



Printing the Brilliant Way -
An Introduction into Metallic Effect Pigments

印刷闪亮效果 - 金属颜料介绍

1	简介	- 3 -
2	金属效果颜料的生产	- 4 -
2.1	铝银浆的生产	- 4 -
2.2	金属颜料的类型和外观	- 7 -
3	颜料的排列	- 8 -
3.1	简介	- 8 -
3.2	金属效果颜料的使用和分散	- 10 -
3.2.1	颜料分散应用举例	- 13 -
3.3	其它特殊效果颜料	- 13 -
3.3.1	云母片 SYMIC 与玻璃粉 LUXAN 的分散	- 13 -
3.3.2	剪切与颜料的表面改性	- 14 -
3.3.3	印刷中的剪切	- 17 -
3.4	印刷基材的选择	- 17 -
3.5	油墨干燥固化过程中颜料的排列	- 21 -
3.5.1	溶剂型油墨	- 22 -
3.5.2	能量固化油墨	- 24 -
3.5.3	水性油墨	- 26 -

1 简介

提高商品的标识及其清晰的辨别度已成为包装或标签印刷的一个潮流和主流趋势，其中金属效果是达成这一目标的有效手段。闪烁的金银效果非常容易在第一时间吸引人们的视线。目前很多技术可以实现在薄膜、纸张或卡纸上的金属效果，之间各有利弊。

本文主要探讨金属油墨展示的金属效果。

包装印刷上使用的金属效果油墨非常广泛，配合各种树脂体系和干燥固化方式，金属颜料可以应用于印刷行业的各个领域，展示独特的视觉效果。近年来，金属油墨在发展效果的同时，也按照行业法规 (如烟包和食品包装)、政府管控 (如 VOC、危险品、低迁移) 以及品牌商 (如雀巢) 内定限制的要求调整方向，实现安全与效果的结合。

市场划分	化学体系	印刷方式	安全法规
软包	UV, LED	凹印	地方法规
纸盒, 包括烟包	油性	柔印	烟包
收缩膜	溶剂性	胶印	低迁移
压敏标签	水性	丝印	食品包装
丝印玻璃、箔及纺织品		喷墨	
缠绕标签			
湿胶标签			
墙纸			
可刮油墨			
礼品包			
各式袋子			
纸巾, 餐巾			
商业票据			
瓦楞纸箱			




图 1: 金属油墨的市场划分、化学体系、印刷方式及相关法规

本文解释了金属颜料的特征，应用以及实现金属效果的操作。

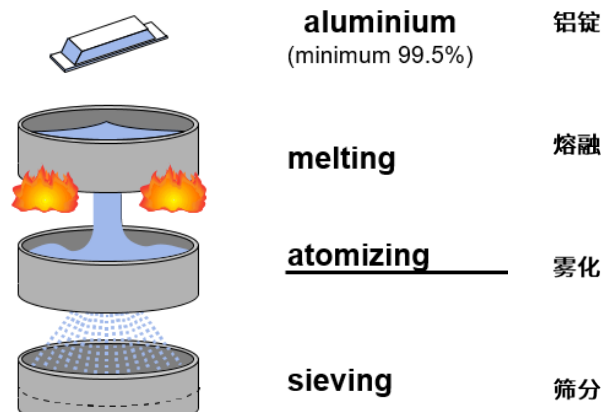
2 金属效果颜料的生产

2.1 铝银浆的生产

金属颜料生产的起点是金属锭。不同级别的铝锭，比如不同纯度，对后加工及产成品的质量影响很大。铝锭中通常所含的杂质有铁和铜，这些成分对后期铝颜料应用于水性及 UV 油墨中的稳定性影响很大。另外铝锭中常见的重金属杂质，如铅和砷，则限制了铝颜料在食品包装中的应用。

图 2 描述了铝颜料生产的第一步：从铝锭到颜料的原料 – 非常细的叫做雾化铝的铝粉。在这一过程中，铝锭在融化和高压下雾化成非常细的铝粉。

图 2: 铝锭生产细铝粉



控制雾化过程的生产参数，可以得到不规则形状或圆形的雾化铝粉，经过下一步的研磨可以制得不同特性的铝颜料。



图 3: 熔融及雾化后不规则的铝粉 © ECKART

图 3 显示了不规则形状的雾化铝粉的显微镜照片，可以看到颗粒的大小粗细不等。经过下一步的研磨工艺，铝颜料的粒径形成一定分布，从而使印刷油墨表现出金属感和遮盖力的变化。

与之对应，图 4 是不同的雾化工艺生产出的球形铝粉。

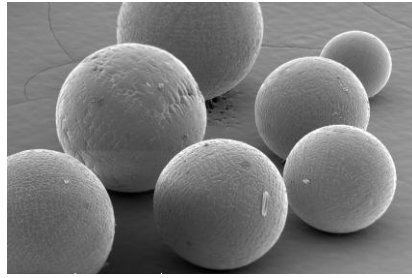


图 4: 熔融及雾化后规则的铝粉 © ECKART

雾化工艺后的铝粉，像做披萨时的面团，进入下一步研磨工艺，得到微观上一面面小金属“镜子”。研磨工艺需要加入研磨溶剂（矿油）和润滑剂，润滑剂可以使颜料粒子在研磨时保持分散。

上文介绍过研磨的原料铝粉的形状对成品的影响很大，如图 5 所示。不规则的铝粉研磨生产出不规则的玉米片形的颜料，而球状的铝粉则制出规则的硬币状的颜料。图 5 右上角是玉米片颜料照片，与银元状颜料相比，颜料粒子的厚度较低，小粒径粒子比例较大，这一特性对油墨的外观影响显著。

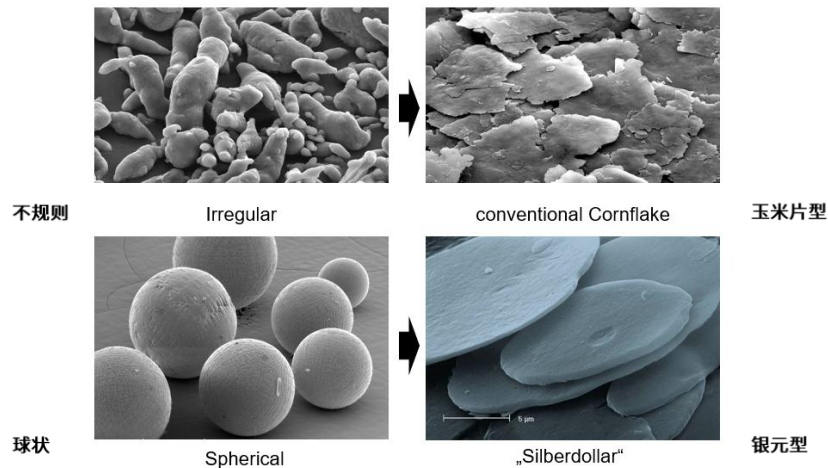


图 5: 研磨后不同雾化铝粉得到不同形状的金属颜料 © ECKART

目前金属颜料的介绍中，常用 D50 这个值表征粒径。D50 值的意义就是 50% 的颜料的粒径小于这个数值。D10 (10% 颜料粒径小于该值)、D90、D99 等的定义也是基于相同道理。这个数值对使用颜料有指导意义。比如，柔版印刷用的颜料粒径通常小于凹版印刷。

测量铝颜料的粒径分布可以看出小颗粒与大颗粒的数量分布，它们分别影响了遮盖力与金属光泽，比如汽车漆工业要求铝颜料表现较高的金属光泽和随角异色性，对颜料细粒径所占的比例控制较严。相反，印刷工业需要平衡遮盖力与金属光泽，金属颜料需要保持较大比例的细粒径粒子。选择颜料的粒径分布同样也是匹配印刷参数时需要考虑的重要因素，如柔印网纹辊线数、凹印网穴大小、丝印网版目数。

通常一个完整的粒径分布图可以得到颜料粒子大小 (D50)，颜料的遮盖力 (D10)，以及金属光泽 (D90) 的信息。

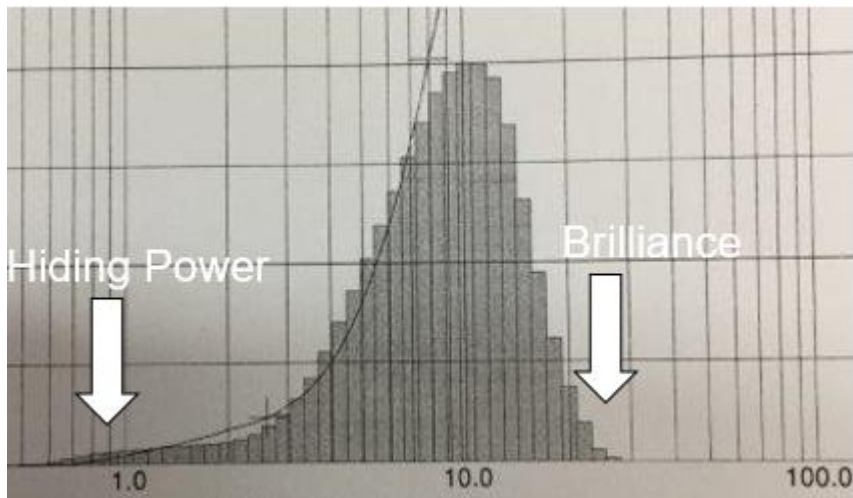


图 6: 一个 D50 = 10µm 的颜料的粒径分布图 © ECKART

比较图 5 中玉米片型与银元型颜料的显微镜照片，结合粒径分布图的说明，可以看出通常玉米片型的颜料比同级的银元型颜料具有较高的遮盖力，而银元型颜料则表现出较强的金属光泽。

从图 5 的显微镜照片我们还可以看到，不规则形状的玉米片结构比银元结构产生了较大边缘周长。对光泽要求高的应用，这一点非常重要。粒子的边缘周长与表面积之比较大，反射光线会产生较强的分散 (如图 7)。假设颜料粒子的反射面接近完美平滑，反射光线的分散主要发生在粒子的边缘面，当边缘表面积 (与边缘表面长度，厚度有关) 增大，颜料的反射清晰度下降。有时颜料的这一特性可用于制备平滑丝状，广视角下的金属定向反射效果。而当需要高光泽时，大边缘面的颜料就不是理想的选择，这是因为边缘处发生了较多的光线分散。

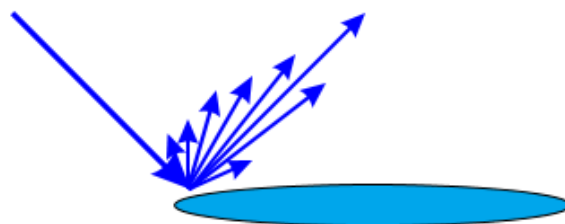


图 7: 金属颜料边缘处反射光分散示意图

2.2 金属颜料的类型和外观

在 2.1 结尾，我们讨论了光漫射面积对颜料外观的影响，这里的漫射面积是由颜料粒子的厚度和周长决定的，面积越大，发生杂乱无章的反射越多。同理，颜料边缘的漫射面积也可以解释 D50 较小的颜料遮盖力比较强。总之，当颜料粒子厚度一致时，使用粒径小的颜料通常反射清晰度下降，这是由于粒径小的颜料边缘总长度较大，光的不规则反射较多，规则反射的面积较小。

为了减少颜料的边缘面积，爱卡多年前就开始了各种薄型颜料的开发，推出了具有镜面效果的颜料，建立了颜色和金属效果差异化的含金属铝颜料的油墨序列 (图 8)。这些继“玉米片”和“银元型”颜料之后，具有超薄形态的颜料被命名为“薄元型”“PLATINDOLLAR”和“美特亮”“METALURE®”，可以反射出非常清晰的图文，见图 8。

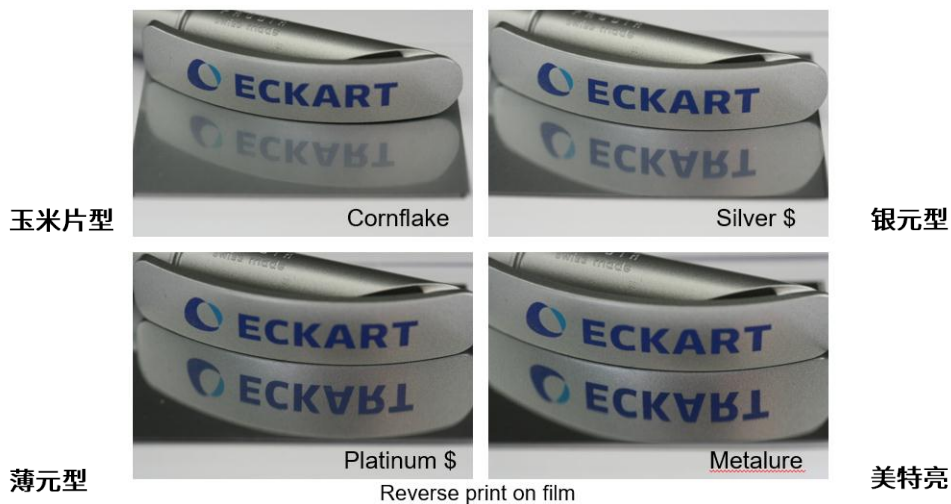


图 8: 里印方式下，含不同粒径分布、粒子形状和厚度的颜料的油墨的印刷效果 © ECKART

图 8 中的颜料类型分别是：“玉米片”、“银元型”、“薄元型”和“美特亮”，所选的粒径 D50 都接近 10 μ m。四种油墨所用颜料的形状、厚度和粒径分布都不相同，但以相同的方式在相同的基材上进行印刷。油墨中颜料和连接料的比例经过调整，使各种颜料片能充分适应印刷转移。四类颜料在里印膜上的反射率和光泽有明显差异，按照光泽和镜面效果依次为：

美特亮 > 薄元型 > 银元型 > 玉米片型

从图9的显微镜照片可以看出，随着片状结构的颜料厚度降低，颜料表面平整度也相应提高。

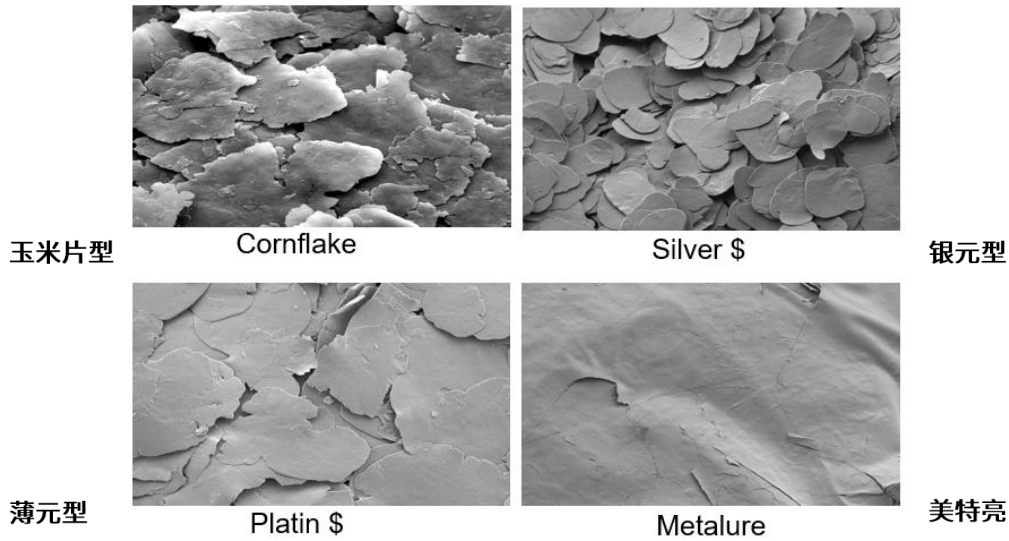


图 9: 10 μ m 的玉米片型、银元型、薄元型和美特亮 (PVD) 颜料显微镜照片 © ECKART

3 颜料的排列

3.1 简介

图9的电子显微镜照片可以解释图8的实验结果，而且也可以观察到颜料厚度造成的影响。美特亮 METALURE[®] 颜料是通过物理气相沉积特殊方法 (PVD) 制备的，颜料极薄且厚度均匀。用适当的涂布或印刷方式，美特亮可以展示出和镀铝膜相似的反射效果。这个结果表明金属颜料的厚度和定向排列对表现金属效果极为重要。

与常见的圆形的黄色或红色颜料不同，金属颜料需要在印刷表面定向平行排列，才能有效反射，形成理想的金属效果。一旦达到完美的排布，金属颜料可以展示系列变化效果，从玉米片型的丝滑状到 PVD 的镜面，颜色黑白程度也不尽相同。

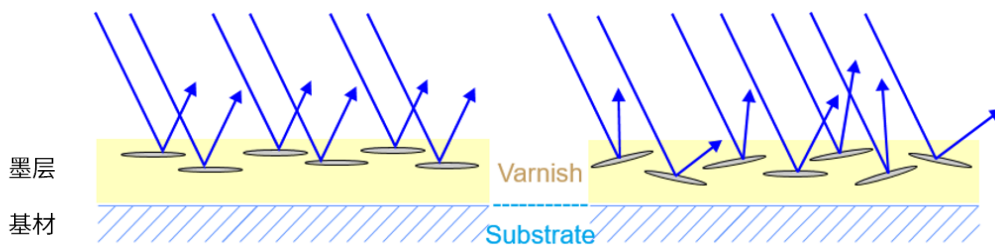


图 10: 不同反射效果示意图

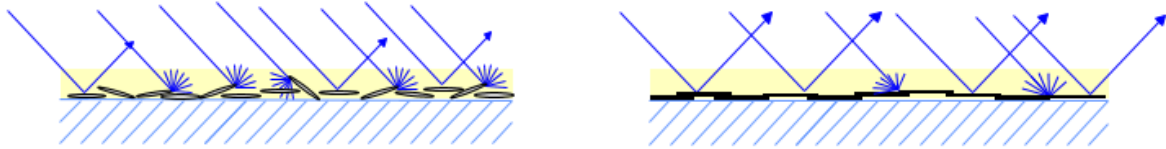


图 11: 相同粒径分布的颜料, 厚度对反射效果的影响

图 是金属颜料排列理想与不理想时光线的反射示意图。因此印刷油墨的黏度、印刷工艺和干燥速度都考虑到颜料的定向排列, 才能得到好的金属效果。图 9 中美特亮对光线的反射可以用图 11 示意。获得金属效果的关键因素就是颜料的理想排列。

金属颜料的许多性能, 比如附着牢度、着色力, 再涂性以及外观是在初级的研磨阶段就确定了的。第 2.1 章讲到颜料湿磨时需要加载体溶剂和润滑剂, 而干磨工艺只需加润滑剂。润滑剂的作用是在研磨不断形成新的表面时, 粒子间还能保持离散状态。由于润滑剂需要润湿颜料表面, 因此颜料的表面极性也随之改变。如果使用非极性润滑剂, 油墨中的颜料表面也是非极性的, 油墨印刷后金属颜料会浮在墨层表面。这个性质称为颜料的漂浮性, 这样的金属片叫做浮型颜料。浮型颜料的特点是金属片会在油墨表面形成厚厚的颜料层, 表现出优异的金属效果。但同时浮型颜料的再涂性不足也较为明显, 由于表面张力低, 颜料被树脂包裹不充分, 油墨的附着力下降, 导致油墨不耐刮擦。浮型颜料另一个不足之处是油墨中的其它色浆会被浮在表面的金属颜料遮盖, 导致金属油墨配色困难。

非浮颜料使用极性强的润滑剂, 金属颜料表面的极性比浮型颜料强, 表现出更好的润湿能力。颜料可以在油墨中均匀分布, 同时上文提及的浮型颜料的缺陷通过这样的研磨技术得到克服。但金属效果和反射能力则略有下降。油墨体系里溶剂、连接料、助剂等其它成分的极性也会影响金属颜料表面极性。通过助剂的选择, 有些油墨可以得到比较平衡的效果。了解金属颜料表面极性的规律对理解油墨表现的各种性能, 节约试验时间大有帮助, 同时也对设计综合性能平衡优化的配方提供帮助。

浮型	Leafing	Non-Leafing	非浮型
颜料润湿性一般 表面定向排列 优秀金属效果 耐刮性一般 层间附着力一般	➢ Fair wetting of pigments ➢ Surface orientation ➢ Excellent metallic effect ➢ Fair rub resistant ➢ Fair <u>intercoat</u> adhesion	➢ Excellent wetting of pigments ➢ Orientation within the varnish ➢ Good metallic effect ➢ Good abrasion-proof coating ➢ Excellent <u>intercoat</u> adhesion ➢ Ideal for tinting	优秀颜料润湿性 墨层中定向 良好金属效果 良好耐刮性 优秀层间附着力 方便配色

图 12: 浮型 (非极性) 与非浮型 (极性) 颜料特性对比

3.2 金属效果颜料的使用和分散

理解了金属颜料粒径分布、形状和厚度之后，就会产生一个疑问，怎样才能能在配墨时正确使用颜料。我们的目标是让颜料粒子得到充分的分散，并被连接料完美地包覆。如果颜料粒子间没有充分分散，就会发现制成的油墨中有粒子的聚集，产生许多诸如外观或性能方面的缺陷。图 13 是两个印刷墨层的截面图，左边的图像可见分散充分的颜料粒子，右边图可见颜料粒子在墨层中聚结。颜料聚结直接导致需要提高油墨颜料量，才能得到足够的遮盖力和金属光泽。这样提高颜料量不仅增加油墨成本，同时由于在聚结体间没有连接料，油墨干燥后连接料形成的网状差，导致连接料复合能力不佳。

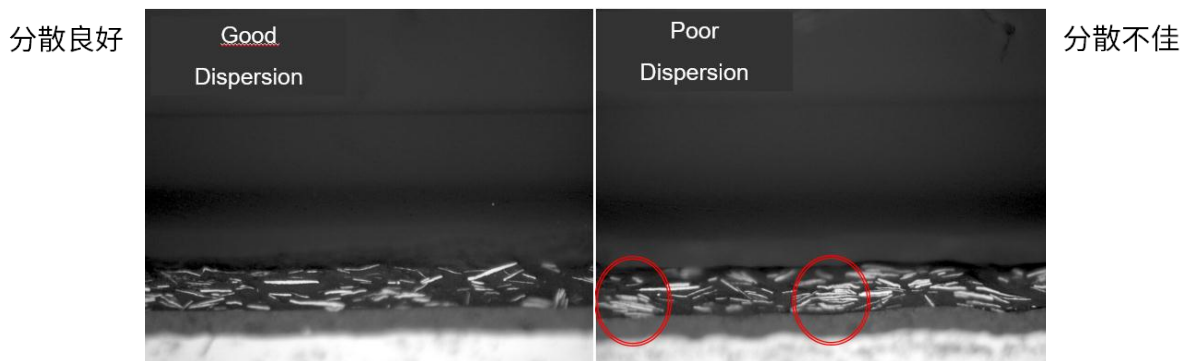
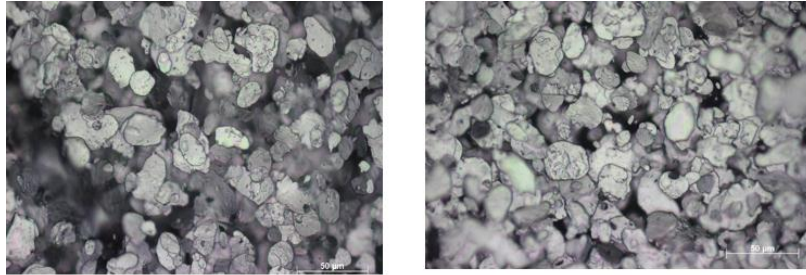


图 13: 印刷金属颜料的涂布基材横截面图，右图红色圆圈部分发生颜料的堆积 © ECKART

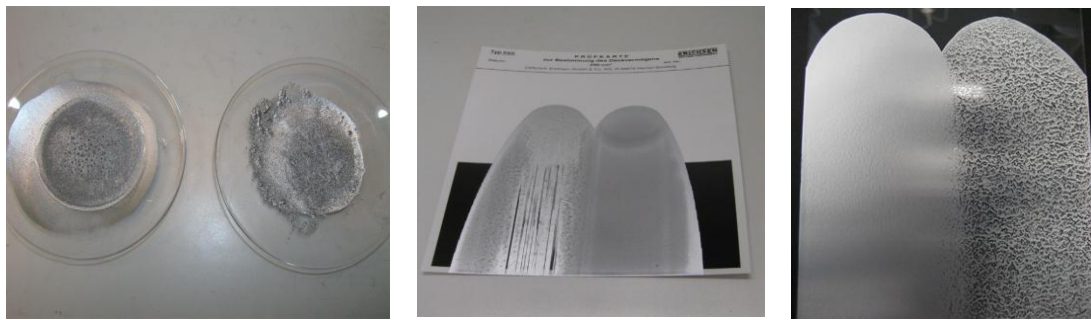
还有一个缺陷发生在印刷过程中，颜料聚结团若夹在刮刀和网穴间，印刷品易出现拉条。而且如果刮刀的剪切打碎了颜料聚结团，会导致印刷色相前后不一致。刮刀角度小，更容易将颜料剪切打碎



分散不佳 Poor Dispersion Good Dispersion 分散良好

图 14: 不同分散效果的颜料 © ECKART

图 14 是分散程度不同的颜料的显微镜照片。图片显示出分散不好的颜料有许多没有颜料覆盖的黑色部分，而分散好的颜料形成均一分布墨层。颜料分散的结果可以在实验室用刮样或倒在玻璃皿表面观察的方法快速地判断。



A) 分散效果左好右差 B) 分散效果左差右好 C) 分散效果左好右差

图 15: 实验或生产中检查分散效果的快速方法: A) 溶剂稀释后倒在玻璃片上 B) 刮样 C) 在玻璃片上观察 © ECKART

最后需要指出的是要想得到理想的分散，使用充分的剪切非常重要。但另一方面，剪切力太大，分散设备不恰当，高速及过长时间搅拌也会破坏颜料的外形。铝和铜都是有一定延展性的金属，过度的剪切会使颜料片扭曲或粉碎，导致颜料外观变灰，遮盖力加大。第二章我们讲过，小粒子会导致外观变灰，颜料边缘的扭曲会使不规则的光线反射面积增大。

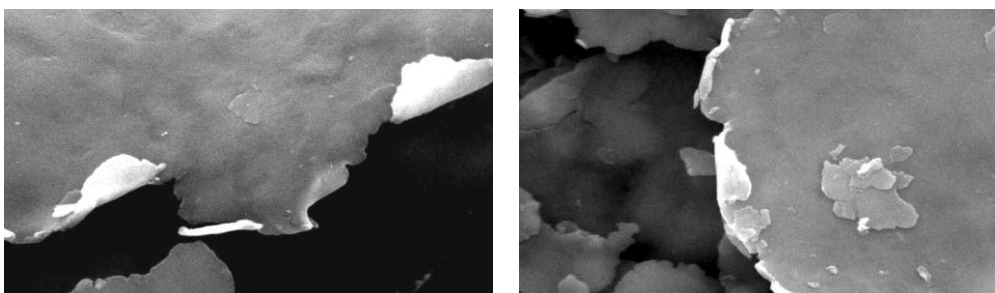


图 16: 搅拌过程中高剪切力对铝颜料的影响 © ECKART

图 16 显示了在非常强的搅拌下剪切力对效果颜料的影响。生产过程中剪切程度主要由搅拌盘和搅拌缸的尺寸、形状以及搅拌速度与时间决定，生产过程选择适当的参数对取得好的分散结果影响很大。另一点需要考虑的是工艺参数从实验室放大到车间生产时的调整。由于实际生产量远大于实验室，需要的剪切也要相应提高。从实验室放大到车间生产，周详的规划是取得高品质分散效果的必要步骤。

图 17 是爱卡常用的实验室低剪切分散设备，可以满足大多数铝银浆的分散剪切。有时也需要图18右图中的高剪切转盘，但需小心平衡搅拌速度和时间。



图 17: 爱卡实验室常用的搅拌头

从各种形式的金属颜料，如浆、条、粉或无尘粉制备分散液，在分散前需要良好的润湿。因此推荐（但不总是必须）用分散介质如溶剂提前浸泡颜料粉、条，甚至包括浆。

条: 溶剂浸泡可以帮助颜料条中的载体溶解，然后开始低速搅拌，再提高搅拌速度，平衡搅拌时间，得到充分分散的液体

无尘粉: 低速分散后，提高到适当速度

粉: 浸泡得到充分润湿的颜料，开始用低速分散，然后加快速度，注意平衡搅拌时间

浆: 低速开始，再提高到适当速度

将溶剂与颜料混合物加到少量连接料（或反之）中，混合均匀后提高搅拌速度，彻底分散可能的聚结的团块。接着在中速搅拌下加入配方中剩余的溶剂、助剂等。与加入配方所有成分后才开始分散颜料相比，在少量溶剂和连接料混合物中分散颜料的效果较好。原因是混合物中黏度较高，加大了剪切分散颜料的效果，反之，则需要更强力的设备及长时间高速分散。在分散过程中流体摩擦产生的剪切力对分散效果非常有益，免去了使用更强的设备和高速分散时间带来的颜料变形的隐患。



图 18: 爱卡生产常用搅拌机，低剪切蝶式混合机 (1), 和齿形转盘 (2)

齿状的分散盘在油墨生产时常用于需要高剪切的颜料分散润湿，与之对比，金属效果颜料不能打碎或变形，但聚结团要打开。爱卡只用齿状盘分散美特亮 PVD 颜料，美特亮具有铝箔形状，延展性好，可以使用较强的分散设备。

3.2.1 颜料分散应用举例

以下是一个典型的美特亮油墨的生产过程：

齿状搅拌盘直径： 0.5 x 分散缸直径

1. 250 转速下 50% 连接料加少量溶剂，与颜料混合
2. 分散均匀后将转速提高到 450-500 转/分钟，搅拌 10-30 分钟
3. 检验分散效果，见图 15
4. 加入配方中剩余的材料
5. 450 转分散 10 分钟，得到均匀分散液体

3.3 其它特殊效果颜料

3.3.1 SYMIC 云母片和 LUXAN 珠光粉的分散

3.2 章解释了为满足金属油墨的成本和外观需求，金属颜料无论生产，分散还是应用时都要保持片状结构，因此与普通无机颜料如氧化铁有很大区别。除了金属颜料外，另一类片状结构的颜料是云母和玻璃粉。云母是天然或合成的层状硅矿物，玻璃则既薄又硬。图 19 是爱卡多彩闪烁的 SYMIC 及 LUXAN 的原材料的显微镜照片。图中可以看出与前文介绍的铝颜料一样，分散时强大的搅拌和剪切同样是对这类颜料的挑战。与铝颜料相比，这类颜料没有柔韧性，更易发生弯折和粉碎。遇到强剪切，云

母的层状结构会被粉碎破坏，玻璃粉则会破碎。因此分散时推荐更温和的设备，如蝶式分散机。

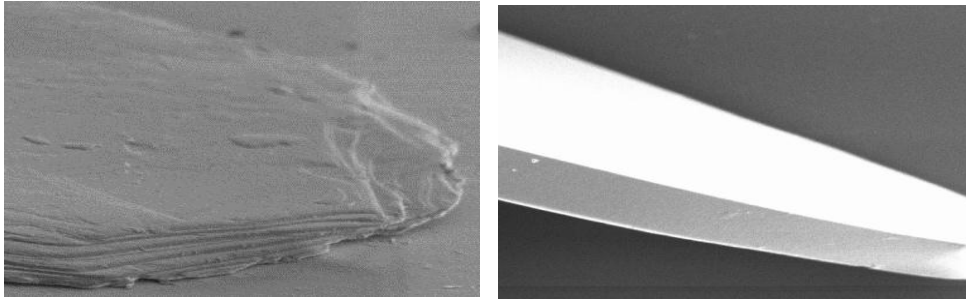


图 19: 云母 (左) 与玻璃片 (右) 显微镜照片 © ECKART

破坏或打碎云母与玻璃粉的层状结构，并不会提高涂层遮盖力，这一点与铝颜料不同。云母片和玻璃粉结构的破坏，使油墨看起来发雾，这是由于细碎部分发生无规则的光漫射。此时颜料碎片的作用与碳酸钠、碳酸钙等无机填料类似。云母和玻璃粉颜料颜色是由层次分明的二氧化钛包裹结构产生的 (图20)。二氧化钛层被破坏，颜色也相应损失。而通常的着色剂，颜色产生于光线在不同折射率层间的吸收和穿透。

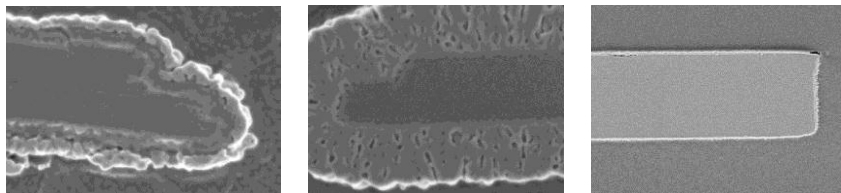


图 20: 二氧化钛包覆的颜料横截面显微镜图，天然云母(左), 合成云母 (中), 玻璃片 (右) © ECKART

3.3.2 剪切与颜料的表面改性

上文主要涉及了溶剂型油墨所用的金属颜料。颜料在润滑剂和溶剂中研磨，组成相对简单。现在为减少排放保护环境，政府颁布了系列控制挥发性有机成分(VOC)法规。相应的其它化学方式与干燥固化技术迅速发展，如能量固化技术 (UV-, LED-, 电子束-, 低能 UV-) 及水性应用蓬勃发展，驱动各公司发展新产品适应新的技术和设备。大家必须知道水性油墨中金属铝颜料可能与水发生化学反应，释放出氢气。

在能量固化油墨配方中，如果金属颜料没有经过表面处理改性，铝，铜合金会促进单体与低聚物的聚合胶化，缩短了油墨的保质期。颜料的表面处理就是在铝表面增加保护层，阻隔铝颜料与配方中的活性成分。通常铝颜料的保护采用两种技术：助剂改性和硅包覆。

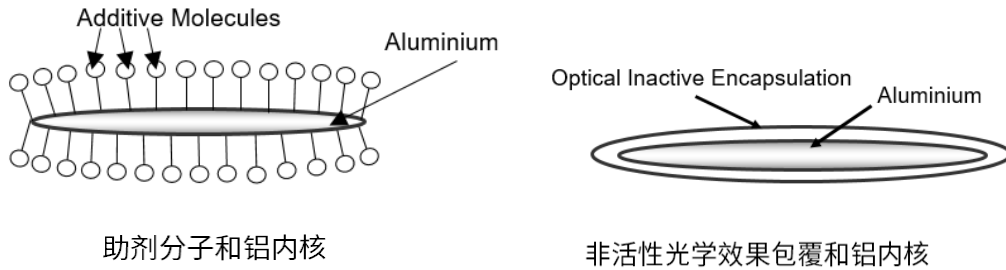


图 21: 表面改性技术在颜料与油墨介质间形成阻隔层: 助剂改性 (左), 硅包覆 (右)

为了用助剂封闭铝颜料表面, 需选用与铝表面有高反应活性, 并能固定在铝表面的成分。这些助剂可以是小分子或部分交联的大分子, 它们键合在铝颜料表面, 排斥水对颜料表面的侵蚀, 在能量固化体系阻止铝颜料表面的金属离子引发链式反应。硅表面包覆能起到很好的阻隔作用, 其中硅烷发生溶胶-凝胶反应, 在颜料表面生成了一个理想的硅交联保护层。这层保护可以有效阻隔油墨中活性成分与铝的反应。

在显微镜下, 助剂处理的表面层无法观察到, 但硅包覆层可以清晰地显示出来。图 22 显示了一个硅包覆铝颜料的横截面, 完美的包覆层表明颜料与油墨中的其它成分的反应被阻隔了。

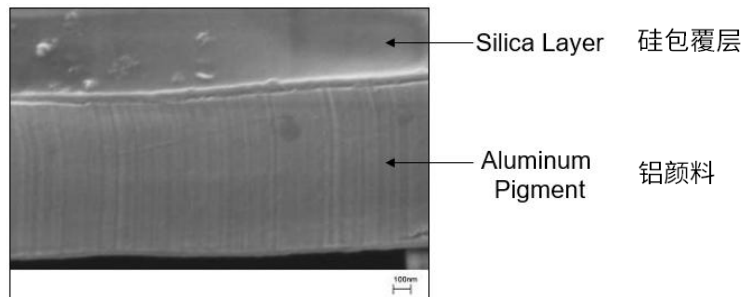


图 22: 包覆铝颜料剖面图, 硅保护层在颜料层上方 © ECKART

生产 UV 油墨的厂家都非常熟悉油墨胶化, 未稳定处理的铝颜料用于水性墨中非常危险。铝与水反应不仅释放出高度易燃的氢气, 同时油墨罐内产生的高压容易在仓储中造成冲罐或爆炸。



图 23: 库存油墨桶由于氢气压力发生胀桶

使用特殊助剂处理或硅包覆技术，可以避免含铝颜料水性油墨产生氢气的危险。要想得到稳定的水性油墨或 UV 油墨，铝颜料的分散同样重要。高强度机械剪切造成颜料的扭曲破碎，会使颜料因此形成无保护的断面。这样的设备不仅如 3.2 介绍的带来光学性能的损失，而且破坏了颜料的表面保护，如图 16 所示。

为确保油墨的安全操作，爱卡使用以下方法测试油墨产生氢气水平。这个方法非常接近实际，重复性很强，几十年前就被用于质量控制。

设备安装如图 24：在洗气瓶上安装一个包括上下两个气腔，中间通过导管相连的玻璃装置。上腔顶部有一个开口塞。如果有氢气从油墨中释放出来，产生的压力将液体从下腔推到上腔，然后对上腔液面变化的衡量来表征油墨的发气程度。

发气实验程序：

300 ml 含铝颜料的水性油墨加入到洗气瓶，40°C 水浴 2 小时。在恒温阶段，打开红色螺旋帽，释放升温阶段产生的压力，不影响液面变化。重新拧紧螺旋帽，在此温度下保持 30 天，期间用毫米为单位记录上腔液面变化。（在爱卡网站上可以看到测试全部过程，www.eckart.net）

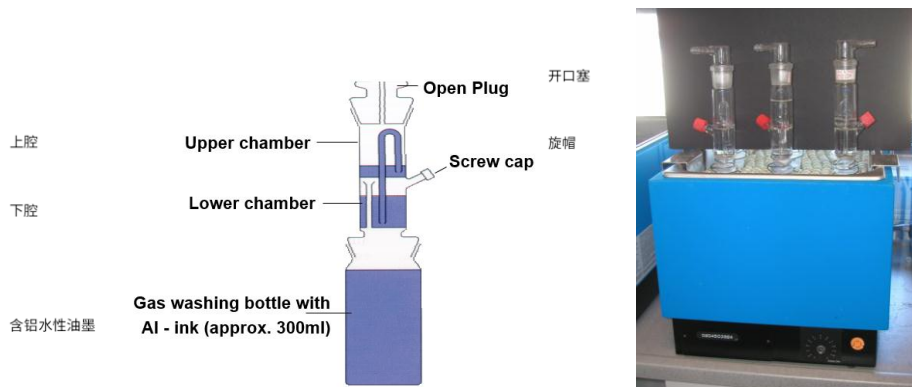


图 24: 评价水性颜料和油墨稳定性的发气实验 © ECKART

30天后，如果这一期间生成氢气的体积没有超过设定的限值，测试的颜料浆或油墨通过检验。测试要在恒温 40°C 下进行，避免温度变化对压力产生影响。

用测得的数值作图，可以看出测试期间的发气程度。图 25 是未处理的颜料与硅包覆颜料的发气对比。可以清晰看到，未处理的颜料短时间内发气迅速，硅包覆的颜料开始时有少量发气，但直至结束，发气水平一直停留在较低水平。

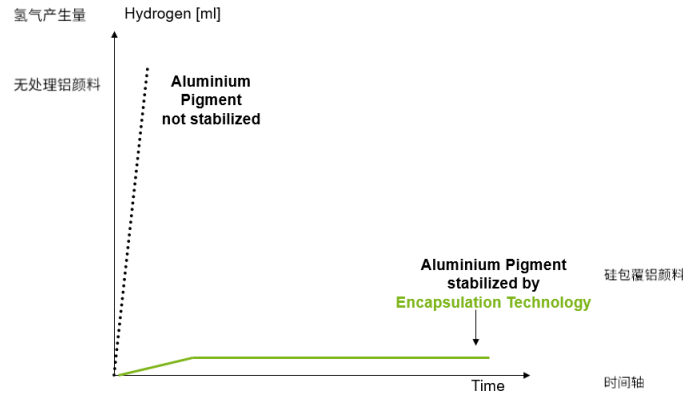


图 25: 根据氢气产生量评估比较非稳定与包覆型铝颜料

3.3.3 印刷中的剪切

全面深入研究金属颜料受到的剪切作用，就会发现，印刷过程同样存在对金属颜料的剪切。

使用油墨首先要进行搅拌，这一过程通常产生低速低剪切。柔印和凹印的加墨调试过程很少发生剪切问题。通常泵墨过程的剪切可能破坏片状结构金属颜料。连续使用金属油墨一般推荐蠕动泵。其它泵也可以考虑，但要注意传动距离要短。在长距离管道传输或从低处向高处传输需要增加管内的压力，会使泵的剪切增大。因此推荐使用短的输墨管道。印刷过程中刮刀处的剪切最大，特别是高速印刷。金属效果颜料可以印到 200 m/min 或更大的速度 (如凹印)，颜料在这个过程中可能损坏。有几个因素可以改变颜料的片状结构：刮刀角度、刮刀压力和油墨对印版表面润滑。颜料损伤可能使印刷颜色向灰色漂移。调整印刷参数和刮刀角度可以解决这个问题。

3.4 印刷基材的选择

如果我们设计好了油墨配方，金属颜料可以充分排列，油墨的性能可以平衡而颜料表面没有损坏，接下来就要选择合适的印刷基材。我们的目标是如图 11 的颜料的充分排列，选择合适的基材也甚为重要。图 26 是不同纸张的显微镜照片。左图中原纸非常粗糙，印刷时油墨会沿纸张内部的结构流动，金属层也相应如此排列。结果是金属墨层顺着纸张表面结构无规则地反射入射光。结果必然是由于金属层没有固定的反射角而令涂层显灰。图 26 人眼观察的结论是左侧的纸基金属效果差，右侧涂布纸上的金属感较强。平滑的纸张有益于金属效果的形成，此时光线可沿相同方向反射，而不是像在粗糙表面发生的无规则分散。印刷油墨前涂布底涂形成一个平滑表面有类似的效果。如果底涂可以有效地遮盖纸张的粗糙，金属效果明显得到改善。

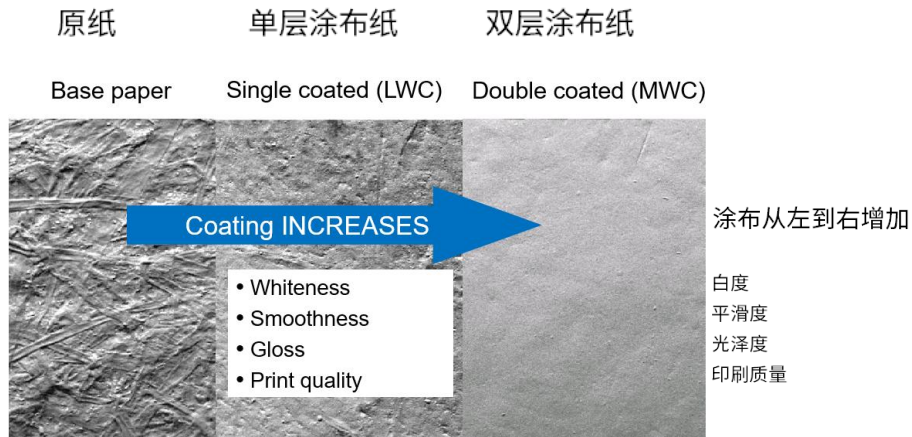


图 26: 原纸与涂布纸表面的显微镜照片 © SAPPI

在粗糙表面印刷金属油墨的另外一个缺陷就是纸张的吸附作用。也就是说，通过烘箱或 UV 灯前，印刷油墨会渗透到纸张的纤维之间。对纸张的纤维孔来说，金属颜料粒径偏大，纸张像滤纸一样，金属颜料浓缩在纸张表面。这导致颜料与连接料部分分离，之间的比例发生改变，油墨表现出的附着力、耐磨性及再涂性下降，着色油墨颜色丢失。图 27 说明了这一变化的机理。

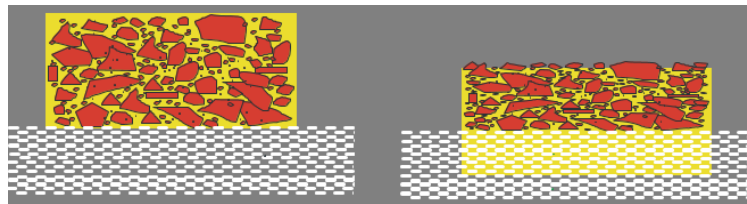


图 27: 金属油墨印刷在吸收性纸张表面示意图，左图为吸收前，右图为吸收后

如图 27 所示油墨渗透吸附进入纸张，表面是非液相成分的浓缩区，油墨干燥后，表面连接料比例太低，不足以包覆颜料，导致许多印刷缺陷。

以下实验可以形象显示基材对金属油墨的影响：

- 配制纸张凹印溶剂型银墨 A，加入黄色浆的溶剂银墨 B
- 准备 4 种不同质量的纸张
 - 湿胶标签纸
 - 不干胶涂布纸
 - 纸箱纸板
 - 软包装填充涂布纸
- 4 种基材使用相同的机器印刷
- 制两块版，线数分别为 70 l/cm (版 1) 和 100 l/cm (版 2)
- 4 种纸上用版 1 印刷油墨 A

- 4 种纸上用版 2 印刷油墨 A
- 4 种纸上用版 1 印刷油墨 B
- 4 种纸上用版 2 印刷油墨 B
- 油墨满版印刷
- 不使用底涂
- 所有印刷参数保持一致 (如印刷速度和印刷米数)

试验结束后比较印刷结果：

- 版 1 与版 2 间几乎没有差异
- 光泽测量结果差异较大
- 光泽数值依次递减，
湿胶标签纸 > 涂布标签纸 > 纸箱纸 > 填充涂布纸
- 黄墨色强度变化明显

图 28 显示了以上试验结果。由于两个版间印刷差异较小，只显示了版 1 的结果。图中不仅显示油墨的光泽差异，同时也可看出银墨暗度变化明显。对黄色油墨 B 来说，颜色的强度结果是：标签纸与纸箱纸较强，涂布标签纸与填充涂布纸较弱。图 27 解释了这一实验结果。油墨印刷在纸张表面，被纸张吸收。纸张像滤纸一样，连接料与黄色料很容易渗透，而铝颜料留在表面，因此印刷在涂布标签纸与填充纸的黄墨，颜色强度明显下降了。

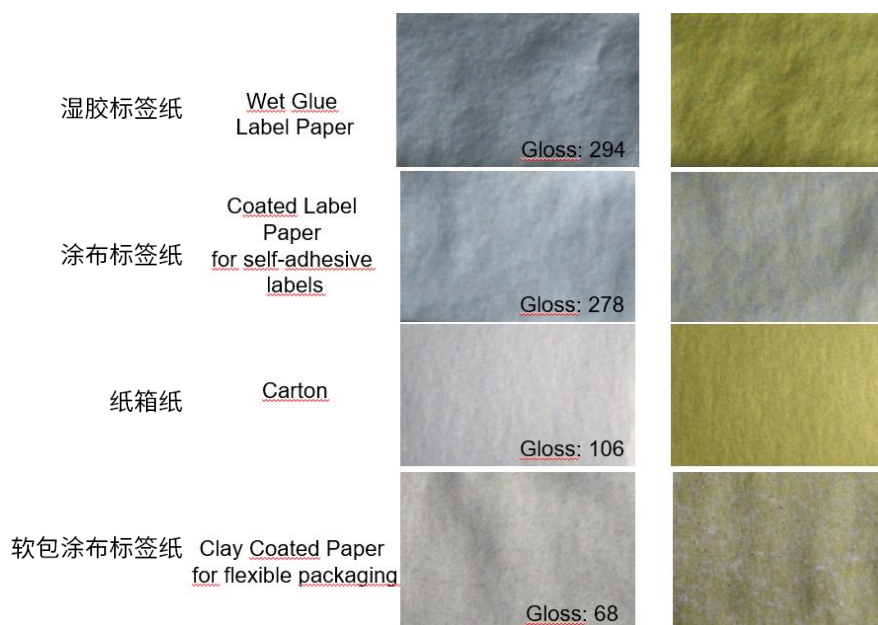


图 28: 四类纸印刷实验结果，油墨 A(左)，黄色银墨 B(右)，只用印版 1

在以黄墨印刷的涂布填充纸的表面可以清晰看见黄和银的网点，这是纸张填充产生的。纸张内的填充料没能完全填充整个表面，因此纸张对油墨的吸收并不均匀。这种情况下，油墨的上墨量对颜色的影响较大，用版1和版2，差别明显。用 70 l/cm 版线的上墨量，纸张表现的吸收效果没有上墨量小的时候 (100) 明显。图 29 可以明显地看出纸张印刷不均匀。纸张吸收油墨开始非常迅速，到一定程度后吸墨速度下降，直至油墨干燥。可以推论出用上墨量大的印版 (如 < 70 l/cm) 会减少印刷不匀，或者增加油墨黏度，也可以减少油墨的吸附速度。这种现象在非涂布纸张或把非印刷面当成印刷面时很常见。

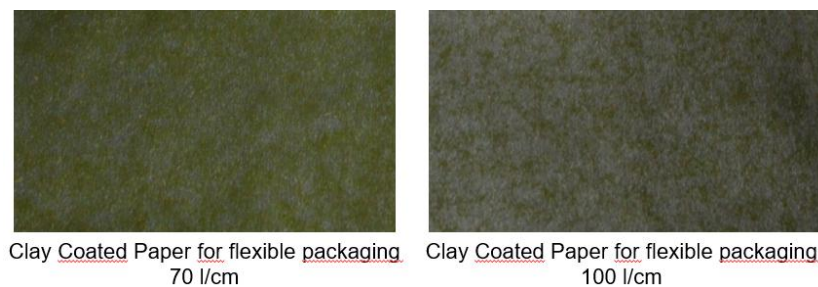


图 29: 涂布填充纸的印刷效果，版 1 和版 2

印刷薄膜时也要考虑基材的变化。薄膜既有化学成分的差异，也有生产过程决定的质量差异。薄膜基材中的聚合物有形成微晶的倾向，这会影响印刷结果。此外，薄膜的生产过程如拉伸工艺会改变薄膜的表面结构，因而影响印刷结果。

选择以下步骤进行试验：

- 配制一个用于薄膜的凹版溶剂型镜面油墨 A
- 准备四种薄膜打样
 - PET (聚酯)
 - OPP (聚丙烯酸酯)
 - PVC (聚氯乙烯)
 - PE (聚乙烯)
- 所有的薄膜使用相同印刷机
- 激光雕刻版 70 l/cm (版 1)
- 用版 1 完成油墨 A 在 4 类膜上的印刷
- 印刷工艺为里印
- 在反面测量光泽，光泽包括薄膜的反射
- 以一枚硬币在印样上镜像的鲜映度来评价印刷的镜面效果
- 避开反射光拍摄，印样越黑镜面效果越好，鲜映度越出色

- 没有使用底涂
- 所有印刷参数一致 (如印刷速度, 印刷米数)

总结试验结果:

- 光泽用 BYK MicroGloss® 测量, 不同印刷膜测量光泽, 变化较大
- 光泽数值 PET > PVC > OPP > PE
- 鲜映度 PET > OPP > PVC > PE



图 30: 银墨 A 以版 1 在不同薄膜上的印样比较

虽然用光泽测量来表征效果这个方法还存在局限性, 但这个评价产品视觉效果的方法比较接近消费者的视角。与人眼观察的结果有一个差异的地方是 PVC 膜光泽的测定值比 OPP 高, 也许这是由于 PVC 膜经过拉伸所致。图 30 可见拉伸的痕迹。

3.5 油墨干燥固化过程中颜料的排列

在探讨了颜料的分散、高剪切的危害以及印刷基材的选择之后, 下一部分我们进入连接料组成及固化机理对印刷成品金属效果外观的影响。使用溶剂、水性和 UV 固化油墨, 可以观察到溶剂型油墨的金属效果最好, 其次是 UV 固化油墨。用水性油墨表现极强的金属效果具有非常大的挑战性。油墨的干燥固化机理可以帮助我们理解金属效果对油墨连接料化学的依赖。请注意, 谈论金属效果的宗旨都要回归到颜料的定向排列。

3.5.1 溶剂型油墨

溶剂型油墨中包含相当数量的溶剂、助剂及一类或几类树脂如 PU、EC、NC 或聚丙烯酸酯。油墨的制作如 3.2 章介绍，配方调整颜料树脂比例至所要求的外观与性能，表 1 列出常见比例与效果。

颜料类型	效果	颜料含量典型值	连接料含量典型值
美特亮 (PVD)	镜面效果	4-7%	6-10%
薄元型	一般镜面	7-11%	10-15%
银元型	高闪亮	8-10%	9-14%
玉米片型	闪亮	8-10%	9-14%

表 1: 含不同类型颜料油墨的典型配比

印刷黏度通常为：凹印 13-15s DIN 4 cup (19-21s Zahn 2 cup) ，柔印 23-30s DIN 4 cup (35-40s Zahn 2 cup)。印刷能达到的最快速度由印刷类型、印刷条件、基材及印版决定。对于凹版印刷，高速度能提高油墨的金属效果。这是由于墨滴从网穴转移迅速，过程中网版旋转的离心力有益于金属颜料在基材表面的排列。

采用薄元型、PVD、银元型和玉米片型颜料的凹版印刷，可参考的制版参数：

透明膜里印:

线数: 70 lines/cm (180 lines/inch)

网穴直径: 165 μm

开口角: 120°-130°

如果要求非常高的金属效果，可使用线数 60 lines/cm (150 lines/inch) 的印版，网穴深度适当调整。印刷遮盖力较高的细颜料时，可改用 80-100 lines/cm (200-250 lines/inch) 的印版。

薄膜表印:

线数: 100 lines/cm (250 lines/inch)

网穴直径: 117 μm

开口角: 120°-130°

需要提高油墨遮盖力可以考虑用线数 60 – 80 lines/cm 的印版，配合适当版深。印刷层较厚对片状颜料排列不利，金属效果可能会下降。

薄元型、银元型及玉米片型颜料进行柔版印刷，可参考以下网纹辊参数：

根据设计需求，腐蚀或雕刻的网纹辊均可使用。

金属效果要求高，细节精致：

线数 100–200 lines/cm

网穴体积：8–12 cm³/m²

可以增加网穴体积来提高油墨的金属效果或遮盖力，但颜料出现堆积时金属效果反而会下降。

印刷黏度：23–30 s DIN 4 cup (35–45 s Zahn 2 cup)

柔版印刷美特亮 PVD 颜料，可参考以下网纹辊参数：

薄膜里印：

线数：100–140 lines/cm (250–350 l/inch)

网穴体积：10–12 cm³/m² (6.5–7.5 bcm/in²)

薄膜表印：

线数：140–225 lines/cm (350–550 l/inch)

网穴体积：7.5–10 cm³/m² (4.5–6.5 bcm/in²)

基材或设计不同，可以选用不同的网线，切记印刷层太厚会导致金属效果下降。

印刷速度

最大印刷速度是由不同的印刷条件决定的，如基材和网穴体积。当干燥条件充分时，金属颜料可以用 150 m/min (500 ft/min) 或更大的速度印刷。

印刷黏度：25–30 s (DIN 4 cup) 35–40 s (Zahn 2 cup)

理想的印刷黏度同样随印刷参数而改变。

应用在表面平滑基材上的溶剂墨，可能包含超过 70% 的挥发溶剂。在薄膜到达烘箱前，溶剂就开始挥发，薄膜随之慢慢发生收缩。在收缩过程中，没有排布好的颜料在流动中有所调整，最终固化的干膜留在薄膜表面。这层干膜中连接料含量尽量低，只要把颜料固定在聚合物网中，平衡到油墨的基本性能即可。由于连接料含量低，铝颜料层较厚，涂层金属效果较好，遮盖力和颜色均得到优化。

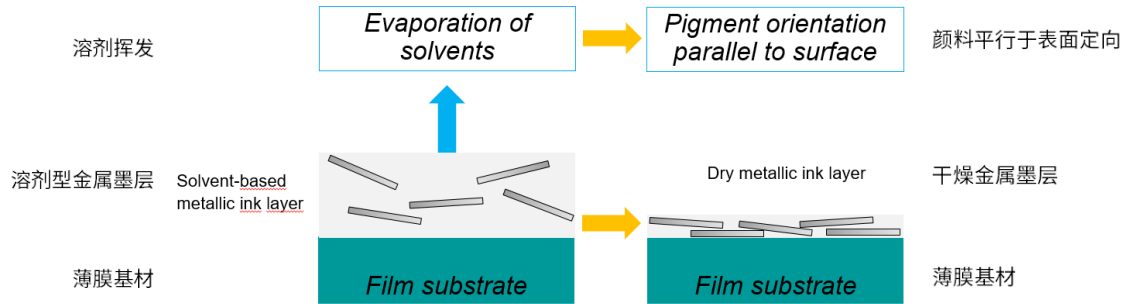


图 31: 溶剂型油墨干燥机理

图 32 示意了印刷在底涂和光油间的溶剂型金属油墨层。为取得好的金属效果，在薄薄的墨层中金属颜料相对浓度较高。与之对应，底涂层很厚，以遮盖纸张表面的坑洼。为避免金属墨层发生溶解，通常使用不同品种的光油，否则很可能破坏金属颜料的定向排列。

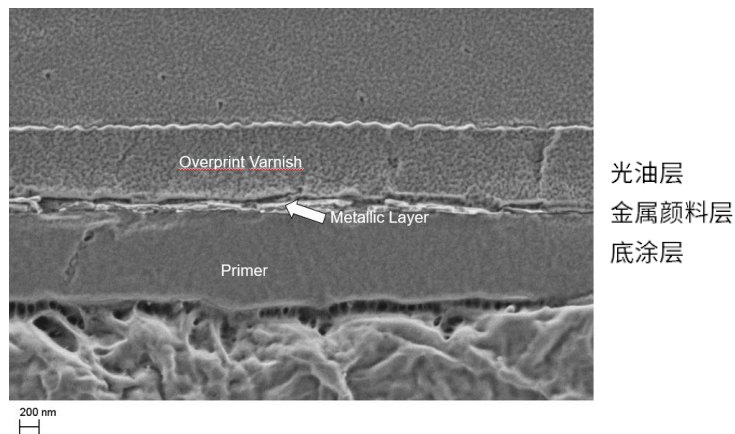


图 32: 印刷底涂，金属油墨和光油的横截面显微镜照片 © ECKART

3.5.2 能量固化油墨

能量固化油墨如电子束、UV、低能 UV 和 LED 油墨配制和生产比较复杂。它们通常称为 100% 成膜。就是说整个油墨层被低能量固化，只有少量助剂带来的 VOC，通常没有明显的溶剂挥发 (有时配方中含少量异丙醇，用于消泡或降低黏度)。低聚物和单体组合需要谨慎搭配，才能得到油墨的固化性能、膜的柔韧性及油墨黏度。

能量固化光源不能太靠近墨腔。金属 UV 油墨的反应活性比普通颜料或光油都高。原因是金属颜料像小镜子一样反光，包括反射 UV 光。印刷表面表现好的金属效果时，颜料往往需要排列成层状结构，这使 UV 光线不易穿透金属层去固化底下的油墨。为了得到彻底固化的膜，含金属颜料的体系需要比四色墨体系活性更高。普通颜料会吸收活性 UV 光，而金属颜料反射光，因此色墨体系的活性可以适当降低。

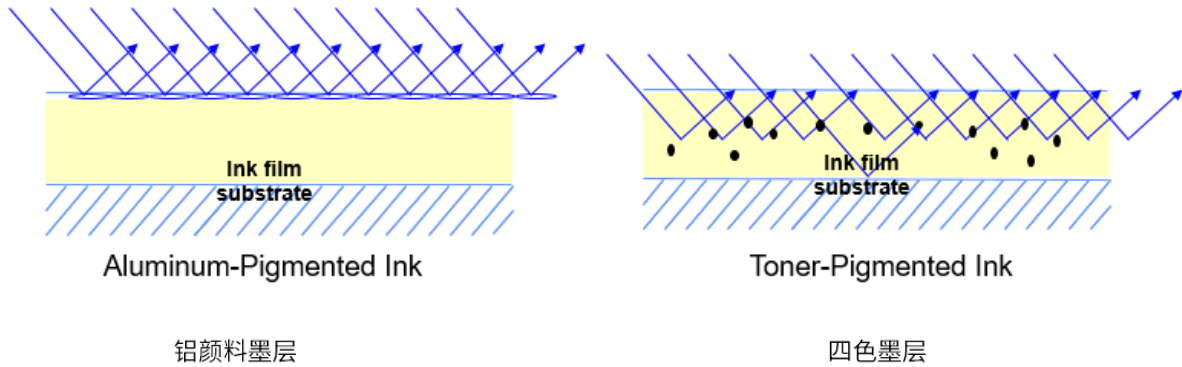


图 33: 金属油墨和色墨的光反射示意图

如果固化油墨的光源能量较低，(如 LED 或 HUV)，油墨体系需要高反应活性的光引发剂，在光源的波长下引发链式聚合反应。

低速或加大墨腔到固化单元的距离，可以给金属颜料更多排列时间，提高油墨金属效果。不建议墨腔里的剩墨与新墨混合后使用，这是由于颜料片的稳定层可能被印刷剪切力破坏，油墨容易在印刷过程中胶化。

能量固化油墨 100% 成分参加固化，干燥过程中没有挥发产生的收缩，这点对颜料定向影响较大。此时，颜料的定向不再遵循收缩机制。如果油墨配方和印刷参数不恰当，连接料的 100% 固化会限制颜料的流动和排列，金属效果仍旧不能充分展示。图 34 是一个 UV 油墨固化的截面图。与图 32 溶剂油墨干燥后的截面相比，墨膜较厚，颜料排布不紧密，排列不够整齐。

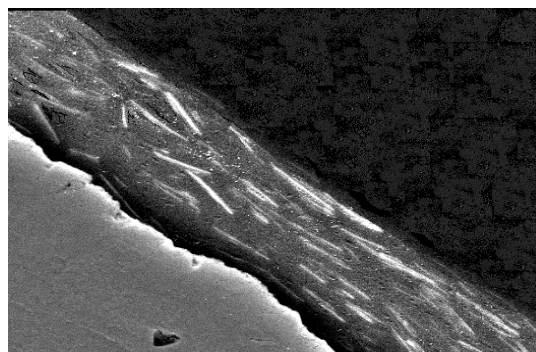


图 34: UV 固化墨层的横截面 © ECKART

固化的 UV 油墨的附着牢度与基材关系紧密。应用吸收性强的基材，连接料容易渗透进入基材内部，表面油墨中颜料、树脂比改变，颜料含量偏多，导致油墨耐磨性下降。这种情况推荐使用底涂。

3.5.3 水性油墨

从很多文献中我们都可以了解到水性油墨的干燥分为三个过程：

1. 水性油墨中含大量悬浮稳定分散的连接料粒子。印刷时，需要大量的能量使水挥发，连接料粒子彼此互相靠拢，悬浮分散状态结束。这个过程中，油墨层的黏度一直增加。
2. 悬浮体系破坏后，干燥进入第二阶段。连接料粒子互相吸引，靠近。
3. 最后，连接料粒子互相穿透形成均匀的膜。

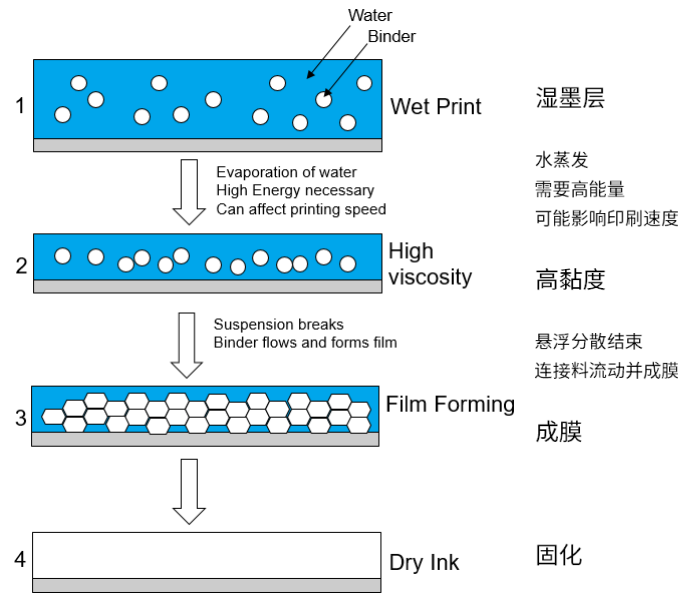


图 35: 水性油墨成膜模型

由于水的沸点高，挥发性差，水性油墨干燥需要比溶剂墨更高的热能。印刷时需要更高的干燥温度，印刷速度相应较低。对比水性墨和溶剂墨的金属效果，需要理解的是水墨是连接料悬浮分散的不均一体系。干燥过程中，水性油墨的极性逐渐变弱，形成的膜收缩程度没有溶剂墨高，对金属颜料定向排列的推动作用变小。而且，干燥过程的黏度变化也不利于金属颜料的定向排列。图 36 是水性金属油墨的截面图。图中可见油墨的膜层较厚，金属颜料的定向排列被连接料粒子和黏度变化阻碍。有趣的是，

图中可以看到独立的连接料粒子，它们并没有互相穿透形成均匀膜。光线照射到连接料粒子边界时，反射分散点增加，膜层更暗。

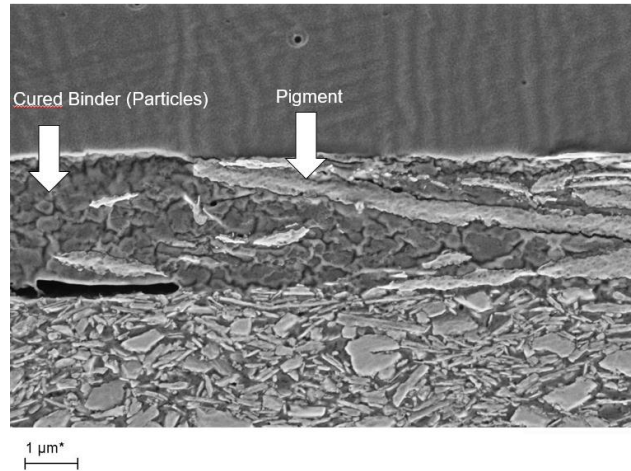


图 36: 干燥的水性金属油墨剖面图

除基材外，另一个影响水性金属墨外观的因素是油墨干燥需要的能量。如果印刷速度过快，或烘箱温度偏低，水性金属油墨不能完全干燥。如果此时表面印刷水性光油，光油墨辊的剪切可能将金属颜料带到光油层，如图 37 所示。图中含美特亮 PVD 颜料的水性油墨没有充分干燥，表面印刷了水性光油。在这一场景下，PVD 颜料被光油拖到光油层，金属颜料发生无规则的反射，造成油墨的金属效果明显下降。

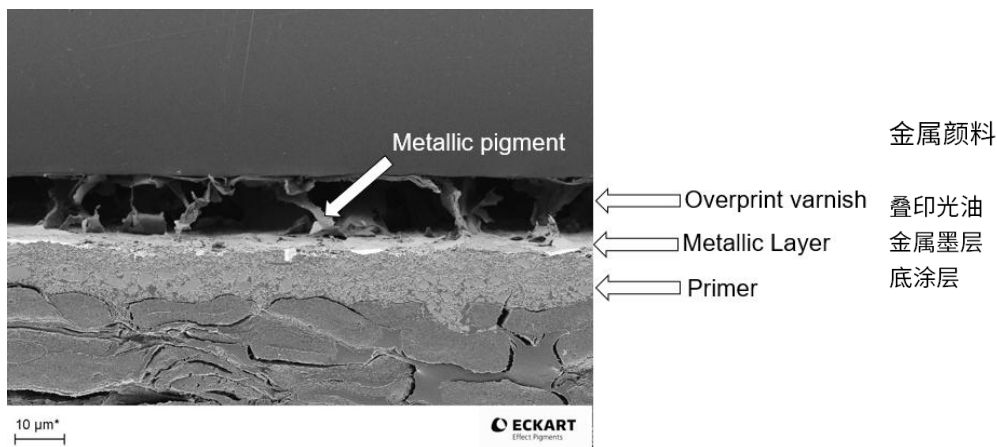


图 37: 含 PVD 颜料的水性油墨层与底涂，光油印刷样截面图，由于油墨干燥不充分，颜料被拖进光油层而发生无序排列

如需更多产品资讯，欢迎访问我们的网站。

如需了解更多可持续性的资讯，欢迎索取《爱卡产品公告 – 金属油墨的食品安全性和可回收性》。

如需了解更多印刷过程的资讯，欢迎索取《爱卡应用问题解决指南》。



ECKART GmbH
Guentersthal 4
91235 Hartenstein, Germany
Tel.: + 49 9152 77-0
Fax: + 49 9152 77-7008
E-Mail: info.eckart@altana.com
www.eckart.net

爱卡(亚洲)有限公司
香港湾仔皇后大道东248号3706-3708室
ECKART Asia Ltd.
Unit 3706-3708, 248 Queen's Road East
Wan Chai, Hong Kong
电话/Tel.: + 852 3102 7200
传真/Fax: + 852 2882 5366
E-Mail: info.eckart.asia@altana.com

上海/Shanghai
电话/Tel.: + (86 21) 5385 5300
传真/Fax: + (86 21) 5306 5220

广州/Guangzhou
电话/Tel.: + (86 20) 8387 8860
传真/Fax: + (86 20) 8384 7584

谨致友好问候
With compliments

台湾/Taiwan
电话/Tel.: + (886 3) 357 0838
传真/Fax: + (886 3) 357 0702

越南/Vietnam – Ho Chi Minh City
电话/Tel.: + (84 28) 3824 3371
传真/Fax: + (84 28) 3824 4918

爱卡特殊效果颜料(珠海)有限公司
中国广东省珠海市
高栏港经济区精细化工区
ECKART Zhuhai Co. Ltd.
Fine Chemical Area
Gaolan Port Economic Zone
Zhuhai, P.R.China
邮政编码/Postal Code : 519050

本手册所提供的数据、本公司在应用技术方面的建议以及所涉及的第三方权益,无论是口述、书面或通过试验的,均真实无伪,但并不包含我们的任何保证或担保。我们的建议,并不能免除用户在使用和处理我们的产品时,对其适用性,以及对对我们提供的数据,特别是安全数据和技术信息进行验证的义务。任何对我们产品的施工应用、使用和处理,以及用户任何依据我们的技术建议所生产的产品,由于不受我们控制,因此均为用户责任。

This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility.