

硅烷化系列

技术简介

- 硅烷化是一种不锈钢表面钝化技术。简单地说，就是在不锈钢的表面涂覆一层纳米级钝化玻璃材料（图 1），使表面从金属转为非金属，从而满足某些特殊领域的应用要求。对挥发性有机物（VOCs）而言，硅烷化能有效地减少不锈钢表面对 VOCs 的吸附和催化作用，使分析精准。因此在 VOCs 监测中，美国 EPA 和中国生环部都推荐使用经硅烷化处理的采样和分析器材和设备，比如苏码罐、限流阀、吸附采样管、及各种仪器设备（比如预浓缩仪、稀释仪等）中使用的不锈钢管材、接头和阀门等等。
- 硅烷化技术源于世界知名的色谱配件生产商 Restek 公司。1987 年，位于美国宾夕法尼亚州的 Restek 公司，在寻找具玻璃材料性能的金属材料过程中，发明了 Siltek® 硅烷化技术，并用它来处理分析仪器中的各种金属配件。后来经过多年的发展，这一技术逐渐成熟，被广泛应用于仪器管线、大小阀门、活塞、容器、大气采样罐（苏码罐）、高压采样瓶等产品的制造和处理，涉及色谱分析、环境监测、汽车配件、石油炼化、航空、半导体和医疗器械等领域。90 年代初，位于美国加州的 Entech 公司研发了 Silonite™ 硅烷化技术。该技术虽然名字和 Restek 的有所不同，但本质上大同小异，属同一类型。由于受 Restek 公司专利的限制，Entech 公司的硅烷化没有专利权，只有商标，只能用于 Entech 公司自身的产品，不提供第三方部件的硅烷化服务。
- 硅烷化的惰性层，不是简单的物理涂覆或蒸镀，而是通过化学气相沉积（Chemical Vapor Deposition）实现化学键合。在高真空环境下，使用含有薄膜元素的几种气相化合物，在不锈钢衬底表面上进行化学反应生成纳米级薄膜。



图 1 不锈钢表面的硅烷化钝化层

硅烷化钝化层特点及功能

- 非金属性和化学惰性。惰硅层的主要化学成分为类玻璃的硅氧材质。对于金属工件，镀膜过程改变了工件表面化学性质，使其表面由金属元素为主变为非金属元素为主。例如，在气体采样罐（苏码罐）中，未经镀膜处理的不锈钢表面，主要由铁、镍、铬等金属及其氧化物组成。而这些金属原子，对有机物的分解和转化具有催化作用，因而会影响罐体中有机物的稳定性。镀膜后，非金属惰硅层覆盖整个罐体内表面，隔离了不锈钢罐体的金属表面与气样中有机物的直接接触，从而大大增加了气样的稳定性。
- 耐酸性。惰硅层具有很强的耐酸腐蚀性。初步测试表明，316L 的不锈钢工件，镀膜后与镀膜前相比，在 6M 的盐酸中被腐蚀的速度可减慢 20 到 50 倍。
- 不易脱落性。惰硅层镀膜直接以化学键合的方式沉积在工件表面，膜层致密，和基体结合牢固，厚度为纳米级，一般在 40 ~ 150 nm 之间。这样薄度可保证工件（如不锈钢管）在弯折时镀膜不会脱落，也不会因为工件热胀冷缩而脱落。
- 覆盖完全性。硅烷化过程采用的是真空气相沉积技术，凡是反应气体能到达的部位，均能生成镀膜。因此，镀膜能覆盖工件的所有表面，包括一些机械喷涂难以实现的部位，比如微细的表面刮痕和工件凹槽处。
- 表面光滑性。微细凹痕处的表面反应面积比光滑处相对要大一些，因此惰硅层能优先沉积于工件的微细凹痕处，从而提高工件表面的光滑度。在显微镜下，可以很好的观察到这一填平效果（图 2）。

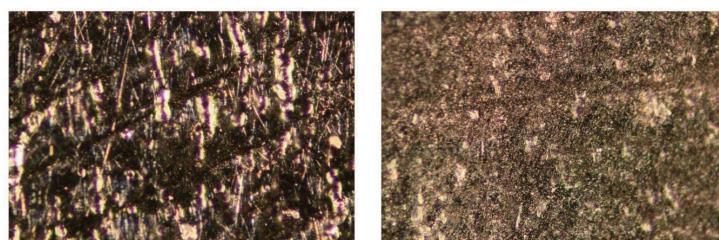


图 2 镀膜前后不锈钢表面光滑度的对比：左图为镀膜前，右图为镀膜后

- 颜色鲜艳性。惰硅层本身无色，但镀膜的覆盖使工件表面有了多层反射光，相互干扰衍射呈现出不同于工件本身的各种鲜艳色彩。镀膜颜色与工件本身材质和镀膜厚度等因素有关。不锈钢材质上，常见镀膜颜色为深蓝色、紫红色、彩虹色、和银白色（图 3）。硅烷化镀膜的颜色与在不锈钢上刷油漆或通过化学着色形成的颜色有着显著不同。刷油漆而成的颜色肉眼看到的是油漆的色彩，无金属光泽。化学着色形成的颜色是金属表面的氧化物的颜色，无透明性，常因其颜色过于鲜艳而失去的不锈钢本身的金属质感底色。而硅烷化镀膜的颜色，是一种独特的半透明状的带强烈金属质感的颜色。另外，镀膜层的颜色由于紧密沉积于底材表面，不会随热胀冷缩或者机械弯折而脱落。



图 3 不锈钢材质上硅烷化镀膜的颜色：从左到右依次为蓝色、紫红色、彩虹色、和银白色

硅烷化钝化工件预处理要求

- 表面洁净。工件表面(包括内表面和外表面)必须经除灰除油处理。工件表面的油污等有机物残留,在镀膜过程中不仅会在金属表面留下色斑,而且会阻碍膜层着床于金属底材,进而影响镀膜粘附力和强度。因此,工件在镀膜前必须经过去污除油处理,将金属加工过程中留下的加工液、润滑液、润滑膏、润滑油、保护油等清除干净。工件清洗完毕,用纯水或去离子水润洗,并及时烘干。
- 表面光滑。光滑的表面不仅仅有利于油污的清除,而且可以让工件表面各处的镀膜层匀速成长,最终获得单一颜色的惰性层。在VOCS的监测中,虽然颜色的均匀性通常不会影响使用效果,但是均匀单一的颜色可以提高工件的美观程度,同时便于观察镀膜在使用过程中受污染的情况。
- 材质均匀。均匀的材质有助于获得单一或渐变的镀膜颜色。若工件的本身材质不均匀,在镀膜过程中各部分的热传导速将有所差异,从而导致镀膜出现杂色,影响工件的外观美感。



硅烷化管线特点

- 硅烷化不锈钢管线具有独特的半透明状带强烈金属质感的颜色,镀膜厚度大于150 nm;
- 管线内外表面均具有非金属性和化学惰性(耐酸碱腐蚀);
- 管线内外所有位置的硅烷化镀层均致密且均匀,首尾颜色一致;
- 镀层和基体结合牢固,在弯折时镀膜不易脱落,也不会因工件热胀冷缩而脱落;
- 硅烷化优先沉积于管线微细凹痕处,从而提高工件表面的光滑度。

硅烷化管线注意事项

- 硅烷化管线有氧环境最高耐温400°C,惰性环境耐温480°C;
- 硅烷化管线避免过度弯折使用:弯曲直径1/16"管控制在4cm,1/8"管在9cm以上。
- 硅烷化管线耐酸碱范围:pH≤10。

型号说明

- 如需硅烷化处理,需在标准型号后加-INSI,例如:SS-U-4-A-INSI。