

能量测量:焊料球高应变率焊接强度测试的主要度量标准

英国,艾尔斯伯里,诺信旗下达格精密工业公司粘接强度测试仪产品经理:Stephen Clark 博士

摘要

焊点的完整性经过机械冲击后会受到危及,尤其在采用焊料球互连的面阵列器件的便携式电子产品中。在这些封装中采用无铅焊料,在焊料球与焊盘的界面处,焊点容易受到脆性断裂失效的影响。需要高应变率方法来探测这些失效,板级跌落测试是评估这类焊点可靠性的传统方法。遗憾的是,它耗时、昂贵,同时其结果是含糊不清的。高应变率焊接强度测试采用能量作为定量数值被认为是一种经济的、快速的和操作方便的使用方法,适用于产品设计和生产监控。

关键词:

焊料球互连;脆性断裂失效;粘接强度测试;能量测量;板级跌落试验;高应变率焊接强度测试

引言

随着无铅焊料立法的推出,高应变率焊接强度测试方法的重要性越来越高,并已被证明为是板级跌落试验的重要的可替代方案,适用于来料筛选、工艺优化以及研发设计。众所周知板级跌落试验昂贵、麻烦而且耗时,不适合于生产控制。

其它的测试仪器,如基于 Charpy 和 Izod 的冲击测试仪,被广泛应用于材料评估,也已被应用于焊点测试。尽管这些装置可以产生焊接失效的能量值,但仅测量总能量,不产生力与位移的关系曲线。该测试不在恒定速度下进行,通常没有剪切高度的快速可重复的对准试样的方法,如 X-Y 定位台和可调节的 Z 轴。这些装置在实验室研究方面有一些价值,但不适用于快速的筛选或生产监控。

高应变率焊接强度测试

高应变率焊接强度测试仪解决了所有这些缺点。测试快速经济,通过焊接断裂能量的测量产生定量的数据。此外,它已被显示与板级跌落试验有相互联系。在剪切试验中形成力与位移关系曲线,剪切高度非常可控。

为了满足无铅立法的要求,同时满足电子工业快速评价新合金和焊接材料的要求而开发的高应变率焊接强度测试仪是一种可

信赖的替代方案。传统的焊接强度测试速度低,拉力测试小于 5 mm/s,剪切测试小于 1 mm/s,用精确的力测量作为焊接强度的主要质量标准。

严格地说,这种焊接强度测试更多地测量焊料强度,更少地测量焊接焊盘界面焊接强度。高应变率焊接强度的测试原理是把载荷传送到焊接界面,进行真正的焊接强度测量。许多读者将会明白引入无铅焊料的主要问题之一是脆性断裂失效的增加,由于冲击或其它高应变率情况诱发的焊接焊盘界面处的焊接断裂。以上面提到的低速焊接强度测试不可能探测脆性断裂失效。即使采用高应变率测试和峰值力作为标准,也不能区别不同的失效模式。但是如果测量失效能量,可迅速区别不同的失效模式如脆性失效或焊料(易延展的)失效。

高应变率焊接强度测试的特点是随着测试速度的提高,脆性断裂失效发生率增加。所有的测试都有力与位移关系曲线,其不同的形状代表着不同的失效模式(图 1)。这一例子给出了两条曲线,其中一

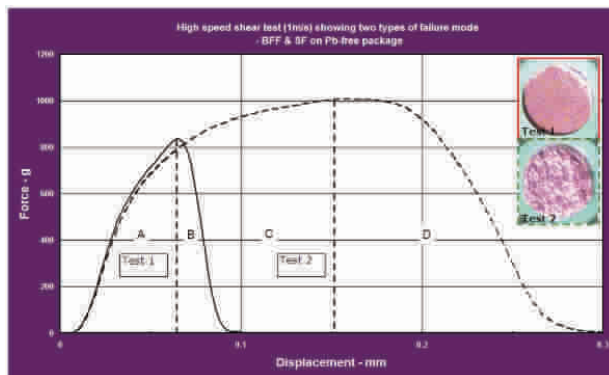


图 1 脆性断裂和易延展性失效力与位移曲线

条为脆性失效(测试 1),另一条为易延展性失效(测试 2)。注意可区别的形和不同的区域显示出可区别的焊接能量。

能量作为主要度量标准

选择能量作为焊点可靠性的主要度量标准是有理由的;毕竟,焊点必须在经历部件制造和使用的应力和应变之后仍然生存,因此吸收高应变率冲击和弯曲能量。最大化焊接界面能够吸收的能量可减少焊接失效的可能性。因此,高应变焊接强度测试采用能量作为主要度量标准,在快速筛选新焊接材料方面是一个有价值的重要工具,如不同的焊料合金和表面涂饰,以及 BGA 和倒装片制造中生产工艺的精调和监控。

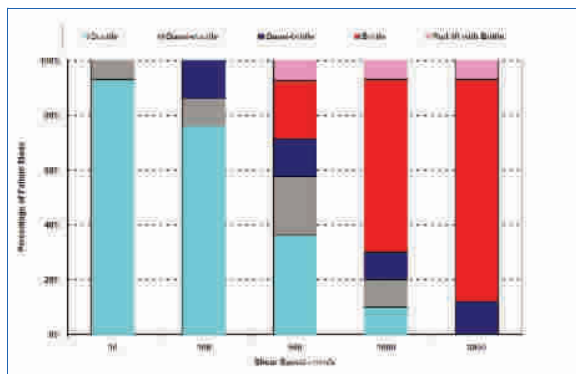


图 2 易延展性的、半易延展性的、半脆性的和脆性失效模式与传送速度

能量使用

确定传送速度进行最佳测试速度选择,在这一测试速度下进行能量测量,包括产品设计和生产监控。寻找最佳的拉拔和剪切测试的最佳传送速度需要在不同的速度下进行一系列的测试,在每一组中确定相对应的每一失效模式。与易延展性和脆性失效模式发生相对应的测试速度被称作传送或最佳速度。用这种方法产生柱形统计图。剪切测试如图 2 所示。

在这一例子中,传送速度在 500 mm/s~1 000 mm/s 之间,将需要在其它速度范围内做进一步测

表 1 不同失效模式的峰值力和总的、峰前值和峰后值能量值

	力(g)	总能量(mJ)	峰前值(mJ)	峰后值(mJ)
易延展性的	1 091	1.82	0.53	1.29
脆性的	995	0.71	0.30	0.41
半脆性的	1 054	1.17	0.41	0.77
半延展性的	1 045	1.59	0.47	1.12
全部失效	1 063	1.57	0.47	1.10

试,以做出更准确的确定。下一步是在传送速度下进行多种测试,以获得每种失效模式力与能量值关系曲线。以克(g)和毫焦耳(mJ)为单位的测试平均值见表 1。

还应注意力测量仅在不同的失效模式之间提供不充足的区别。在强烈的对比中,失效模式和总的或峰后能量值之间有极好的相关性。

先前的研究

表明高应变率焊接强度测试与板级跌落试验有着极强的相关性。当比较不同的封装和跌落失效次数(元件方面的脆性断裂)时,与来自高应变焊接强度测试的输出参数有直接的关系,包括能量。这进一步提出高应变率焊接强度测试可作为跌落试验性能的

表 2 批量测试读数与基准平均值比较

	总能量(mJ)	峰前值(mJ)	峰后值(mJ)
基准平均值	1.57	0.47	1.10
批次 1	1.36	0.39	0.97
批次 2	1.56	0.56	1.00
批次 3	1.59	0.46	1.13
批次 4	1.50	0.46	1.04
批次 5	1.49	0.41	1.08
批次 6	1.50	0.46	1.05

指示器。

能量值应用于材料筛选是有益的。在这种情况下,将有一个标准或参考试样,以确定传送速度,对所有测试记录其平均总能量值和峰后能量值,不考虑失效模式(如表 1 中最下面一行)。以同样的速度进行实验变量的测试,记录同样的能量参数。平均能量中的偏移将给出焊接强度的改进或恶化,检测失效模式是没有必要的。

同样的原理将能量应用于监控生产焊接强度质量。对常规生产建立基准能量值和设置 SPC 图需要进行上百次的测试。下面举例说

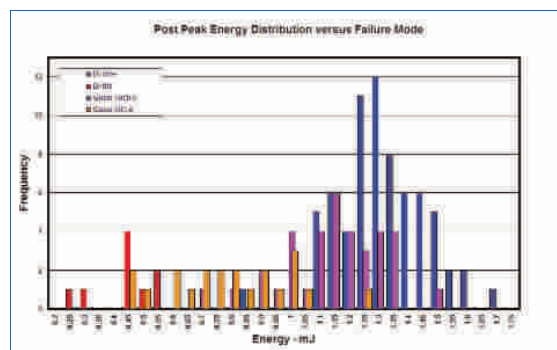


图 3 易延展性的、半易延展性的、半脆弱性的和脆性失效频次与能量

明。用表 1 的平均值作为批量测试的基准,分 5 批进行测试,每批 10 个焊料球,把平均能量值与建立的基准进行对比(表 2)。

明显地表明,当观察总能量或峰值能量时,批次 2 到批次 5 与基准值没有明显的差别。取决于已设置的容差,建议批次 1 应重新测试。

使用能量的另一个方式是观察与不希望的失效模式相关的阈值。在这种情况下,需要把数据用不同的方式进行标绘,需要用到来自基准数据采集的失效模式。用各种失效模式标绘的峰后能量频次分布见图 3。

根据这一例子建议良好的产品选择 1.1 mJ 以上阈值将排除脆性或半脆性失效。

(下转第 22 页)