



# UV 可剥胶白皮书

在任何表面处理工序中，遮蔽元件和表面都是必不可少的环节。无论是喷砂清理、酸洗剥离、喷丸、等离子喷涂还是电镀，遮蔽层都充当着牺牲性的保护屏障。遮蔽工序看似简单，但深入分析就会发现，它往往会给整个流程带来可观的成本。这些成本通常并不显眼，因为遮蔽材料本身往往不是成本的主要来源；真正的大头其实是遮蔽这道工序——尤其是其中的人工。元件结构越复杂，传统遮蔽材料（如胶带、蜡和溶剂型清漆）的涂覆和去除就越费时。此外，使用这些遮蔽材料还伴随着其他隐性成本，包括废品、元件返工、生产瓶颈、工伤赔偿和更高的保险费。把人工成本与其他隐性成本叠加在一起就不难看出，光靠选用更便宜的遮蔽材料，根本无法实现提升市场竞争优势所需的成本节约。当传统路径无法带来实实在在的节省时，就必须向新技术敞开大门——光固化遮蔽树脂正是这样应运而生的技术。

## 光固化遮蔽胶：传统遮蔽方式的替代方案

实现出色的表面保护，同时降低加工成本。

### 新选择 —— 光固化遮蔽胶

#### 历史渊源

UV 光固化遮蔽树脂的技术源于 UV 固化好氧丙烯酸酯胶粘剂和涂料。这一技术在 20 世纪 80 年代初实现商业化，为制造商带来了新的效率提升，累计节省了数千万元的成本。UV 光固化遮蔽树脂随后在 90 年代中期问世，有望在当前的电镀和表面处理行业带来同等甚至更大的成本削减。UV 遮蔽胶可即时涂



覆并瞬间固化，让元件加工得以不间断进行。使用上也很方便，UV 遮蔽胶提供多种粘度可选，从水一样稀薄的流体到不流动的凝胶都有，一次涂覆就能精准控制覆盖范围和涂层厚度。UV 光固化遮蔽树脂易于施胶，手动和全自动生产线都适用。传统费时费力的遮蔽工序，可以用半自动或自动化系统替代，实现对 UV 固化液体遮蔽树脂的受控喷涂、浸涂或精确定位。UV 光固化遮蔽胶附着力强、回弹性出色，还能减少因传统遮蔽方式缺陷导致的返工和废品，从而提升元件质量。UV 光固化遮蔽层坚固耐用，一次遮蔽即可应对多道表面处理工序，省去了工序间的剥离和重新遮蔽。简单来说，更高的效率带来更低的成本。

## 提高产能

UV 光固化好氧丙烯酸酯几秒即可固化，而传统方式需要数小时。固化瓶颈就此消失，产能显著提升。

## 对工人和环境友好

UV 光固化好氧丙烯酸酯不含额外溶剂，无需特殊处理要求，也不用配备昂贵的通风系统。

## 资本投入极低

UV 光固化好氧丙烯酸酯胶粘剂和涂料，用能产生紫外能量的灯具来固化。市面可选灯具样式很多，一台普通光固化系统的投入，通常第一年内、甚至更早就能收回。

## 易于集成到自动化生产

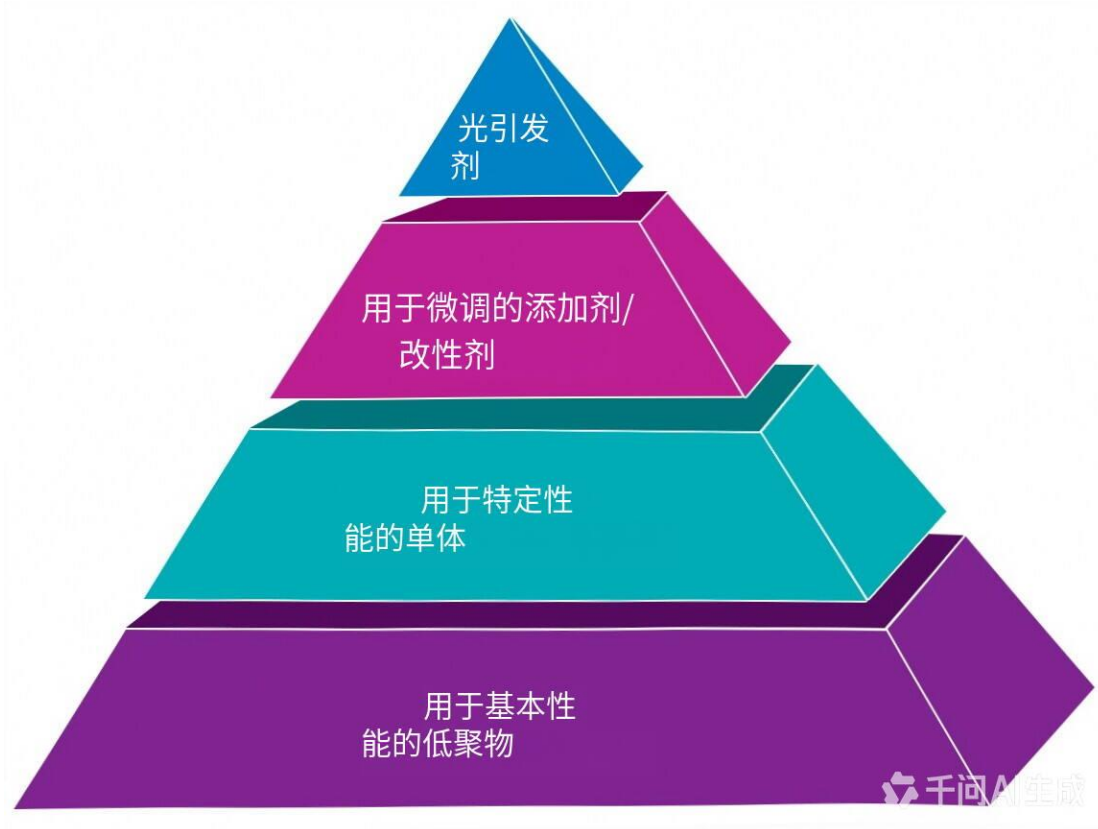
UV 光固化好氧丙烯酸酯可通过多种方式施胶，包括点胶、浸涂、喷涂、移印或丝网印刷。固化灯很容易装入现有生产线，固化只占用很小的空间。

## 光固化遮蔽技术

光固化遮蔽胶对工人友好且符合国内职业健康相关标准要求（如《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》GBZ 2.1-2019），它们是不含溶剂、低气味、不易燃的液体树脂，接触紫外光能量

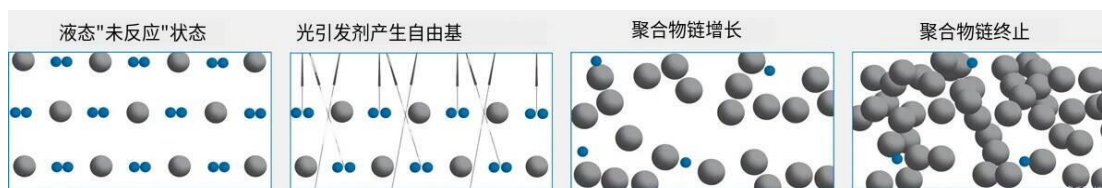


后几秒即可固化。配方经过特别设计，不会影响被遮蔽表面的金相结构。这些树脂以聚氨酯为基础，不含重金属、二氧化硅或其他会改变元件表面或后续涂层性能的化合物。固化后，这些树脂可像普通工业塑料一样处理。按推荐方法去除时，光固化遮蔽胶不会留下任何残留。未固化的遮蔽胶稳定性高，在常温（10-32℃）下储存保质期可达一年，无需冷藏。这些树脂都是单组分配方，使用前无需称量和混合。光固化遮蔽胶有多种包装可选，从小型注射器到按体积或重量计量的散装包装，可适配任何施胶系统。虽然有些配方简单、有些复杂，但光固化遮蔽胶通常由五大基本要素构成：光引发剂、添加剂、单体、改性剂和低聚物。



## 光固化遮蔽胶是如何工作的？

光固化过程始于遮蔽胶中的光引发剂接触到光谱输出合适的能量源。其分子分裂为自由基（引发阶段），随后自由基与单体、低聚物及其他成分结合形成聚合物链（增长阶段），直至所有成分形成固态聚合物（终止阶段）。原本的液体，就这样变成了固态树脂。



## 光固化遮蔽胶的不同类型

光固化遮蔽胶基本分为三种，可按去除机理分组：烧除型、可剥离型和水溶型。

### 烧除型遮蔽树脂

这类通常附着力最好，对高温和强腐蚀性化学溶液（如酸 / 碱槽）的耐受性最强。部分烧除型还具备二次热固化能力，用于 UV 光无法穿透的遮蔽区域。热固化型可用于封堵内腔，防止碎屑、电镀液在钻孔作业中进入，也能防激光烧穿。表面用 UV 光固化，在泛光灯下约需 20-30 秒；热固化则需在 149°C 烘箱中烘烤 30-45 分钟。固化时间会因遮蔽胶用量、元件尺寸和构型略有浮动。烧除型遮蔽层的去除，需要将元件在富氧炉中于 482-760°C 之间烘烤。通常温度越高，烘烤周期越短。不过，每个特定系列的遮蔽元件都必须验证各自的烘烤周期。遮蔽胶用量、遮蔽位置（表面还是内腔）、元件导热性等因素，都会影响合适的周期时间。薄涂层表面最快 15 分钟即可完全烧除；内腔、冷却孔或厚遮蔽层则可能需要一小时或更长的烘烤周期。显然，烧除型遮蔽只适用于能耐受高温的零件，比如涡轮发动机的“热端”部件。很多情况下，也可以利用现成的热处理工序来烧除遮蔽层。烧除过程相当于把遮蔽层焚烧殆尽，元件表面不留任何残留。这种 UV 固化遮蔽树脂的成分可完全燃烧并从炉中排出，且热处理元件的金相结构不受 UV 固化遮蔽树脂影响。Oekometric GmbH——德国拜罗伊特环境研究所（报告编号 121/01，2001 年 5 月）曾对一族烧除型 UV 固化遮蔽树脂进行过燃烧研究。研究目的是评估基于聚氨酯低聚物的产品（UV 遮蔽树脂）在燃烧过程中可能产生的潜在有害分解产物。研究及后续报告得出结论：这些 UV 固化遮蔽树脂燃烧产生的烟气，在工作场所不构成风险。事实上，这类 UV 遮蔽树脂燃烧产生的烟气，与包括山毛榉等天然



聚合物在内的其他有机物燃烧产生的烟气类似。

## 可剥离型遮蔽树脂

可剥离型遮蔽树脂固化后形成坚韧、柔韧的弹性薄膜，可直接用手或工具从边缘整体揭除，无需烘烤、水洗或化学溶解。这类树脂以聚氨酯为基础，附着力强、回弹性好，既能牢固附着于元件表面以承受加工工序，又能在工序完成后干净、完整地剥离，不留残胶。涂覆方式与烧除型、水溶型相同，可采用点胶、浸涂、喷涂或丝网印刷，适配手动及自动化产线。

可剥离型遮蔽胶特别适用于电镀、阳极氧化等湿式化学处理工序（见下文表 2 的工艺成本对比），也常用于喷砂、喷丸等需要对局部表面进行保护的场合。需要注意，可剥离型遮蔽层对持续高温的耐受能力弱于烧除型，固化后较难覆盖深孔、盲孔等内腔结构；元件轮廓越复杂，剥离工序的人工成本就越高，选型时应结合零件形状、工序温度与化学环境综合评估。

## 水溶型遮蔽树脂

水溶性光固化遮蔽胶为喷砂、磨削、喷丸、等离子喷涂等“干式”精加工工序提供出色的保护。涂覆方式与可剥离型相同。但水溶型真正显著的特色在于其去除机理。与以聚氨酯为基础的烧除型和可剥离型不同，水溶性遮蔽胶采用水溶性聚合物配方。正如其名，水溶型遮蔽胶能在液体中溶解。理想的去除方式是使用加热水（60-82℃）配合喷淋清洗，或采用搅拌 / 超声波清洗槽。遮蔽胶在水中完全溶解，元件表面不留任何残留。

建议使用闭环水基清洗系统来去除水溶性遮蔽胶。这类系统常见于现有表面处理工序中。这样就能在同一道工序里既去除遮蔽胶又清洗元件，又省下一笔成本。根据《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）及《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）等国内废水排放标准要求，固化后的 UV 遮蔽树脂不含任何



有机或无机有毒物质。UV 固化水溶性遮蔽胶在水中溶解后，浓度最高 20% 时 pH 值为中性 (7)，不会对操作人员造成处理危害。

## 工艺节约机会

业界对光固化遮蔽胶带来的成本节省关注颇多。有些节省是直接且容易计算的，另一些同样重要，却隐藏在传统遮蔽工艺的间接成本中。对现有遮蔽工艺与拟采用的光固化遮蔽工艺进行详细成本分析，能让实际成本节省一目了然。表 1 对比了低成本蜡质遮蔽胶与烧除型光固化遮蔽胶。该工艺涉及某涡轮元件的酸洗清洗和后续磨削。元件的关键表面尺寸和内腔必须防酸洗槽和碎屑侵害。蜡质工艺需要在一系列冷却孔中灌满蜡，并将元件一部分浸入蜡中以保护表面。

光固化方法则使用高粘度光固化遮蔽胶，操作人员可用注射器式点胶器封堵所有孔洞，而无需填充内腔。外表面用同款遮蔽胶的低粘度版本浸涂。点胶后，元件置于光固化泛光灯下 45 秒完成固化。该清洗和磨削工艺的月产量平均为 2000 件，处理后的元件每件价值约 16,750 元（案例按现行汇率折算，国内应用可按本地人工成本与元件单价重新核算）。

在表 1 的例子中，改用光固化遮蔽胶后，多项成本被削减或消除。由于树脂粘度可控，材料用量更少。光固化遮蔽胶的回弹性和强粘附力，让元件在清洗和磨削工序之间无需剥离和重新遮蔽。废品率从 0.5% 降到零。由于元件价值从数千元到数万元不等，单是废品率的降低就已意义重大。

这些削减转化为每件约 271 元、即 50% 的工艺成本节省。最令人惊讶的是，20 件的批次不到原来四分之一的时间就能完成遮蔽，每件节省近一小时。这让大修计划的周转更快，新件生产的产能更高。从这些成本节省的规模来看，新增一台光固化灯（约 16,750 元）的资本投入，不到一个月就能收回。

第二个例子(表 2)比较了电镀应用中传统胶带遮蔽与可剥离型光固化遮蔽胶的对比。表 2 再次显示，



通过节省人工、消除与胶带遮蔽相关的返工 / 废品，每件成本大幅降低约 231 元（降幅 49%）。UV 工艺新增的设备成本，同样不到一个月即可收回。

**表 1. 成本对比——低成本蜡质掩膜与烧除级光固化掩膜**

| 工序 / 项目                                    | 蜡质掩膜     |                | 光固化掩膜       |           |
|--------------------------------------------|----------|----------------|-------------|-----------|
|                                            | 单位成本     | 每 20 件总耗时      | 单位成本        | 每 20 件总耗时 |
| 蜡 (0.34 公斤, 约 50.2 元/公斤)                   | 16.75 元  | —              | 164.15 元    | —         |
| 烘箱预热工件<br>人工*: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 20 分钟     | 6.70 元   | 20 分钟          | —           | —         |
| 涂蜡用于酸洗<br>人工: 每件 30 分钟                     | 201.00 元 | 600 分钟         | 100.50 元    | 300 分钟    |
| 酸洗后去蜡 (热水槽)<br>人工: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 30 分钟 | 6.70 元   | 20 分钟<br>30 分钟 | —           | —         |
| 冲洗并干燥<br>人工: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 15 分钟       | 6.70 元   | 20 分钟<br>15 分钟 | —           | —         |
| 为磨削重新涂蜡                                    | 201.00 元 | 600 分钟         | —           | —         |
| 去蜡 (热水槽)<br>人工: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 30 分钟    | 6.70 元   | 20 分钟<br>30 分钟 | 0.00 元      | —         |
| 冲洗并干燥<br>人工: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 15 分钟       | 6.70 元   | 20 分钟<br>15 分钟 | —           | —         |
| 小计                                         | 452.25 元 | 1410 分钟        | 264.65 元    | 300 分钟    |
| 废料: 0.5%摊入每件                               | 83.75 元  | —              | 0.00 元      | —         |
| 总计                                         | 536.00 元 | 1410 分钟        | 264.65 元    | 300 分钟    |
| 设备                                         | —        | —              | 16,750.00 元 | —         |

\*两种工艺的人工成本均按 402 元/小时计算（按 1 美元≈6.70 元折算，人工成本在表中以人民币列示）



表 2. 成本对比——传统胶带遮蔽与光固化可剥离遮蔽

| 工序 / 项目                                       | 胶带遮蔽      |                | UV 可剥离遮蔽                   |                |
|-----------------------------------------------|-----------|----------------|----------------------------|----------------|
|                                               | 单位成本      | 每 20 件周期时间     | 单位成本                       | 每 20 件周期时间     |
| 半卷胶带 (201 元/卷)                                | 100.50 元  | —              | 164.15 元                   | —              |
| 粘贴胶带<br>每件 30 分钟                              | 201.00 元* | 600 分钟         | 6.70 元<br>6.70 元           | 20 分钟<br>20 分钟 |
| 去除胶带                                          | 67.00 元   | 10 分钟          | 67.00 元                    | 10 分钟          |
| 清洗并干燥 (去除胶带残留)<br>人工: 每件 1 分钟<br>周期: 每批 15 分钟 | 6.70 元    | 20 分钟<br>15 分钟 | —                          | —              |
| 返工: 0.5%                                      | 83.75 元   | 60 分钟          | 0.00 元                     | —              |
| 小计                                            | 458.95 元  | 705 分钟         | 244.55 元                   | 50 分钟          |
| 废料: 0.1%                                      | 16.75 元   | —              | 0.00 元                     | —              |
| 总计                                            | 475.70 元  | 705 分钟         | 244.55 元                   | 50 分钟          |
| 设备                                            | —         | —              | 16,750.00 元<br>10,050.00 元 | —              |

\*两种工艺的人工成本均按 402 元/小时计算 (按 1 美元≈6.70 元折算, 人工成本在表中以人民币列示)