

太阳能电池银浆的焊接工艺研究

导读: 电池片与焊带间的连接影响着光伏组件的效率和使用寿命。本文确定了在本公司生产条件下, 焊头温度 330~370℃、焊接时间 4s 以内作为人工焊接新银浆电池片的工艺窗口, 并初步探讨了组件生产过程中质量控制问题。

1. 引文

组件制造过程中, 电池片主栅与焊带间的连接影响组件的电性能和使用寿命[1,2]。目前大部分光伏组件企业都在采用人工焊接的方式来焊接组件。人工焊接过程中可能出现虚焊、过焊和主栅与焊带连接强度低等问题。虚焊将增加组件的串联电阻, 降低组件效率; 过焊会造成电池片变形隐裂等问题[3]。提高人工焊接的焊接质量, 对组件生产非常重要。

影响主栅与焊带的焊接质量的因素主要有主栅银浆、焊接温度和时间、焊带、助焊剂、人工操作的焊接压力和烙铁的回温速度等因素[5]。在人工焊接条件下, 焊接受操作人员的影响很大。寻求合适的焊接温度和时间窗口, 使其对不同操作者的焊接习惯有一定的容忍度, 有助于提高焊接强度, 减少虚焊和过焊问题。进行此类研究也有助于评价银浆和焊带的匹配性, 规范操作者的焊接行为。

作者在研究新银浆正电极电池片的焊接条件过程中, 通过改变焊头温度和焊接速度, 绘制平均焊接拉力在不同焊接条件下的等值线图, 寻找焊接温度和时间窗口以提高焊接质量, 并讨论了组件生产中焊接质量控制方法。

2. 实验部分

使用公司生产的电池片和正常生产用的焊接设备和材料, 所有焊接操作均由同一操作者进行。用秒表控制焊接时间在设定值的 ± 1 秒范围内。实验设计了两种方案, 焊接条件表和图示分别如表 1、图 1 和表 2、图 2 所示。采用方案中的温度和焊接速度进行焊接, 使用台湾昇群 PeelForce606 焊接拉力测试系统对焊接后的电池片进行 180°剥离拉力测试, 每数据采集点采集 12 个平均焊接拉力数据。

No.	Time(s)	Temp(°C)
1	2	430
2	4	350
3	4.4	390
4	3	390
5	1.6	390
6	2	350
7	3	446
8	3	333
9	4	430
10	3	390

表 1. 方案一焊接条件表

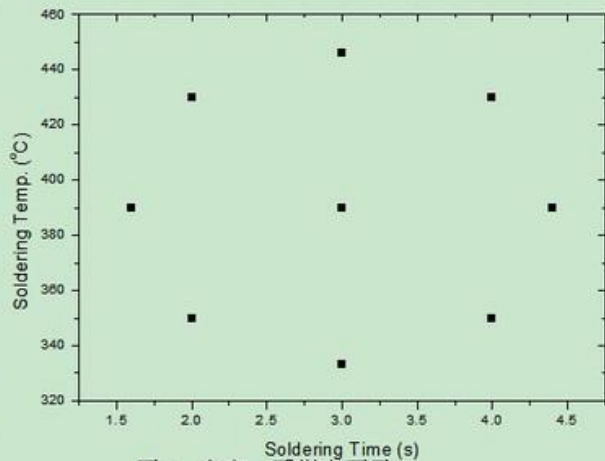


图 1. 方案一采样点图示

在方案一结果的基础上，实验方案二将焊接温度区放宽至 280~390℃。具体如表 2 和图 2 所示：

No.	Time(s)	Temp(°C)
1	3	390
2	2	300
3	3	283
4	4.4	340
5	3	340
6	2	380
7	4	300
8	1.6	340
9	4	380
10	3	340

表 2. 方案二焊接条件表

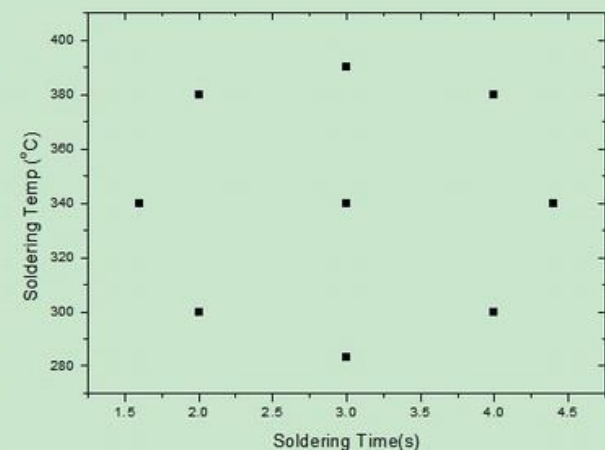


图 2. 方案二采样点图示

3. 结果与讨论

3.1 焊接拉力和时间工艺窗口

本部分通过研究焊接温度和焊接速度对焊接拉力的影响，选择合适的焊接温度与时间工艺窗口，使之适应更多操作者的焊接，令不同操作者的焊接质量达到期望水准。

图 3 是实验设计方案一的平均焊接拉力和标准差的 3D 等值线图。采用较低的焊头温度，对操作者的焊接速度有更大的容忍度。而在较高温度和较长时间条件下焊接得到的平均焊接拉力数据相对较小。这是因为高温长时间下焊接使含有玻璃体等成分的电池片主栅金属化 [5]，从而降低拉力。当操作者的焊接时间较短时，焊接温度可以选择的更高，但从标准差的等值图可以看到此时数据的标准差变大，表明焊接均匀性变差，这可能是由焊头的回温速度在高温下变差或高温对电池片内部产生损害造成的。

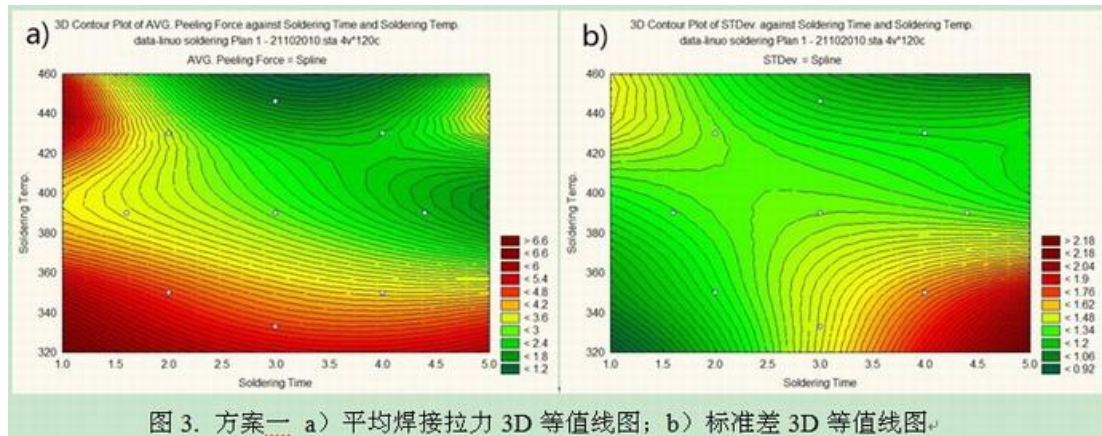


图 3. 方案一 a) 平均焊接拉力 3D 等值线图; b) 标准差 3D 等值线图。

方案一等值曲线图（图 3a）表明，较低的焊接温度和较短的焊接时间有利于提高焊接拉力和焊接的稳定性，在温度 330~370℃，时间 2~4s 范围内焊接拉力值和稳定性均较好。而图中数据采集区外，温度低于 330℃后出现焊接强度增加的现象，是软件算法导致的，在更低温度下的焊接质量还需实验验证。为此，方案二中将温度范围改变为 280~390℃，得到的平均拉力的 3D 等值线图如图 4 所示。

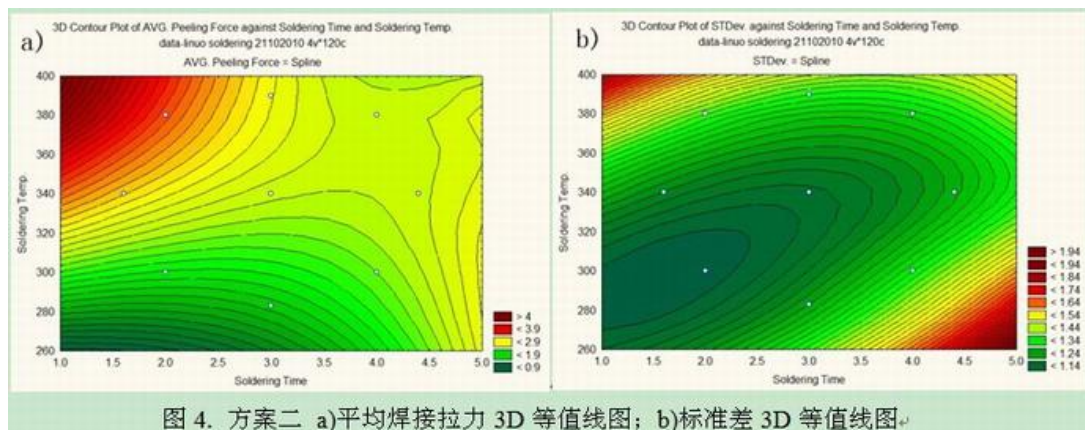


图 4. 方案二 a) 平均焊接拉力 3D 等值线图; b) 标准差 3D 等值线图。

方案二是同一操作者在另一时间完成的，其他焊接条件均相同。相同区域的平均拉力数值整体较方案一低，这是由两次实验的数据波动造成的。从其平均拉力等值曲线图（图 4a）可知，拉力焊头温度进一步降低后，焊接拉力值变小。通过对比主栅银浆脱落的情况发现，焊头温度从 330℃继续降低，焊接不能使主栅和焊带接触面发生共溶，导致虚焊增多，焊接拉力数值降低。将方案二与方案一的数据结合在一起，绘制焊头温度在 280~450℃的焊接拉力平均值的等值线图和 3D 曲面图如图 5 所示。

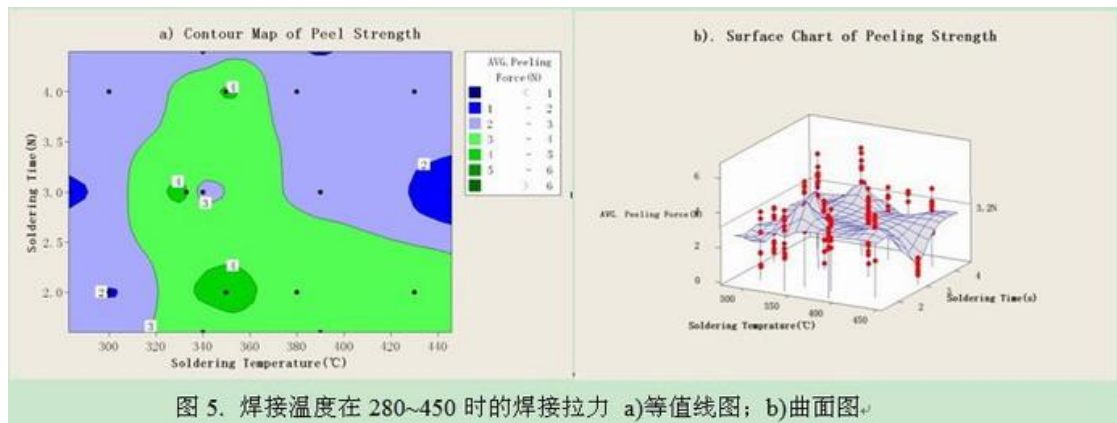


图 5. 焊接温度在 280~450 时的焊接拉力 a)等值线图; b)曲面图。

从图 5 可以看到焊接温度在 330~370°C 时，对操作者焊接速度的容忍度较大，电池片焊接的牢固程度也较大，可以作为新浆料焊接的温度窗口。图 5 中焊头温度 340°C、焊接时间 3 秒出现的异常状况，是由于两次实验数据的波动引起的，加大数据采集量，可以使图形更加规则。

3.2 手工焊接中的质量控制

太阳能电池银浆的选择对焊接拉力测试结果影响很大。银浆玻璃成分和银颗粒大小的不同，导致银浆与硅片、银浆与焊带的粘附性能不同[5]。所以当电池生产企业换用新的浆料时，下游组件企业也进行与之对应的焊接实验，选择合适的工艺或新的焊带来进行焊接。在本文中，通过对同一操作者的焊接情况的研究，将焊接拉力的工艺窗口制定在温度 330~370°C，焊接时间小于 4s 的范围内。再通过调查不同工人在此焊接工艺窗口下的焊接拉力情况，从而确定实际生产所需要的焊头温度和焊接速度。

在组件生产的质量控制中，通常采用观察焊掉焊带的电池片上的虚焊和过焊情况来评价焊接质量。检验过的电池片又可重新焊上新的焊带，所以这种质量监控方式具有耗时短、成本低的优点。但这种监控方式，对于操作者的焊接稳定性反映并不明显。采用焊接拉力测试机来进行质量监控，对比焊接拉力测试数据和焊接后电池片主栅的情况，可以更直观的反映虚焊、过焊等问题（如图 6 所示）。同时，曲线的标准差大小还可以反映操作者的焊接稳定性。

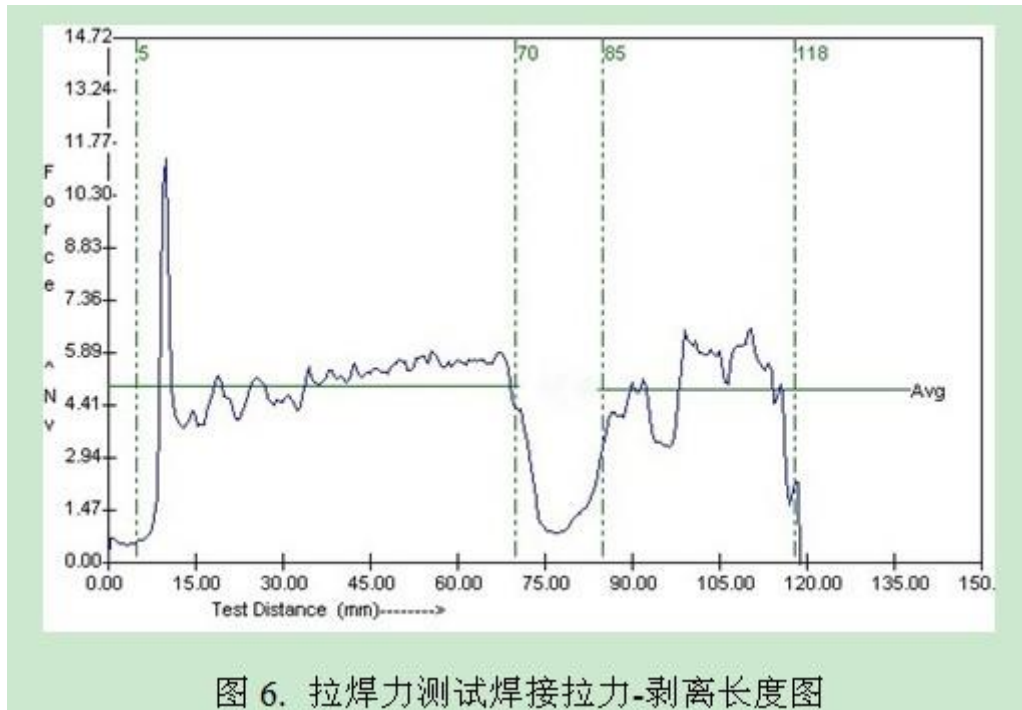


图 6. 拉焊力测试焊接拉力-剥离长度图

在组件生产单片焊接环节的质量监控方面,对拉焊力测试图形的曲线波动程度即焊接拉力数据平均值的标准差的监控,可以更加准确的掌握操作者的焊接稳定性。将焊掉焊带观察虚焊长度和焊接拉力测试两种手段相结合,能够保障组件焊接质量的稳定性,也可以对工人的焊接操作提供指导。焊接拉力测试后的电池片主栅会受到破坏,所以可以选择低效片来进行。

4. 总结

本文通过改变焊头温度和焊接速度条件,确定了在本公司生产条件下适合新银浆的最佳焊接工艺窗口为温度 330~370℃,焊接时间 4s 以内。通过进一步研究产线工人在此工艺窗口下的焊接质量,可以确定最佳的焊接条件。在焊接工序的质量控制过程中,运用拉力测试与传统目测法相结合的方式,有助于提高工人焊接稳定性,提高产品质量。

注:本文在方案设计和数据处理方面得到公司顾问 Saul Winderbaum 博士的帮助。在此向 Saul 博士表示感谢!同时感谢实验过程中给予帮助的公司领导和同事!

引用文献:

- [1] Luque A, Hegedus S. Handbook of Photovoltaic, Science and Engineering. Wiley: West Sussex, 2003.
- [2] A. EL Amrani, et al., Solar Module Fabrication, International Journal of Photoenergy, Volume 2007, p1-5
- [3] 郑军, 光伏组件加工工艺与质量控制, 新技术新工艺, 2010(3), p85-87
- [4] 李丙利, 谈谈太阳能电池的焊接, 太阳能, 2009(1), p62-64
- [5] Andrew M. Gabor, Mike Ralli, et al., Soldering induced damage to thin Si solar cells

and detection of cracked cells in modules, Proc. 21th EU PSEC, Dresden, Sep. 2006