手动焊接提出了更高的要求,不仅要考虑焊接的单个环节,还要考虑自动化的生产需要,因此整个焊接设备也需要很多精密结构和自动装置相互配合,完成自动化加工^[6,7]。以下就是几个比较典型并具有专利技术的二次电池的自动激光焊接实例。

2.1 二次电池外壳的激光焊接

二次电池的外壳主要分为方形和圆形。方形主要为现在较流行的长方截面扁平形的手机电池,圆形电池则主要是用在笔记本电脑和各种电动工具中。方形电池外壳的激光焊接主要分为顶焊和侧焊两种。其顶部有一个长方形盖板,板上带有正极引出端,将盖板塞入外壳与上口平齐,然后用激光将盖板与外壳之间的长方形缝隙以重复脉冲方式焊好密封,这个焊接过程即称为顶焊。顶焊中激光束可以不动,将电池固定在十字工作台上,激光束对准焊缝后,开动工作台使电池沿工作台的 x, y 坐标依次走出与焊缝相同的长方形图形。重复脉冲激光以一定的重叠率,在焊缝上形成鱼鳞状激光熔斑,焊接过程吹有氮气保护,在激光参数合适时,方形电池可以一次密封成功。为了能高效率地完成方形电池的激光封口焊接工序,需设计专用工装夹具,其结构如图 1 所示。它比单个工位的焊接装置效率提高很多,对于激光焊接机,要做的工作只是连续不断地进行焊接,其上料、下料、装卡的工作都与激光焊接过程同时进行,减少了辅助时间。其生产率取决于激光焊

接一个电池所需要的时间,一般班产 5000 支左右。

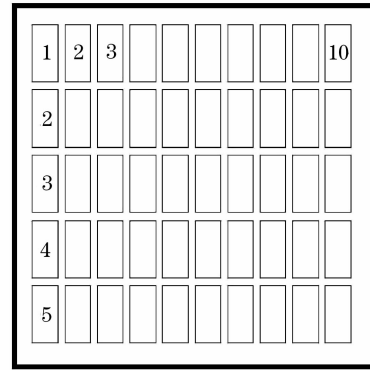


图 1 激光顶焊方形电池的方案示意图

Fig. 1 Schematic of laser weld square batteries from the top

初期方形电池的外壳多为顶焊密封结构,但由于制造工艺限制、顶盖放置没有定位台阶,而长度尺寸公差的要求也较为严格,难于制造。因而现在多用顶盖侧焊外壳结构,这种结构对上盖尺寸公差要求宽松,且容易压紧,有明显优点,但增加了激光焊接过程的难度。针对此项技术,国内、外多家公司已研究出激光焊接工艺方法,大多采用方形电池以自身中心为轴进行水平移动、旋转,而激光头则在竖直方向上移动,以保持焊接过程离焦量不变,这种方案结构复杂,成本较高^[8]。针对这种情况,我们提出了一种方案,并已获得专利,既将电池以其一个侧棱线为旋转中心,做旋转和水平移动动作,而激光头固定不动,从而简化了激光焊接机的结构,降低了成本,加快了焊接速度,使生产率更加提高,其结构如图 2 表示。

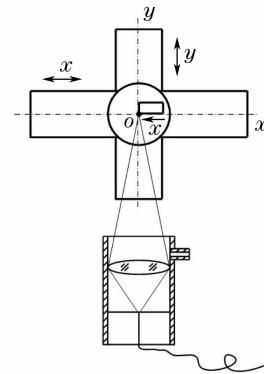


图 2 侧边旋转式方形电池焊接方案示意图

Fig. 2 Schematic of laser weld square batteries from the revolving side

旋转台置于 x, y 移动台下, x, y 移动台的行程要大于方形电池焊缝周长的一半以上。激光焊接前,把方形电池放置在旋转台上时,要保证方形电池的一个侧棱与转台的旋转中心 o 点准确重合对齐。

激光束聚焦最佳焊接点也在 o 点位置。事先把离焦量调整到合适位置,从任意一个棱边都可以开始焊接,一旦开始焊接,激光以一定的重复频率出光,被焊电池沿焊缝移动,到下一个棱角时,电池自动转 90° ,使垂直棱边对准激光束,电池继续向同一方向移动。依照这个方法,直到把四边焊缝焊完,激光器停止出光,电池停止移动,操作人员取下电池,再安装一个待焊新电池,重新重复焊接工序。这种方案明显的优点是,焊接过程激光束不需要移动,离焦量的调整也是靠 x, y 工作台的移动来完成。激光焊接过程中,靠工作台的移动和转动就完成了全部焊接过程,激光不必中断,棱角焊接效果也好。通过程序设计,使激光焊接到棱角位置时,激光重复频率自动降低,转到直线焊缝时,再恢复到预置重复频率,焊接效果会更好,焊缝美观,密封成功率高,生产率也高于前一种方案。

另外还有一个方法既可自动完成四个边缝的焊接,同时也克服了只有一个工位的缺点,做到连续不断的焊接。不过电池运动路线、移动轨迹稍显复杂。图 3 示出这种方法的原理示意图。这是一台将激光束分为四路用石英光纤传输的激光焊接设备,激光头 L_1 和 L_2 相对放置,同时出光,光束固定不动,电池沿轨道移动,完成焊缝的自动焊接,对称两边同时焊接。焊过一次的电池移动方向改变 90° ,但电池并不转动,将未焊过的两个侧边暴露给激光头 L_3 和 L_4 ,激光头 L_3 和 L_4 也是相对放置,激光束也是由同一台激光器输出,四束激光均进入石英光纤, L_3 和 L_4 与 L_1, L_2 也是同时出光,各有光闸控制,将还未焊过的两个焊缝同时焊好。至此,电池的四个焊缝经两次焊接即已完成。电池随即进入下料仓,这种方案除上料过程,即放入电池需人工操作之外,后续焊接过程全部自动完成,自动化程度高、生产率高,适合于大批量工业生产的需要^[1]。

2.2 二次电池正极的激光焊接

二次电池的正极也叫电池的极耳,大部分是铝制的,在二次电池的制作中需要将其与另外一铝制的安全阀焊接在一起,这个关键的工艺也必须通过激光焊接才可以实现。针对不同型号的二次电池,其铝制极耳的尺寸大小也各不相同,为了达到设计的拉力大小和导电性能,激光焊点的个数也不尽相同,一般在 $1\sim 5$ 个左右。

在自动生产线中,二次电池正极的激光焊接工序前后也需要很多的辅助工序,用以满足自动焊接的要求。首先通过自动上料机构将待焊的电池送上

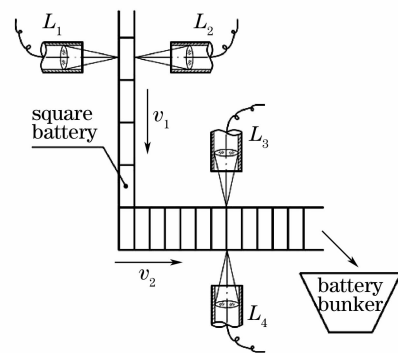


图 3 双路对焊方形电池的方案示意图
Fig. 3 Schematic of double paths laser weld square batteries from side to side

生产线,然后通过摩擦轮机械手将弯曲或倾斜的极耳调直,再通过转平装置将极耳旋转到激光出射的垂直面,再通过检测装置对未焊接的电池进行检测,如果存在极耳过短等其他不良情况,则自动剔除,接下来进入空位检测装置,用以检测待焊工位的电池筒和安全阀是否存在,如二者缺一或都不存在,则在焊接工位不进行激光焊接。当检测合格的工位移动到焊接位置时,通过自动压紧装置将极耳和安全阀紧密结合,然后出射一个激光脉冲,完成一个焊点,如果需要多个焊点,则移动一个微小的位移后再重复进行焊接,最后再通过自动下料装置进行下料后封口并计数,这样一个筒形的二次电池就制作完成了。

在生产过程中,极耳转平装置是一套设计精巧的机电机构,整套装置受电脑控制自动升降并自动完成转平工作。当电池进入该工位,转平机构自动下降使光路系统对准电池极耳,摩擦轮接触电池筒,推动电池和极耳快速转动。因转动的极耳遮光面积不同,光电接收器得到的是正弦光强信号,经放大检测后,在光强最大值时停转电池,极耳此时正处于水

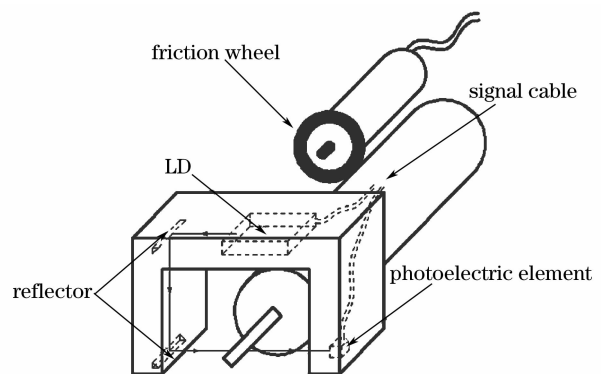


图 4 极耳的自动转平装置
Fig. 4 Tab horizontal auto rolling device

平状态,由于整个转平过程在 2 s 之内,动作甚快,实际生产中有可能停位稍有不平,所以电路中增设可调延迟环节,使电池在光电信号最大值之前发出停转信号,系统的惯性可使极耳恰好停在水平位置,其结构如图 4 所示。

为保证光电信号规则正确,本套装置需放置在极耳调直工序之后。为保证电池移动向下一工位,在完成一个电池转平过程之后,整套装置立即抬起,以便使下一个电池进入工位。转平过程与激光焊接过程同时进行,所以本道工序不占用系统运转时间,每分钟可处理 30 支电池,班产万支。

2.3 二次电池安全阀的激光自动焊接

二次电池的安全阀是电池封口板上的薄壁阀体,当电池内部压力超过规定值时,安全阀阀体破裂,避免电池爆裂。安全阀结构巧妙,很多是电池厂家的专利设计,但其基本原理多为用激光焊接牢固的、一定形状的两个铝质金属片,由激光熔斑形成的抗拉强度,需在设计值范围之内,即通过激光熔斑使电池内部形成通路;但当内部压力升高到一定值时,激光熔斑被撕开,起到保护作用,因而这道工序对激光焊接工艺要求极为严格。图 5 是安全阀结构示意图,铝质孔板焊接在压力膜片上,钢质正极板与其直接接触用塑料圈封装,孔板中间的冲压圆坑内,用激光焊接一个、两个或多个焊斑。

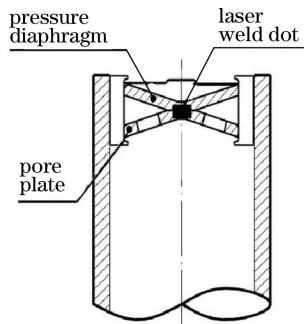


图 5 电池安全阀结构图

Fig. 5 Battery relief valve construction drawing

二次电池安全阀的激光焊接需要自动化程度很高的程序控制,其控制信号是通过计算机的 PCI 总线输出的,可依次实现自动归零、自动上料、空位检测、压紧焊接、自动下料等,整个过程可以通过计算机屏幕以多媒体形式模拟显示,并通过 CCD 在线监测焊点状况^[9,10]。其下料装置为转筒式电磁下料机构,通过旋转的转筒带动永久磁铁,对从生产线上移动过来的已焊接好的安全阀进行吸附下料,旋转一周后通过与下料转筒切线方向的滑道,使安全阀自

动滑入料仓。这种结构设计简单巧妙,不需要使用功能复杂、成本很高的机械手即可完成自动下料过程,其结构如图 6 所示。

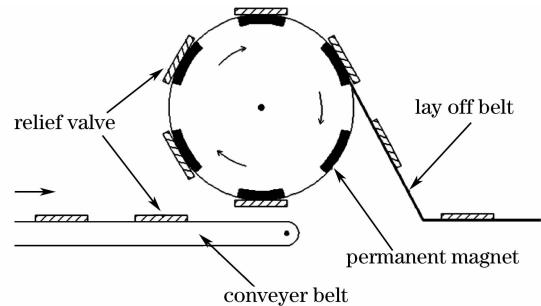


图 6 电池安全阀的自动下料装置

Fig. 6 Auto lay off device for battery relief valve

3 激光焊接的国内外现状及发展

目前国内外的企业对于电池的激光焊接都比较重视,国内也生产出一些激光焊接电池设备,但是对比国外的激光焊接设备情况,存在以下一些缺点。国外的激光焊接设备一般设计为自动化程度高、生产率高的自动焊接设备,其技术附加值也较高,价格昂贵。目前国内的一些厂商生产的激光焊接设备一般技术水平较低,多为手动焊接为主,由于缺乏技术竞争力,大多需要依靠降低售价的手段来赢得市场,这样结果往往使得自身的产品质量越来越低,而且技术上也难有突破,如此恶性循环使得国内产品水平和国际水平差距越来越大,很多电池厂家不得不花巨额外汇购买国外自动焊接设备。为了扭转这种情况,国内的企业应该及早认清形势,发挥自身优点,不断钻研高新技术,生产高自动化程度、高科技含量的激光加工设备。

参 考 文 献

- 1 Zhang Guoshun. Laser Manufacturing Technology Today [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. 107~135
张国顺. 现代激光制造技术[M]. 北京: 北京化学工业出版社, 2007. 107~135
- 2 Qian Hengan, Xing Shupei. Novel power battery technology and applications[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2007, **44**(2): 39~43
钱恒安, 邢树佩. 新型动力电池技术及应用[J]. 激光与光电子学进展, 2007, **44**(2): 39~43
- 3 W. Koechner. Solid-State Laser Engineering [M]. Beijing: Science Press, 2002. 23~74
W. 克希奈尔. 固体激光工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002, 23~74
- 4 Chen Yanbin, Miao Yugang, Li Liquan et al. Characteristics of laser-TIG double-side welding for aluminum alloys [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(12): 1716~1720
陈彦宾, 苗玉刚, 李俐群等. 铝合金激光-钨极氩弧双面焊的焊接特性[J]. 中国激光, 2007, **34**(12): 1716~1720

- 5 Wang Henghai, Yu Gang, Pang Ming *et al.* . Cylinder welding control technology of integrated laser manufacturing system[J]. *Chinese J. Lasers* , 2007, **34**(11): 1571~1576
王恒海, 虞钢, 庞铭等. 集成化激光制造系统的轴件焊接控制工艺[J]. *中国激光*, 2007, **34**(11): 1571~1576
- 6 Peiquan Xu, Xinhua Tang, Ri Na *et al.* . Study on welded seam recognition using circular laser vision sensor[J]. *Chin. Opt. Lett.* , 2007, **5**(6): 328~331
- 7 Xu Lianghong, Tian Zhiling, Peng Yun *et al.* . Microstructure and mechanical properties of high strength aluminum alloy laser welds[J]. *Chinese J. Lasers* , 2008, **35**(3): 456~461
许良红, 田志凌, 彭云等. 高强铝合金的激光焊接头组织及力学性能[J]. *中国激光*, 2008, **35**(3): 456~461
- 8 Zhu Kongfeng, Jiang Wei, Gao Zan *et al.* . Focusing window choice and parameters determination in automatic focusing system[J]. *Acta Optica Sinica* , 2006, **26**(6): 836~840
朱孔凤, 姜威, 高赞等. 自动聚焦系统中聚焦窗口的选择及参量的确定[J]. *光学学报*, 2006, **26**(6): 836~840
- 9 Gao Zan, Jiang Wei, Zhu Kongfeng *et al.* . An auto-adaptive algorithm to auto-focusing[J]. *Acta Optica Sinica* , 2006, **26**(10): 1474~1478
高赞, 姜威, 朱孔凤等. 一种自适应的自动聚焦算法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(10): 1474~1478
- 10 Ruisheng Huang, Liming Liu, Fan Zhang. Influences of laser in low power YAG laser-MAG hybrid welding process[J]. *Chin. Opt. Lett.* , 2008, **6**(1): 47~50