

氟特加氟碳涂层材料的技术特性

[原理篇]

氟特加氟碳表面改性涂层材料

氟碳材料的突破---不依附其它物质，由氟碳分子独立形成的固体表面耐磨涂层材料；

摩擦领域的突破---国内现有摩擦学理论难于释解的膜层自修补现象，点摩擦和面摩擦的奇特差异性；

极限指标的突破---最薄的膜层厚度、最低的表面能、最高和最低的工作温度、最高的耐磨指数；

油膜影响的突破---奇特的既防漫流、又变膜状凝结为珠状凝结的双重效果；

成膜速度的突破---即刻成膜，10 分钟显效，30 分钟可测；

效果耐久的突破---高速往复、传动机械 1000 小时以上持久存在，制冷系统 10 年有效；

处理工艺的突破---介质处理、冷热处理、气雾处理多种工艺；

应用领域的突破---真空机械、精密仪器仪表、微米模具、航空喷油嘴、密封件等领域一直未能解决的技术难题得以攻克；

市场性质的突破---突破传统抗磨类产品添加剂形象和边缘性市场角色，成为航空航天等诸多高端技术领域必备的、不可替代的专用材料；

服务理念突破---全国性的氟碳技术服务体系，让全球顶尖的、唯一的氟碳浅表涂层技术走向普及化。

[主题词] 氟碳 浅表涂层 耐磨涂层 含氟表面活性剂 表面工程 表面处理工艺

氟特加氟碳涂层技术，是采取物理化学方法在金属、非金属物体表面涂上一层氟碳表面活性物质（ФТОР-ПАВ）的过程。在涂到固体表面时，形成一薄层（4-8 纳米）特殊取向的分子膜，它们可以使材料表面改性，赋予表面以耐磨、抗粘着、耐腐蚀和其他一些特殊的性能，大大提高偶联零件的耐磨性，从而改善机器、机床、工业机器人、橡胶制品、各种工艺设备、金属材料以及切削工具和其他工具的工作动态性能。

氟特加氟碳耐磨涂层材料的化学全称：

全氟聚氧烷基（ $C_nF_{2n+1}O$ ）碳酸或磺酸的氮素衍生物

俄罗斯专利号：2069673、2139902。

一、氟特加氟碳耐磨涂层的基本原理

氟特加氟碳耐磨涂层材料是以氟碳链取代碳氢链作为分子中非极性基团的表面活性材料。其独特性质直接与氟碳链相关，更进一步讲是取决于氟元素的独特性质。

氟元素是电负性最强的元素，它具有高氧化势、高电离能，这种特性一方面造成氟—碳键（F—C）键能高（实际上氟—碳键是已知键能最高的共价键），因而氟碳链结构远比碳氢结构稳定；另一方面氟原子非常难以被极化，使氟碳链极性比碳氢链小。正是因为这种低极性，使氟碳链疏水作用远比碳氢链强烈（其实，低极性不但使氟碳链疏水，而且还疏油——这里油是指碳氢类化合物）；另外，低极性又导致氟碳链相互间作用力弱。这二个因素共同作用使得氟碳表面活性剂分子在水溶液中有比其它表面活性剂分子更加强烈的倾向来脱离水溶液，在液/气界面上定向聚集排列成分子膜，从而使其具有与其它表面活性剂所不同的二种特性：一是在极低应用浓度下便能显著降低水溶液的表面张力；二是极高的表面活性，即可将水溶液表面能降到极低水平（至 2-4 毫牛/米）。

另外，氟特加氟碳涂层材料还具有极高的稳定性。这是因为一方面氟—碳键（F—C）键能高，很难被破坏；另一方面氟原子对碳—碳键（C—C）具有屏蔽效应。氟原子的半径

比氢原子大，可有效地将全氟化的碳—碳键（C—C）屏蔽保护起来，减少碳—碳键（C—C）被破坏的可能，但同时氟原子半径又没有大到足以在氟碳链中引起立体张力的程度，因此使氟碳链更加稳定。这种稳定性具体表现在以下三个方面：

1、**热稳定性高**。进行表面处理，能在-200℃至 450℃条件下不发生分解，瞬时耐温可达 700℃；

2、**化学稳定性好**。可在酸、碱、强氧化介质等特殊应用体系中稳定有效地发挥其表面活性作用，不会与体系发生反应或分解；

3、**相容性好**。高的化学稳定性就意味着高的化学惰性，氟碳涂层材料能与其它各类活性剂很好地相容（并非相溶），并可应用于几乎所有配方体系。

氟特加氟碳涂层材料具有极高的表面活性、热稳定性、化学稳定性和憎油、憎水特性，加上不含任何固体物质，不改变机械的公差，是该产品能应用于空间轨道站的润滑和密封系统的最主要原因。

二、氟特加氟碳耐磨涂层的形成过程和表征

氟特加氟碳涂层材料按标准工艺涂敷到固体表面后，氟碳分子通过氟原子的电负性，与固体表面的自由电子相结合，形成一层 4-8 纳米厚的、牢固的定向分子膜，亦即氟碳涂层，在电子显微镜下可见。固体表面释放的自由电子越多，结合越牢固。所以，在实际应用中，可以观察到如下奇特现象：

——成膜速度极快。采取热处理工艺时，只要在加热过的预处理表面进行涂刷或浸泡，即可成膜。采取介质处理工艺时，在往复式机械中，10 分钟就可以测试出效果。通过四球测试及仿肯姆肯的抗磨演示仪测试，随时可检测出明显效果。

——摩擦的过程是氟碳分子进一步均匀分布和氟碳涂层加固的过程。经过处理的固体表面，在与另一个固体摩擦副或气、液摩擦过程中，越来越牢固，表现出实际应用效果越来越好。在实践中发现，无论是汽车发动机还是气体压缩机，30 分钟后，氟碳涂层提高气缸（制气）压力的效果可以达到 80-90%；10 小时后，气缸（制气）压力进一步提高，且在多气缸机械里，气缸压力更为均匀；200 小时后，达到非常稳定的状态，并可持续 1000 小时以上。

——氟碳涂层具有快速而稳定的自修复效果。对于因脱脂脱水等预处理不够严格的局部，或受磨损的部位，在摩擦副运动过程中，可以使原来吸附不太好的部位形成牢固的氟碳分子膜，使被破坏的部分重新建立氟碳分子膜。在试验中，对一个摩擦副一部分做氟碳处理，一部分不处理，通过摩擦运行后，未经处理的部位也形成了氟碳涂层。

所以，在进行摩擦实验时，会感受到一种奇特现象：在干摩擦情况下进行点摩擦实验时，会发现在一定的承载力条件下，氟碳涂层可以将摩擦系数降低 70-90%，但经过数百次摩擦后，氟碳膜会被破坏。而进行面摩擦试验时，发现氟碳涂层始终得到了完整地保持。

在技术服务实践中，也曾有部分专业技术人员对氟碳分子快速成膜感到惊讶的同时，担心氟碳涂层会不会像化学反应膜一样，成膜快，消失也快。这种担心是没有必要的。氟特加氟碳涂层材料具有极强的化学惰性，不能与金属、橡胶、塑料、润滑介质以及其它物质发生化学反应，形成的分子膜不是化学反应膜，而是通过分子力学中的极性原理，形成的浅表涂层。它的吸附速度与固体表面的自由电子数量相关，结合强度相当于金属晶格的结合。氟碳分子膜的消失只可能在两种情况下出现：一是工作温度持续超过 450℃；二是随着所附着的基础材料的流失而部分流失。

二、氟特加氟碳耐磨涂层的特点

氟特加氟碳耐磨涂层，除了具有一般含氟表面活性材料的“三高两憎”（高表面活性、高耐热稳定性、高化学惰性、憎水性和憎油性）特点外，还体现出其独特的个性，由此区别

于任何含氟表面活性材料，具有其它产品不可替代的作用：

一是涂层的极端牢固性和屏蔽功能。氟碳分子与固体表面（除纯钛以外）自由电子的结合，具有牢不可破的吸附性，从而对固体表面有着非常好的屏蔽功能。由于氟碳分子的低极性，又导致氟碳链相互间作用力弱，不会形成叠加，在表面形成的定向分子膜始终保持在4-8 纳米的厚度。氟特加氟碳表面改性涂层对固体表面起到以下作用：

提高表面的耐压性——氟碳涂层赋予表面很强的耐压性，单位负荷可达 3000 兆牛/平方毫米。

降低表面能——从 3000~5000 毫牛/米减小到 2~4 毫牛/米，从而避免摩擦过程中的粘着磨损。浙江台州天兴化工有限公司是国内少有的，专业生产用于聚四氟乙烯表面印刷油墨的厂家，在使用氟特加处理应用于原子能反应堆的聚四氟乙烯，该公司生产的聚四氟乙烯专用油墨再也涂敷不上去。这充分说明氟特加氟碳涂层的表面能远远低于聚四氟乙烯。在对上海交大的微复制镍合金微米模具进行处理后，所加工的模压塑料首次得以顺利脱模。

降低表面的摩擦系数——主要原因一是氟碳涂层填补了金属微裂缝，增加了表面光洁度；二是氟碳涂层的表面能极低（为 2~4 毫牛/米）。经处理的物体表面摩擦系数可降低到70-90%。

避免接触表面微裂纹的扩大——主要原因是氟碳活性分子由于渗透性强而充满所有的气孔和微裂缝，驱除其中的水份和气体，这样能有效抑制“氢脆”产生的电化学过程，避免材料的起脆（氢脆）；微气孔和微裂缝失去应力集中的可能性，因而，它们不再是潜在的破坏中心。氟特加的这种效果是纳米级固体颗粒材料所远远不及的，因为它无法进入微裂缝的最底层，而氟特加却可以做到。

提高材料（其中包括聚合物、橡胶等等）表面的致密性——明显降低材料的老化速度。

增强材料抗腐蚀性——抑制润滑油或其他介质作用于物体时的催化活性，以延缓由此导致的分解和聚合过程。

氟特加氟碳活性分子与金属表面发生极强的化学吸附和化学结合。通过电镜观察和 X 光分析表明，金属表面经氟特加氟碳耐磨涂层材料处理后，在摩擦时表面晶格被破坏的程度，明显小于未处理前，由此可以证明氟特加氟碳涂层材料对于提高金属表面抗磨性有很好的效果。

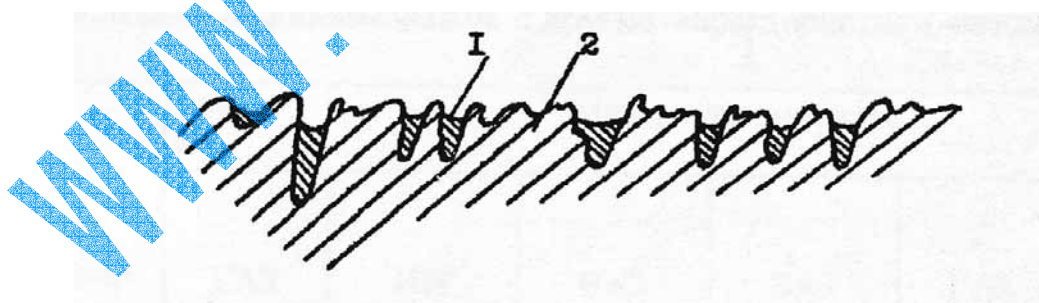


图 1 微孔和微裂缝中充满了氟碳活性分子

1：氟碳活性分子 2：金属表面部分

氟特加氟碳涂层材料成膜的牢固程度是其它任何表面涂层无可比拟的。在机械设备更换润滑介质时，由氟特加氟碳涂层材料形成的保护膜不会随之流失。

二是对润滑油膜的保护功能（防漫流功能）。通常为了降低磨损和稳定摩擦条件，采用不同类别的润滑介质。由于润滑介质有表面漫流的情况，往往造成摩擦部位缺少润滑而导致

磨损。实验表明，机械的磨损约有 2/3 发生在启动时的非完全流体润滑（干摩擦）过程中。为了消除上述现象，人们采用了各种手段，比如热处理法、低温法、物理方法、化学方法等等，但效果并不明显。氟特加氟碳涂层材料是采用物理化学方法对器件表面进行氟碳表面涂层处理，靠化学吸附力固定的分子形成螺线状林穆尔组织，其轴线方向垂直于材料表面，从而很好的保持住润滑介质（图 4），较好地防止了润滑油的漫流，进而避免了干摩擦。我们只要将经氟特加处理过和未经其处理的固体表面涂上一层润滑油，就可见到，在未经处理（包括用其它处理剂处理的）表面的润滑油会迅速漫流，表面不再挂油；而经过氟特加处理过的表面，则始终保持着密密麻麻的油珠。这是其它任何表面处理材料所不可能达到的。正是基于这种特殊功效，氟特加较好地避免了干摩擦。

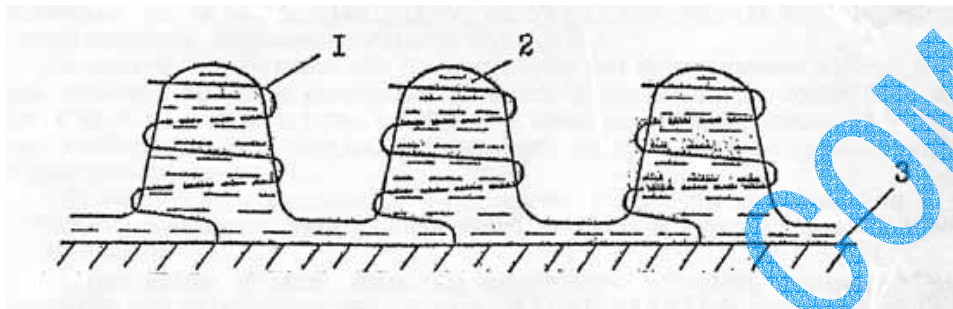
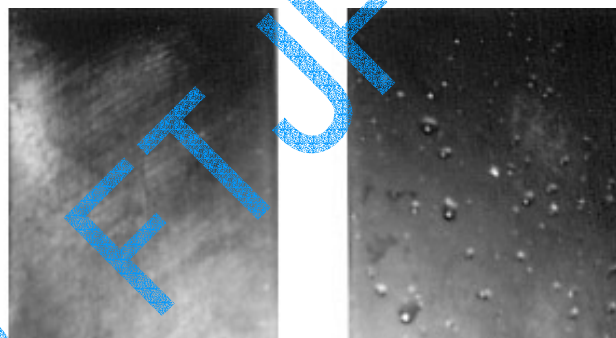


图 2 氟碳活性分子包围润滑介质

1：氟碳活性分子成螺线状 2：润滑介质 3：固体表面



防漫流效果照片

（左侧图为未经处理的金属表面，右侧图为经过 FTJ 处理的金属表面，经过对比实验，在两块金属板材质完全相同的情况下，未经处理的几小时后润滑油流失；而经过处理的在二月后仍然很好地保持了润滑油膜）

三是对油（液）膜物理状态的转换功能。在制冷空调换热系统中，由于制冷剂 and 少量压缩机油的进入，使冷凝管和蒸发管表面在机械运行过程中，始终保持了一层油（液）膜，成膜状凝结状态。膜状凝结的直接效果是阻碍了热传导。冷凝器内部产生的油（液）膜使热阻增大、传热系数减小。当冷凝器热负荷一定时，随着传热系数减小，冷凝温度升高。而蒸发器内部产生油（液）膜会使蒸发温度降低，相应地蒸发压力也降低。在蒸发器表面有 0.1mm 油（液）膜时，将使蒸发温度降低 2.5℃，耗电增加 11~12%。当冷凝管和蒸发管经过氟碳涂层处理后，油（液）将不能在冷凝管和蒸发管表面形成膜状，而将形成珠状（珠状凝结）。珠状凝结可以大大提高循环系统的热传导效率，降低油膜的阻热效应，降低制冷设备耗电 6% 以上。并且，由于使油（液）成珠状凝结，在高速、高压气流环境里，油（液）更容易被带走。

四是成膜的自修补功能。氟特加氟碳涂层材料形成的分子膜是根据固体表面释放自由电

子的强弱进行移动和分布的。越是被磨损的部位，释放的自由电子越多，对氟碳分子的吸附力越强。由于固体表面摩擦的不均匀性，当某一部位过度摩擦导致磨损时，原来吸附在磨损物上的氟碳分子会随磨损物流失一部分。受磨损部位会释放更多的自由电子，从而将其它部位的氟碳分子迅速吸附过来一部分，形成新的均匀的氟碳涂层，完成了自动修复功能。在兵器集团六一七厂将本产品与纳米级材料进行的耐磨对比测试证明，在 40kg、30min、1450r/min 条件下，氟特加氟碳涂层材料的耐磨效果远远高于纳米级抗磨材料，充分体现了这种自修补功能的独特优势。

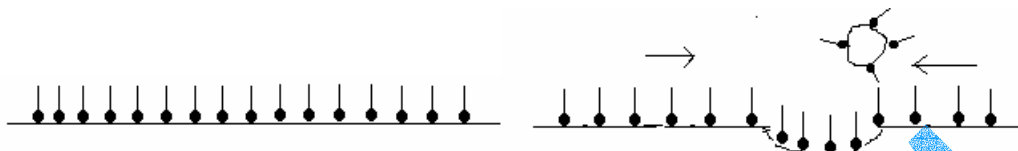


图 4 氟特加在金属表面形成定向分子膜

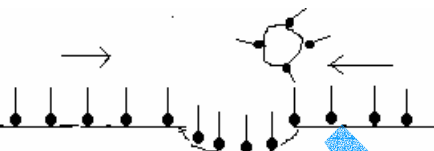


图 5 对磨损部位的分子膜自行修补

五是对润滑系统的洗涤和清洁功能。氟特加氟碳涂层材料有着极高的表面活性，在吸附于固体表面形成分子膜时，可渗透到金属微裂缝最深层，很容易地将粘附在金属表面的胶质、积碳和其它杂质剔除下来，并将其分散在润滑油中过滤掉；同时，所形成的分子膜增加了机械系统的气密性，大大减少了窜油、窜气和机械的磨损，从根本上限制了发动机和其它动力机械高温沉积物的生成和粘附。在制冷空调循环系统中，氟碳涂层可以清洗掉附着在冷凝器和蒸发器上的杂质，并避免新的杂质附着。在铁道部襄樊内燃机厂，对涡喷-5 喷油嘴进行处理后，喷油嘴表面再也没有积炭附着。

四、氟特加氟碳涂层的主要性能指标

产品理化性能：

感 观：无色或浅黄色液体；

粘 度：500~3500；

比 重：1300~1500g/1000ml。

凝结温度：-265 ；

热处理剂沸点:43.7 ；

涂层性能：

涂层厚度——4-8nm，不形成叠加。

处理后的物体表面能——从 3000~5000 毫牛/米减小到 2~4 毫牛/米。

处理后的表面摩擦系数——降低 75-90%

处理后表面耐压及承载力——3000 兆牛/平方毫米。金属部件涂敷氟特加氟碳涂层后，表面承载力（PB 值）可由普通润滑油条件下的 94kg 提高到 114kg；由普通齿轮油润滑条件下的 120kg 提高到 152kg。

涂层材料适用温度—— -260℃至 450℃，瞬时耐温可达 700℃。

耐化学腐蚀——适应酸、碱、氧化环境（热处理剂因呈弱酸性，建议在处理阶段不要在强碱环境中使用）。

化学稳定性——不会与使用环境中的化学物质（包括气体）金属发生反应，不改变摩擦材料的组织结构，只改变摩擦条件；不会产生任何有毒有害物质。

成膜的稳定性——氟碳分子膜不会因更换润滑剂而流失，在出现磨损的情况下，涂层仍然保持完整性。

安全性能：

——本产品不含任何固体物质，不必担心产生新的磨损源。

——本产品不与工作环境中的化学物质发生反应，不会形成有害物质。

——本产品不改变金属表面的导电性能。

——本产品涂敷到物体表面后，在-260C°至 450C°条件下不会发生分解。

——本产品安全等级为四级，可航空运输，在使用时防止进入口腔。一旦进入口腔，不会发生吸入性中毒，但建议用漱口液及时漱口。

——本产品系列中的金属热处理剂易挥发、轻微易燃，在处理操作时需注意防火，一经处理后，其它溶液会迅速自然挥发，被处理表面只剩下氟碳物质，不存在安全隐患。

——本产品可改善摩擦组件之间的密封条件，但对过度磨损、已超出技术指标的材料不具备明显修复功能，不要在此条件下使用。

——本产品不改变材料和润滑剂的组织。在加入润滑剂搅拌 30 分钟后，颜色会变成淡黄色，在进行介质处理 20 小时后，润滑剂将会还原。加入润滑剂搅拌后，应及时注入工作部位，如存放过久，处理剂和润滑剂会出现分层，使用时再进行搅拌后注入工作部位，不影响产品性能。

——本产品使用后，不影响材料的回收利废。

——本产品可在物体表面形成保护膜后，因表面能很低，无法再在其表面涂敷其它材料（如油漆、油墨）。