

PT
Plastics Technology

现代塑料

无需真空箱的等离子体预处理技术

——传感器电路板在印刷前的常压等离子处理

Novotechnik 公司位于德国 Ostfildern，是一家生产高品质电位传感器以及非接触式定位传感器和旋转传感器的国际化公司。自 20 世纪 90 年代起，该公司就非常关注环境友好型的生产方式，长期以来，该公司一直采用在真空箱中产生的低压等离子体来对电路板进行预处理。然而，随着 Plasmatreteat 公司开发的并已获得了专利技术的 Openair®-Plasma 常压等离子体工艺的出现，为该公司提供了更加广泛的应用可能。

□ Management Consultancy Blue Rondo International, Inès A. Melamies

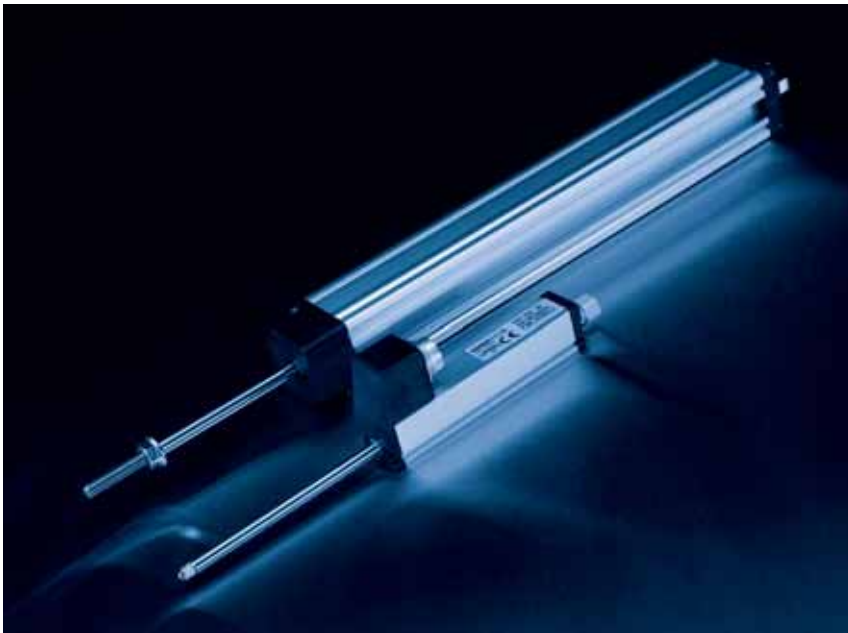


图 1 定位传感器在苛刻的环境条件下使用，它具有很高的定位速度（图片来自 Novotechnik 公司）

传感器通常可用于感知温度和压力、测定速度和运动状态、进行定位和转向以及检测湿度和亮度，并且它们能将探查到的信息转换成电信号。通常，传感器最重要的组件之一是由塑料制成的印刷电路板，它小巧但却功能强大。就电位器式的定位传感器和旋转传感器而言（如图 1 所示），所使用的电路板一般是采用导电油墨、通过丝网印刷工艺完成对它们的印刷。在无数个自动化工业生产制程中，印

刷电路板的质量通常对这些生产制程的顺利完成起着重要的作用。因此，生产商必须采取各种措施来确保导电油墨能够可靠地粘附在电路板上。

为了确保油墨的可靠粘附，要求在对电路板进行印刷前，必须对其基底材料进行预处理，也就是表面的净化和活化处理。在此，可采用多种预处理方法。相对而言，使用较多的方法之一是采用溶剂的化学预处理方法，但这种方法会污染

环境，且通常伴随着高昂的废物处理成本。

作为世界级的 Siedle 集团的一家关联企业，Novotechnik 公司早先采用了一种低压等离子表面处理的方法，这种方法不会危害环境，并且已被证实是有效的。但是，作为一种封闭的加工系统，该方法在生产中也存在很多不足：尽管真空箱能够很好地满足小批量的预处理操作，但却难以适应大批量的预处理需求，并且预处理时间也很长。而更重要的是，真空箱不可能被集成到现有的丝网印刷生产线中。此外，该方法属于劳动密集型的生产操作，必须由一个人来运行低压真空箱，而且处理好的组件也需要由人工将它们从真空箱中取出。

自 2000 年起，Novotechnik 公司决定增加产量，为此，该公司对一种可替代的预处理工艺进行了考察。该方案同样也属于一种等离子体的处理方法，但不同之处是它没有上述的各种限制因素（如图 2 所示）。

一般，等离子体是基于一种简单的物理原理而产生的：通过输入能量，使得物质的状态发生了改变——从固态变成液态，再从液态变成气态。此时如果进一步向气态

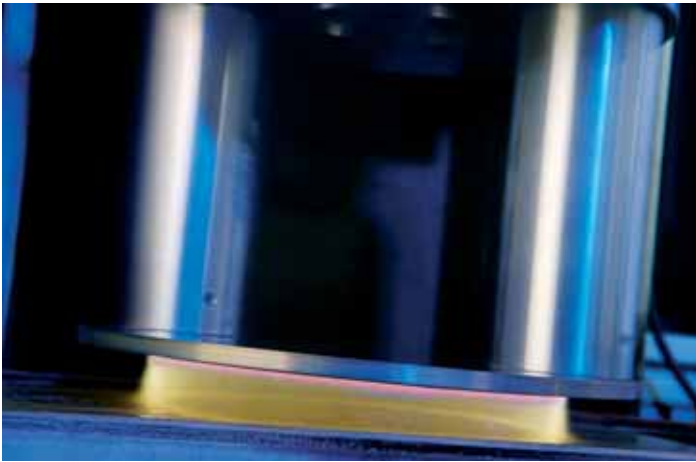


图2 这种可旋转的喷枪拥有两股等离子体源，可同时完成对电路板的净化以及中和电路板上的静电荷的操作。这种等离子体可有效地活化材料表面，使其能够适应所有的喷涂、印刷或粘接操作（图片来自Plasmatrear公司）

物质施加能量，则出现电离现象，也就是说，电子获得了更多的动能而从其原子层中脱离出来，从而产生了自由电子、离子和分子碎片，由此，便生成了等离子体。然而，由于这种物质的第四状态不稳定，因此几乎不可能在常压下使用（如图3所示）。

目前，获得了专利的 Openair® 常压等离子体工艺开创了这一新工艺应用的可能性。它由 Plasmatrear 公司于 1995 年研发而出，通过采用等离子喷枪，使得常压下产生的稳定的等离子体能够被成功地应用于工业生产中，甚至还可以实现在线处理，由此，使得常压下的等离子体能够在大规模的工业生产中被用于材料表面的预处理。通过与材料表面的接触，等离子体中的多余能量会转移到材料的表面，从而在材

料上发挥作用。经这一处理后的材料表面可获得一些完美的特性，能满足喷涂、印刷、粘接或发泡浇注等生产工艺的需求。

电中性的等离子体束

常压等离子方法是基于一种可适用于大多数组件形状的等离子喷枪来实现的。与复杂的等离子体低压系统（即真空箱）不同，现在这种喷枪能够被集成到生产线中，用于连续的操作处理，并且这种操作完全是在常压下进行的。一般，仅依靠空气和高电压即可产生等离子体射流。Plasmatrear 公司的 CEO Christian Buske 先生解释说：“一个独有的特性是，所形成的等离子体束是电中性的，这使得其应用

领域得到了极大的扩展，并且使用起来也非常方便。这种等离子体束具有很高的强度，因而可实现每分钟几百米的处理速度。”

在采用此方法进行处理的过程中，典型的塑料表面温度升高范围小于 20℃。这种等离子体系统具有 3 方面的功能特性：它可通过一系列的选择性氧化处理来激活表面，同时去除表面的静电电荷，并且可使金属、塑料、陶瓷和玻璃的表面得到彻底净化。通过与 Fraunhofer IFAM 的合作研究，这项技术又有了新的发展，它可用于对基材表面进行纳米涂层处理。目前，这种新技术已经被用于材料表面的镀膜或功能化改性处理。

灵敏的传感器

如今，很难想象前沿的汽车技术如果没有传感器的支持将会是怎样的。除了能够确保高精密性和高可靠性外，传感器还可确保使用的长久性。在发动机控制方面的典型例子是对节流阀位置和脚踏板位置的探测（如图4所示）。一般，

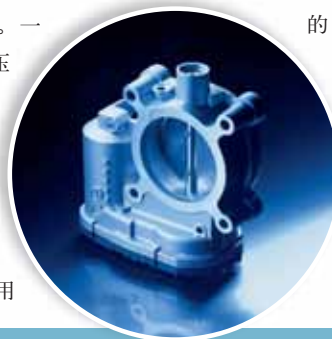


图4 带有阀门的完整的节流阀集成了传动机构和传感器。在对传感器电路板进行印刷涂覆前，需要采用 Openair® 等离子体技术对其进行预处理（图片来自 Novotechnik 公司）

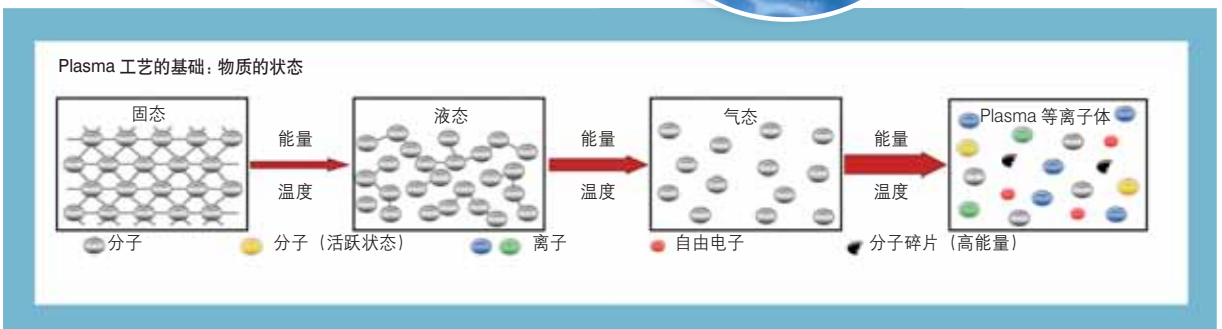


图3 Plasmatrear 的等离子体也被称作“物质的第四状态”（图片来自 Plasmatrear 公司）

带有电子技术的踏板模块由一个踏板杆壳体、一个旋转传感器和一个可模拟传统的油门踏板以调控驱动力的机械系统所组成。这种用于油门踏板的传感器可控制油门踏板的位置，并通过调节节流阀的位置来影响空气/燃油的混合比例。在这些传感器中所使用的所有印刷电路板都是由 Novotechnik 公司采用丝网印刷技术，并结合使用为此而特别开发的高品质的导电油墨而生产出来的。

对 Openair® 常压等离子体工艺的试验

这家传感器制造商对常压等离子体工艺的最初了解来自 Westphalia，那里有该公司的一家客户——知名的汽车零部件供应商 Hela 公司已经对这项技术加以引用。在经过一系列的初期试验后，这一创新技术的潜力很快得到了显现。“该预处理系统能够被方便地集成到我们的生产工艺中，并且它在提高产量的同时，还节省了劳动力成本。” Novotechnik 公司的电位传感器技术中心负责人 Tobias Eckert 博士介绍说（如图 5 所示）。为了确保质量，初期的试验花费了 2-3 个月的时间，试验项目包括：表面活化试验、粘附性试验（百格测试）以及全面的使用寿命试验。在使用寿命试验中，还采用了一种特殊的试验装置，通过施加各种不同的载荷以及采用不同的施载周期，来模拟产品的受力情况。

例如，一位客户要求证实用于发动机的节流阀在使用 1 000 万次以后，其电性能仍然不会发生明显的改变。为了帮助你理解这一挑战的严峻性，你可以想象，这一数字实际上相当于汽车运行了 100 万 km 的距离。

此外，Novotechnik 公司是遵循其标准的生产规则来进行生产的，



图 5 从等离子体处理系统直到丝网印刷生产线，电路板需要经历一系列连续的处理过程。Novotechnik 公司所使用的等离子体装置减少了占地面积，可同时满足 4 条丝网印刷生产线的需要（图片来自 Plasmatreteat 公司）

因此不会简单而轻易地改变其技术规范。只有在生产完成并将样品移交给客户，然后经过试验后，才能决定是否需要对技术进行改进。

对印刷电路板表面进行活化处理

对印刷电路板表面的预处理首

先是活化处理，即增加其表面能，这是一种非常重要的方法，它可测评粘接层或涂层材料可能达到的粘接强度。例如，塑料材料的表面能通常较低，大多在 28~40mJ/m² 之间，而要想获得良好的粘接性，其表面能必须在 38~42mJ/m² 以上。显然，经过等离子体处理后，材料表面的活性得到了极大的增强，从而使其表面能被明显提高。由 Plasmatreteat 公司所做的一系列试验表明，经 Openair® 常压等离子体处理后，大多数塑料的表面能可被提高到 72mJ/m² 以上（如图 6 所示）。其结果是：不仅可使以前互不兼容的材质能够得到很好的粘接，而且在大多数情况下，对于那些不易粘接的材质表面（如非极性塑料表面），还可实现将水性的粘合剂或涂料粘附在其表面上。无论是塑料表面还是金属表面，采用等离子体对电路

图 6 此图表明：在不同的距离和速度条件下，经等离子体处理后的塑料的表面能情况。经处理后，表面得到了活化，表面能提高到了 72mJ/m² 以上，从而扩大了加工工艺窗口（图片来自 Plasmatreteat 公司）

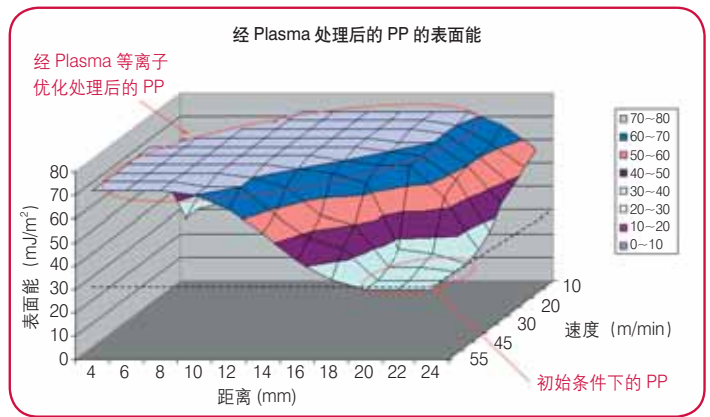


图 7 Novotechnik 公司在其德国的工厂中生产电位传感器的生产流程（图片来自 Novotechnik 公司）

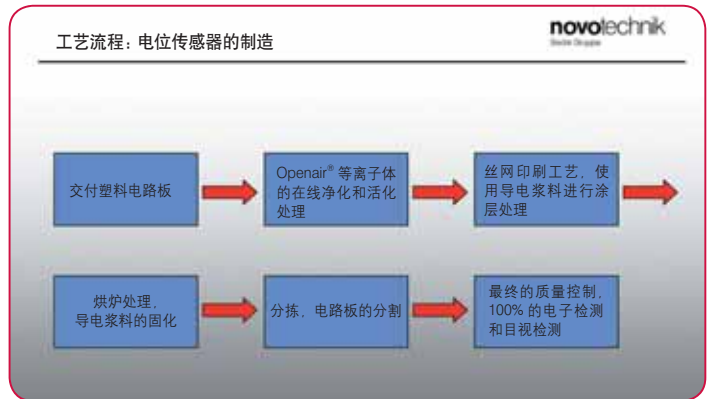




图8 这些已得到印刷处理的电路板被放在炉中进行固化处理。一旦这些电路板被分开后,就会100%地接受目测和电子检测的检查(图片来自Plasmatrete公司)

板进行预处理后,完全可确保粘接、印刷和喷涂操作的可靠性。

常压等离子体工艺的使用

Novotechnik 公司在 2000 年底开始将 Openair® 工艺引入到生产中(如图 7 所示)。FR4 电路板的制造过程是在洁净室环境中完成的。作为标准的电子电路用材料,该电路板采用了玻纤增强环氧树脂。该材料得到了改进,以适应蚀刻导电电路径的应用要求。这些电路板是专为电位传感器的应用而生产的,其尺寸大小为 130mm × 240mm,包含有 70 种电路板类型。对于丝网印刷工艺而言,等离子体处理是非常必要的,一方面它可确保基材与导电浆料(或者说是导电油墨)之间的良好润湿,另一方面可实现导电油墨在基材上的可靠粘附。而该处理过程所带来的积极而重要的附加效应是:等离子体几乎是以超声速状态轰击到电路板的表面上,从而可有效地清除粘附在表面上的细微颗粒物,并中和掉电路板上的静电荷。对电路板进行活化处理的等离子工艺最多只需要 1s 的时间。经等离子体处理后的电路板会被运送到印刷车间,在这里,采用丝网印刷工艺和导电油墨对电路板进行印刷加工。导电油墨是由 Novotechnik 公司自行生产的,该公司为不同的应用订制不同的导电油墨产品。“实际上,

它们是电位传感器的核心,因为导电油墨的质量决定着传感器的使用寿命。” Eckert 博士介绍说。

由于导电油墨的流动特性容易在丝网印刷的过程中发生改变,并且这种流动特性会影响到电路板的电性能,因此必须对丝网印刷过程进行监控。为了实施有效监控,可测定电路板的油膜厚度,这可通过在生产过程中对随机取样的产品进行检测以及通过测定已经蚀刻好的组件的相关电参数而得以实现。由此,Novotechnik 公司就能够及时地对产品电性能的任何变化进行有效的监测,并可随时对生产进行干预。一旦炉中固化过程结束,这些组件就会被区分开(如图 8 所示),并通过计算机对它们进行 100% 的电子检测和目测检查。最后,这些组件要么与一个接触刷一起被安装到壳体中,要么被单独交付给客户,由客户将这些电

位器组装到他们的产品系统中。

结论

等离子体处理技术除了被用于汽车工业的电路板组件外,位于 Swabian 的传感器制造商还将该技术用于其他工业领域中,如在造船或风力发电机涡轮变速箱领域中用于控制系统的圆形电位器的生产中。Eckert 博士对这种等离子体处理的结果感到非常满意(如图 9 所示),他说“从采用低压等离子体真空箱到集成 Openair® 技术的转变,使我们在发展传感器的生产技术方面取得了里程碑式的重大进步,Openair® 技术使我们的产量提高了 3 倍。该预处理工艺高效、安全、快速且具有成本优势,仅需一套这样的等离子体装置就足以满足多条丝网印刷生产线的需求。该等离子体系统在工作中非常安全可靠,故障率极低,因而确保了我们能高效而连续地进行传感器的生产。”自引进 Openair® 等离子体技术后,Novotechnik 公司已经生产并交付了远多于 5 000 万个得到不同活化处理的电路板组件。到目前为止,还没有出现过任何粘附质量问题。PT

图9 Tobias Eckert 博士是 Novotechnik 公司的电位传感器技术中心的负责人,他见证了常压等离子体技术的使用对传感器生产所带来的一个里程碑式的重大进步(图片来自 Plasmatrete 公司)



作者信息

Inès A. Melamies 是一名专业记者,供职于 Management Consultancy Blue Rondo International, 该公司位于德国的 Bad Honnef。

Plasmatrete 公司中国联系方式

联系人: Calvin Chen

电话: +86 21 6194 0100

Email: calvin.chen@plasmatrete.com.cn

网址: www.plasmatrete.cn

Novotechnik 公司中国联系方式

Email: gaowei@novotechnik.cn

网址: www.novotechnik.cn