

火花四溅

探索研究团队如何利用配备背照式传感器技术的高速摄像机 Phantom T3610 分析等离子体电解氧化过程中出现的“软火花”。

等离子体电解氧化 (PEO) 是传统阳极氧化处理金属表面方法的升级, 它将金属工件暴露在高电压下, 旨在改善工件的耐磨性能。这个过程的一部分是随着金属表面变得导电在金属表面上形成微放电, 让这在几微秒内发生, 类似于雷雨时发生的情况。这些微放电就像微小的闪电火花, 需要一些速度最快、对光线最敏感的成像工具来捕捉和分析。



什么是 PEO?

PEO 是一种电化学表面处理方法,用于加工铝、镁和钛等金属,以提高金属表面的耐磨性和耐腐蚀性。与传统阳极氧化工艺一样,PEO 也是将金属工件(这里指阳极)放入带有反电极或阴极的电解液槽中,然后闭合电路。经过处理的金属表面发生的电化学反应会导致材料被氧化并生成涂层。

波兰西里西亚理工大学的研究负责人 Maciej Sowa 博士解释说:“薄膜使材料更坚硬、更耐用、更耐腐蚀。”“经过处理的金属可用于许多智能手机外壳以及航空航天应用中的隔热罩。”

PEO 与传统阳极氧化工艺的不同之处在于其电压范围更广。据 Sowa 说,传统阳极氧化通常使用低于 120 V 的电压,而 PEO 使用高达 700 V 的电压。氧化膜的生长会增加涂层上的电压。“最终,电场变得非常高,超过了氧化膜的介电击穿电位,产生静电微放电,导致局部发生等离子体反应,”Sowa 说。等离子体的存在使氧化膜进一步生长,从而产生了 PEO 氧化物涂层的独特性能。

Sowa 说:“将浸没工件暴露在更高的电压下会导致金属表面厚度增加。”“这个过程会导致表面因突然变得导电而发生微量放电,就像雷雨时发生的那样。”

为了帮助 Sowa 和他的团队观察这些微放电的形成和发展过程,他们使用 Phantom T3610 高速摄像机对实验进行了记录,该摄像机采用背照式(BSI) 传感器技术,在亚微秒级的曝光时间内,该技术能够最大化传感器性能和感光度。鉴于 PEO 工艺的快速、微观特性,这台摄像机被证明是最适合 Sowa 在分析中使用的工具,这些分析工作是一个更大项目的一部分,而这个更大的项目旨在将 PEO 定位为一项环保技术(见下文侧边栏)。Sowa 说:“这种工艺仍然是一种相对年轻的技术,需要进行研究以克服其科学和技术问题,然后才能进行更大规模的开发。”

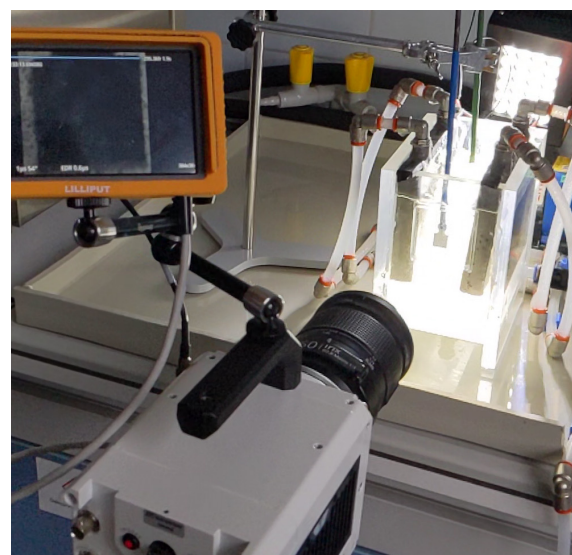
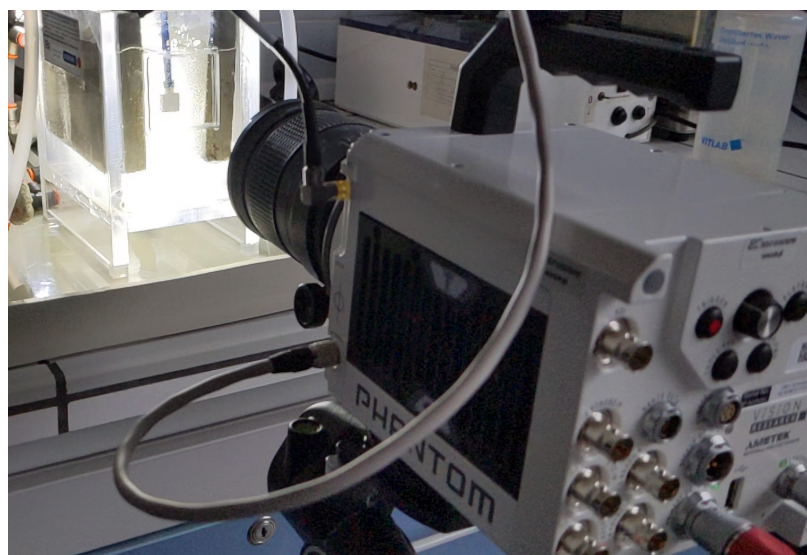
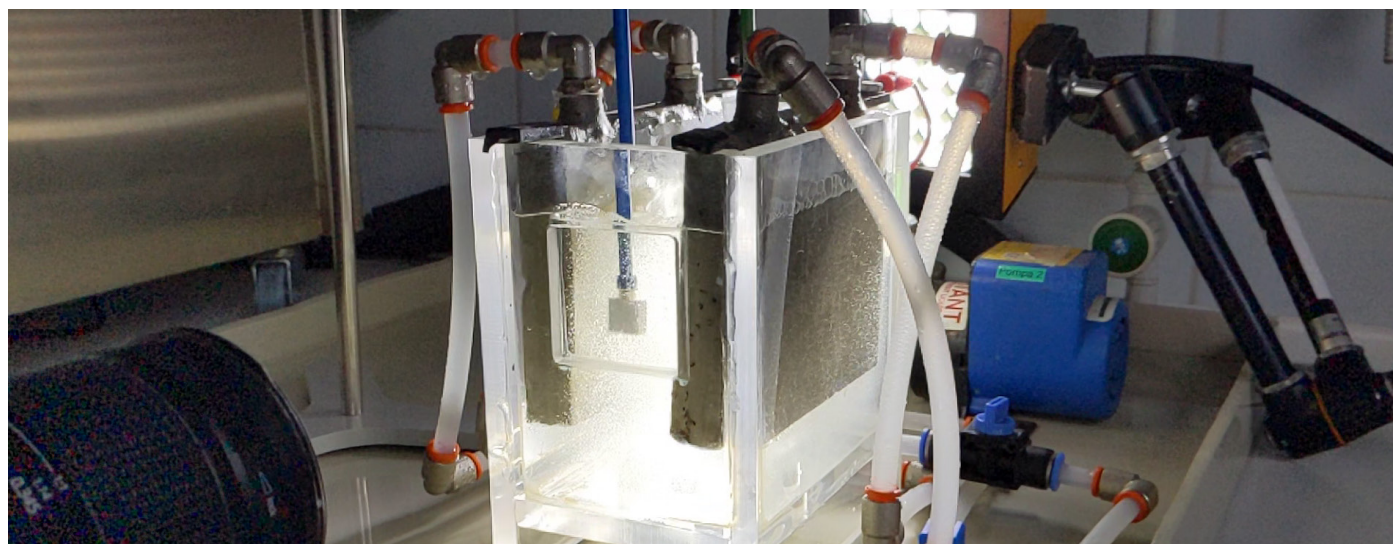
利用 PEO 减少化石燃料消耗

为了减少我们对化石燃料的依赖,科学家们不断努力开发环保技术,以减少温室气体排放、降低能耗并提高整体生活质量。PEO 就是这样一种技术。作为另一种阳极氧化技术,PEO 可改善轻金属合金的机械性能,使建筑和运输领域获得了轻质结构。结果:降低了燃料成本,减少了大气排放量。

实验装置

Sowa 和他的团队使用切割成 10 x 10 x 20 毫米大小的 6061 铝合金块, 在非对称交流条件下进行了 PEO 实验, 其阳极和阴极电压峰值分别为 430 V 和 100 V。他们最初将电压波动的频率设定为 500 Hz, 然后降低到 100 Hz。在正极 (阳极) 半周期中, 表面产生了微放电, 并出现了小火花。然后, 在负极 (阴极) 半周期中, 这些火花被熄灭, 以防止涂层过热和产生热裂纹。

此外, 研究人员还在电解槽 (由聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 制成的槽体) 上安装了一个方形石英窗口, 以便在 PEO 过程中观察试样。Sowa 解释说: “石英允许紫外线穿过窗口, 使我们能够用摄像机分析紫外线可见光光谱。”



实验装置

研究小组使用 T3610 摄像机以每秒 20 万帧 (fps) 的速度记录了氧化过程, 曝光时间为 5 微秒 (μs), 空间分辨率为 512 x 256 像素。Sowa 说:“摄像机帮助我们收集了有关微放电持续时间 (通常在 50 到 100 微秒范围内) 以及等离子体表面密度随时间变化的信息。”

Sowa 补充说:“理解这些现象的本质后, 包括微放电的性质和发展过程, 可以帮助使用 PEO 的科学家们调整工艺参数, 稳定等离子体行为并限制火花的破坏性。”这些参数包括频率、电流密度和电解质成分。



Phantom T3610

快如闪电的工具

据 Sowa 称, Phantom T3610 高速摄像机是 PEO 实验中不可或缺的设备。在 1280 x 800 的全分辨率下, 它可以超过 38,000 帧/秒的速度捕捉画面, 并保持 38 Gpx/s 的吞吐量, 而在分辨率降低的情况下, 它的速度可达 875,000 帧/秒。T3610 还提供亚微秒级的曝光时间, 标准曝光时间为 1 μs , 装有受出口管制的 FAST 选件时曝光时间低至 190 纳秒 (ns)。这些曝光时间使摄像机成为极快速应用的理想工具, 例如, 需要在几微秒内捕捉微放电的 PEO 应用。

Sowa 说:“此外, 每当你跳转到高帧速率 (在我们的实验中为 200,000 帧/秒) 时, 你就会损失大量的空间分辨率。”“Phantom 摄像机在这两者之间取得了很好的平衡, 为我们提供了高质量的图像。与以前使用其他高速摄像机进行的实验相比, 我现在可以看到更多的细节。”



是创新的 BSI 传感器使 T3610 能有这样的速度、吞吐量和感光度。这项技术增加了可捕捉光子的像素表面积，以前所未有的方式平衡了帧速率、分辨率和灵敏度。传统的前照式 (FSI) 架构具有阻止部分入射光到达像素的电路，而 BSI 传感器则提供了允许光线到达受光面的直接路径，从而可以捕捉极快的微秒级事件，而不会出现运动模糊。

T3610 的其他功能还帮助 Sowa 及其团队捕捉到了 PEO 过程的高清图像，这些功能包括：

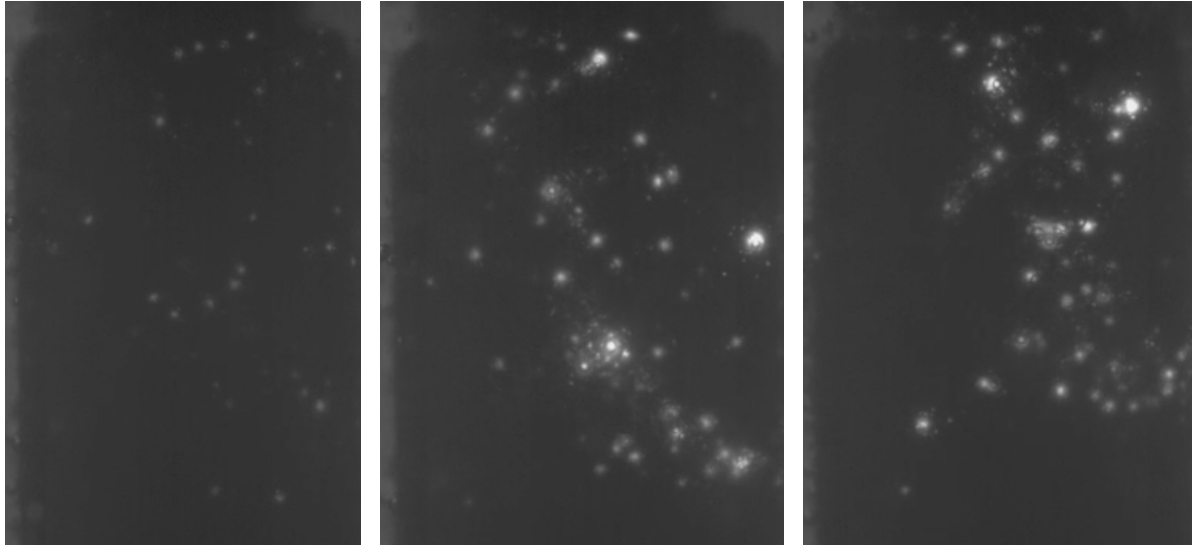
- **适合实验室用途的机壳。**T3610 机身小巧，比同类摄像机轻 50%，解决了许多空间有限的实验室的燃眉之急。尽管摄像机尺寸较小，但却非常耐用，具有主动冷却功能。事实上，在研究人员进行这些实验时，正值酷热天气时期。Sowa 说：“实验室里的很多其他设备都出了故障，但摄像机却完好无损。”
- **用户友好的软件。**T3610 和所有 Phantom 高速摄像机一样，可与 Phantom Camera Control (PCC) 软件配合使用，该软件具有许多高级功能，如用于自动工作流程的连续拍摄，以及裁剪、重采样、色调曲线、滤镜等成像工具。“软件非常直观，”Sowa 说。“它还提供教程，就如何最有效地使用摄像机提供有用的提示。”
- **对焦辅助。**据 Sowa 称，捕捉火花过程有时很“棘手”，因为过程中产生的大量气体遮挡了他的视线。幸运的是，PCC 软件自带对焦辅助功能，可以帮助用户清楚地看到图像中的细节，为拍摄过程带来了很大的便利。“此外，我们还记录了一个危险的高电压过程，”Sowa 说。“我们能够使用个人电脑调整焦距，这意味着我们无需移动摄像机或试样。”

了解软火花串

据 Sowa 说，T3610 使他看到了 PEO 氧化过程是如何随时间推移进行的，如果没有 T3610，他就不可能做到这一点。“如果没有摄像机，我就只能在事后用显微镜来观察过程的最终结果，而不是过程本身的演变。”

除了观察这一过程外，Sowa 和他的同事们还看清了火花本身的性质。在实验过程中，他们观察到了表面等离子体微放电在 Sowa 所说的“软火花状态”中的动态变化，这种状态就是微放电的尺寸和声发射强度逐渐减小的处理状态。为了达到这种状态，研究小组将处理电压从 425 V 左右大幅降至 360 V 以下，从而降低了处理过程的能耗。

Sowa 说：“软火花提高了氧化膜的生长速度，有可能形成刚玉（氧化铝的一种结晶形式），从而进一步提高改性表面的耐磨性。”“到目前为止，文献中还没有类似的研究。关于硬火花的研究倒有很多，但还没有人研究这种软化火花。”



观察 PEO 期间的一连串软火花

Sowa 认为,之所以还没有关于软火花的研究,是因为这些快如闪电的火花难以控制。据他说,软火花很快就会发展成一连串火花,即在同一位置连续多次出现火花簇。“理想情况下,我们希望火花串越少越好。我们正试图确定能减少火花串的条件,这样我们就能获得单个火花,从而限制火花可能造成的损害,并制造出更均匀、更坚固和更具成本效益的涂层。”

下一步工作

Sowa 的下一步工作包括在这项研究的基础上研究 PEO,以得出因果结论。“例如,我们希望了解和描述特定的微放电行为及其产生的表面类型。这就是我们下一步要做的。”

这些 PEO 实验是波兰国家研究与发展中心 (NCRD) 资助的一个名为“轻金属合金上等离子体电解形成阳极氧化物涂层以获得全面的表面保护系统的技术开发”的更大项目的一部分(项目编号:LIDER/30/0116/L-11/19/NCBR/2020;完成期限:2021-2024)。该项目致力于:

- 确定处理条件对在 PEO 工艺中获得的阳极氧化物涂层的结构和功能特性的影响。
- 证明额外的预处理对 PEO 涂层质量的影响。
- 探索通过表面处理增加涂层功能的可能性。
- 开发方法原型,为技术商业化做好准备。



某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。有关更多信息,请访问 www.phantomhighspeed.com/export。