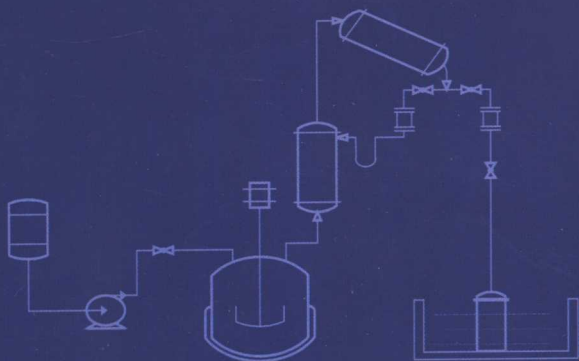


FEVE

氟碳树脂与氟碳涂料

倪玉德 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

FEVE 氟碳树脂与氟碳涂料

倪玉德 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

本书在概括地介绍了聚四氟乙烯 (PTFE)、聚偏二氟乙烯 (PVDF)、聚氟乙烯 (PVF) 氟碳树脂与氟碳涂料的基础上, 系统地、翔实地讨论了关于 FEVE 氟碳树脂 (氟烯烃与烷基乙烯基醚或酯的共聚物) 与氟碳涂料的性能特点、理论基础、配方工艺、产品标准、检测方法和涂装应用。本书内容真实详尽, 理论联系实际, 基本涵盖现状, 提示未来发展, 突出真实性、可读性和可操作性。

本书可供从事氟碳树脂与氟碳涂料科研开发、工业生产、涂装应用和检测管理等方面工作的工程技术及管理人员阅读, 也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

FEVE 氟碳树脂与氟碳涂料/倪玉德编著. — 北京:
化学工业出版社, 2006.6
ISBN 7-5025-8914-7

I. F… II. 倪… III. 氟碳涂料 IV. TQ633

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 064754 号

FEVE 氟碳树脂与氟碳涂料

倪玉德 编著

责任编辑: 顾南君

文字编辑: 曾景岩

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 张 辉

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7 1/2 字数 188 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8914-7

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

氟碳树脂与氟碳涂料是世界上近年来迅速发展起来的一类高新技术产品。它具有超耐候、重防腐、抗沾污、阻燃抗菌等多种独特功能，因此成为涂料产品中综合性能最好的一种。

和以往的氟碳树脂，如聚四氟乙烯（PTFE）、聚偏二氟乙烯（PVDF）、聚氟乙烯（PVF）相比，于1982年由日本旭硝子公司研发成功的PEVE氟碳树脂，能和通常涂料用合成树脂一样，溶于有机溶剂，并可以制成常温、低温或中温固化的涂料产品，从而使氟碳树脂进入通常的涂料领域已成为可能。

10年前，当笔者所在的天津灯塔涂料股份有限公司承接国家重点科研项目，步入该领域时，我国的FEVE氟碳树脂与氟碳涂料还是一片刚刚被开垦的处女地。但是短短的10年时间已经取得了迅猛的发展。尤其是涂料专业学会、涂料工业协会每年举办的专题研讨会，为业内人士交流、沟通搭建了平台；几家涂料专业期刊为业内人士的切磋、探讨开辟了园地，起到了卓有成效的引导和促进作用。

本书正是基于笔者从事该领域工作的实践所获及心得体会，并汇集了业内人士辛劳的结晶编写而成。力求内容详尽、贴近实际、涵盖现况、建议未来，突出真实性、可读性和前瞻性。希冀我国的FEVE氟碳树脂与氟碳涂料事业，通过技术创新、资源整合、规范市场的过程，更加科学健康地蓬勃发展。

本书编写过程中得到了天津博佳化工科技有限公司、常熟三爱富中昊化工新材料有限公司和无锡万博涂料化工有限公司的支持和帮助，在此表示感谢。

由于作者的水平所限，书中的不足及谬误之处敬请读者不吝赐教。

倪玉德

2006年2月于天津

目 录

第 1 章 概述	1
第一节 PTFE 氟碳树脂与氟碳涂料.....	1
一、PTFE 水分散液.....	3
二、PTFE 微粉.....	5
三、ETFE 及其粉末涂料.....	9
第二节 PVDF 氟碳树脂及氟碳涂料.....	11
一、PVDF 树脂的合成.....	11
二、PVDF 树脂的性能.....	12
三、PVDF 涂料的配方组成.....	14
四、PVDF 涂料的制造工艺.....	17
五、PVDF 涂料的涂装.....	18
六、PVDF 树脂的发展.....	19
第三节 PVF 氟碳树脂及氟碳涂料.....	19
一、PVF 树脂的合成与性能.....	20
二、PVF 涂料的特性.....	21
三、PVF 涂料的涂装与应用.....	24
第四节 FEVE 氟碳树脂及氟碳涂料.....	25
第 2 章 FEVE 氟碳树脂	29
第一节 三氟氯乙烯的合成及性质.....	29
一、三氟氯乙烯的合成.....	29
二、三氟氯乙烯的性质及检测.....	31
第二节 四氟乙烯的合成与性质.....	32
第三节 FEVE 氟碳树脂的合成.....	33
一、三氟氯乙烯-烷基乙烯基酯树脂的合成.....	34

二、三氟氯乙烯-烷基乙烯基醚的合成	36
三、四氟乙烯-烷基乙烯基酯(醚)的合成	37
第四节 FEVE 氟碳树脂的检测方法	39
第3章 两种类型 FEVE 氟碳树脂的对比	44
第一节 树脂结构的对比	44
第二节 树脂性能的对比	47
第三节 涂料性能对比	48
第四节 树脂结构的改进	50
第4章 以四氟乙烯为含氟单体的氟碳树脂	53
第一节 四氟乙烯-烷基乙烯基醚树脂的结构	53
第二节 四氟乙烯-烷基乙烯基醚树脂的特点	55
第三节 TFE 与 CTFE 合成的 FEVE 氟碳树脂的比较	60
第5章 FEVE 氟碳树脂的结构与性能	62
第一节 氟原子的结构特性	63
第二节 氟原子的屏蔽效应	64
第三节 氟原子范德华半径的影响	66
第四节 乙烯基组分及侧链取代基的作用	67
第6章 FEVE 氟碳涂料	71
第一节 常温固化氟碳涂料	71
一、氟碳树脂的选择	71
二、颜料的选择	77
三、溶剂的选择	80
四、助剂的选择	81
五、固化剂的选择及用量	83
六、参考配方举例	86
第二节 热固性氟碳涂料	89
一、以氨基树脂为交联剂的氟碳涂料	89
二、以封闭型聚氨酯为交联剂的氟碳涂料	92
第三节 FEVE 氟碳涂料标准及性能检测方法	96

一、制定标准的必要性及简要工作过程	96
二、制定标准的原则及参考依据	98
三、标准的适用范围及分类	98
四、标准项目的设置及指标	99
五、性能检测方法	104
六、标准性质及标准水平	114
附录一 日本工业标准 (JIS) K 5659—1992 钢结构物 用氟树脂涂料	114
附录二 日本工业标准 (JIS) K 5658—1992 建筑用氟 树脂涂料	128
附录三 JIS K 5658—1992 建筑用氟树脂涂料解说	140
第 7 章 FEVE 氟碳涂料涂膜的特点	150
第一节 超常的耐候性	150
第二节 突出的耐盐雾性	155
第三节 优异的耐化学药品性	157
第四节 良好的抗沾污性和自清洁性	160
第五节 理想的综合性能	161
第六节 合理的性能价格比	162
第 8 章 FEVE 氟碳涂料的应用	165
一、钢结构防腐涂料	165
二、建筑外墙涂料	169
三、卷材涂料及喷涂铝单板涂料	170
四、航天航空用漆	175
五、高耐候性装饰性面漆	175
第 9 章 FEVE 氟碳树脂的发展	177
第一节 氟丙树脂	177
一、含氟丙烯酸酯树脂	177
二、氟丙共聚树脂	179
第二节 电泳氟碳树脂	182

一、主链上含有氟原子的电泳漆树脂·····	182
二、侧链上含有氟原子的电泳漆树脂·····	185
三、交联剂的选用·····	186
四、氟碳电泳漆的特性·····	188
第三节 低污染型氟碳树脂·····	189
一、涂膜低污染化必须具有的功能·····	190
二、实现涂膜低污染的途径·····	192
三、自洁型氟碳树脂·····	192
第四节 弱溶剂型氟碳树脂·····	193
第五节 高固体分氟碳树脂·····	194
第六节 水性氟碳树脂·····	197
第七节 粉末氟碳树脂·····	202
第八节 固化体系的扩大·····	205
一、酸-环氧固化体系 ·····	205
二、环氧-硅烷醇-羟基固化体系 ·····	207
三、乙酰丙酮固化体系·····	207
第九节 新型骨架树脂探索·····	207
第 10 章 当前存在的问题及发展 ·····	209
第一节 存在的问题·····	209
第二节 今后的发展·····	215
参考文献 ·····	218

第1章

概 述

氟碳树脂是指由氟烯烃聚合或氟烯烃和其他单体共聚而合成的高分子聚合物。而由氟烯烃聚合物或氟烯烃和其他单体的共聚物为成膜物质的涂料，在欧美等西方国家称之为“氟碳涂料”（fluorocarbon coating），在我国则习惯上称作“含氟涂料”或“氟涂料”^[1]。目前在我国市场上见到的氟碳树脂及由其制成的氟碳涂料大致有以下四类：

- ① 聚四氟乙烯（PTFE）氟碳树脂与氟碳涂料；
- ② 聚偏二氟乙烯（PVDF）氟碳树脂与氟碳涂料；
- ③ 聚氟乙烯（PVF）氟碳树脂与氟碳涂料；
- ④ FEVE 氟碳树脂与氟碳涂料。

本章首先对以上四类氟碳树脂与氟碳涂料分别作概括论述。

第一节 PTFE 氟碳树脂与氟碳涂料

1938年新泽西杜邦（Du Pont）研究室 R. Plunkett 博士发明了聚四氟乙烯（PTFE），在此基础上，杜邦公司率先开发成功并以“特富龙”（Teflon）为商标注册的 PTFE 氟碳树脂。该树脂通常包括两大类型。一类是以 Teflon-silver stone、Teflon-silver stone supra 等商标销售的产品，用于制造炊具及烘烤用具的不粘性涂料。另一类是以 Teflon、Teflon-P、Teflon-S 和 Teflon 干润滑剂等商标销售的产品，用于工业品的表面涂层，在汽车零部件及

机械领域得到普遍应用^[2,3]。

聚四氟乙烯 (PTFE) 是由四氟乙烯 (TFE) 聚合而成的全氟聚合物。其分子结构式为 $-(CF_2-CH_2)_n-$ 。它是具有完全对称且无支链的线型高分子，分子没有极性。聚四氟乙烯具有结晶度高、相对分子质量大、氟原子紧密排在碳-碳骨架周围、碳-碳链扭曲成“Z”形的螺旋状的圆柱形结构、高键能的碳-氟键对碳-碳主链起到屏蔽作用等结构特点。PTFE 的这种特殊结构，决定了其具有以下特性^[2]。

1. 不粘性

如涂有 PTFE 涂层的油煎锅和电饭煲清洗较方便。

2. 低摩擦系数

3. 化学/耐腐蚀性

PTFE 对化学药剂及酸、碱及有机溶剂来讲是惰性的，涂有 PTFE 涂层的物体可以免于遭受其腐蚀。

4. 不湿性

PTFE 涂层与液体的接触角很大，其不湿性不但使清洁更容易，而且易于油水分离。

5. 热稳定性

PTFE 具有良好的热稳定性。在低温 (-240°C) 下不脆化，在高温 (288°C) 下不熔化^[2]。但是 1968 年 Waritz 通过试验证明，PTFE 在低于 260°C 时已经有降解发生，在 290°C 下每小时降解 0.001%，在 400°C 下（相当于不粘锅干烧时的温度）每小时降解 4%，温度越高降解越快。伴随着降解反应的发生，自然会有分解产物的释放^[4,5]。

6. 独特的电气性能

PTFE 是卓越的电绝缘体；耐高温且阻燃；具有高的介电强度、低损耗系数。

PTFE 可以使用四氟乙烯 (TFE) 的气体或液体，通过 γ 射线辐射制备，由四氟乙烯气体聚合得到细分散粉末状 PTFE，由四氟

乙烯液体聚合得到均匀的 PTFE 固体材料。在水性介质中可以通过两种不同的聚合方法,得到两种不同类型的 PTFE 树脂,即悬浮聚四氟乙烯树脂和分散聚四氟乙烯树脂。涂料产品制造使用的主要是 PTFE 分散液和 PTFE 微粉。从化合物方面分类则可分为纯含氟聚合物和树脂结合型聚合物两类。

纯含氟聚合物通常包括聚四氟乙烯 (PTFE)、聚全氟乙丙烯 (FEP)、四氟乙烯-全氟乙烯基醚共聚物 (PFA)、乙烯-四氟乙烯共聚物 (ETFE) 等。这类树脂基本上是水分散体系, FEP、PFA 和 ETFE 也可以制成粉末涂料。上述树脂制成的涂料,除 PTFE 可以作为单一涂层应用外,其余几种都需要配合使用附着力良好的底涂层。

树脂结合型氟碳涂料是由一种或多种纯氟碳树脂与另一种高性能树脂结合而成的。这些树脂包括聚苯硫醚 (PPS)、环氧树脂、聚酰亚胺等。树脂结合型的氟碳涂料增强了韧性,改善了耐磨性和附着性能,同时由于这类树脂都是溶剂型体系,因此可以作为单一涂层在汽车、机械等工业领域得到应用。

一、PTFE 水分散液

PTFE 水分散液是 TFE 在水中由自由基引发聚合的,代表性的聚合条件是:反应温度为 $70\sim 120^{\circ}\text{C}$,压力为 $1\sim 6\text{MPa}$,用水溶性引发剂(如过硫酸铵、碱金属高锰酸盐或琥珀酸过氧化物)或辐射引发聚合,在聚合过程中温和地搅拌,添加全氟辛酸铵乳化剂,得到平均粒径为 $0.2\mu\text{m}$ 的水分散体,在聚合中可以添加类似保护胶体的助剂,如碳氢蜡以防止凝聚。工艺过程属于乳液分散聚合,所得水分散体固体含量一般在 $20\%\sim 30\%$ 。

不粘性氟碳涂料是以 PTFE 树脂为基础的氟碳涂料的重要品种,被广泛应用于电饭煲、不粘锅、抽油烟机、电熨斗和燃气灶具等方面,以及工业产品表面涂装。由于不粘性涂层具有不粘性、易

清洗和防腐性能好的特点，因此深受广大消费者欢迎，发展很快。当前国内使用的不粘性涂料主要有两大类：一类是聚酯改性有机硅树脂为成膜物，添加 PTFE 微粉作为防粘组分，是一种溶剂型涂料；另一类是以 PTFE 为基础的全氟聚合物为成膜物，是水分散体涂料。

除此之外，用 PTFE 涂覆玻璃纤维织物的篷面材料已经大量用于建设大型体育场馆、公共活动场所、帐篷等。这种篷面材料的特点是自重轻 ($1.23\text{kg}/\text{m}^2$)，能承受 $1\text{kN}/\text{m}^2$ 的载荷，透光度 20%，不积灰、可以自清洁、阻燃，膜结构符合我国防火规范要求，膜寿命达 30 年以上。新型篷面材料已成为继钢材、水泥、木材、玻璃之后的第五种建筑材料^[6]。

由于 PTFE 的临界表面张力低，所以对底材的附着力较差，一般需用底漆。底漆中起黏结作用的树脂必须对底材附着力好、稳定性和耐化学品性优、无毒、与 PTFE 相容性好。目前推荐与使用较多的是聚苯硫醚树脂和聚酰胺-酰亚胺树脂。如果要求一次喷涂形成涂层，必须选用特殊的单涂层漆。

为了赋予涂膜以色彩及改善和提高 PTFE 涂膜的物化性能，需在 PTFE 涂料中加入颜料和填料。在选择颜、填料时需考虑以下几点：

- ① 颜料、填料与 PTFE 分散液的相容性；
- ② 与聚四氟乙烯使用性能的匹配性；
- ③ 耐 400°C 高温的烧结；
- ④ 颗粒大小与聚四氟乙烯相当；
- ⑤ 化学稳定性好；

⑥ 符合环保要求，尤其是用于食品加工目的的涂料，要符合食品卫生要求。

通常使用的功能性填料有：玻璃粉、二硫化钼、石墨、石棉和金属粉等，以提高涂膜的硬度、耐磨性和导热性。常用的着色颜料品种并不多，通常黄、红、橘色使用镉系颜料，褐色

使用氧化铁颜料, 蓝色使用钴颜料, 黑色使用炭黑, 白色使用二氧化钛, 绿色使用三氧化二铬, 特殊色彩使用金属颜料或珠光云母钛颜料。

为了改善和提高 PTFE 分散液的涂装性能和涂层性能, 往往在 PTFE 氟碳涂料中使用一定量的助剂。例如, 加入适量的聚乙烯醇等非离子聚合物, 可以增加分散液的黏度, 提高涂层厚度; 使用润湿剂 (如十二烷基硫酸钠), 提高 PTFE 分散液对底材的渗透性和附着力; 使用硅烷偶联剂改进 PTFE 树脂熔融流平性及提高对底材的附着力。

二、PTFE 微粉

PTFE 微粉为白色细粉, 或称超细粉、聚四氟乙烯蜡, 分子结构与四氟乙烯相同。普通的 PTFE 粉末相对分子质量为 100 万~1000 万, 平均粒子为 $15\sim 800\mu\text{m}$; 而 PTFE 微粉的相对分子质量为 3 万~20 万, 平均粒子为 $1\sim 20\mu\text{m}$ 。PTFE 微粉的使用温度范围、耐候性、耐化学药品性能、润滑性和不粘性、防腐性、耐磨性均和高相对分子质量的 PTFE 相同。但是, 较前者分散性好, 可溶性和可熔性提高, 凝聚性差。

PTFE 微粉的热稳定性好, 其使用温度与高相对分子质量的 PTFE 相同, 约 260°C 。微粉的熔点为 $320\sim 335^{\circ}\text{C}$, 当长期在 300°C 以上加热时, 聚合物出现分解, 放出有毒气体。在一些特定的应用场所, 如烘漆中, 微粉的熔融性及热稳定性的关系是一个需要认真关注的问题^[6]。

PTFE 微粉的化学稳定性与高相对分子质量的 PTFE 相同, 无论是浓无机酸 (如浓硫酸、浓盐酸)、强碱, 还是有机溶剂, 对它都没有影响。只有氟化的烃类化合物会可逆地溶胀 PTFE 微粉。

大量 PTFE 微粉的饲喂实验表明无急性或亚急性生理反应。

国产 PTFE 微粉如表 1-1 所示。

表 1-1 国产 PTFE 微粉

性 能	单位	检测方法	TF9201	TF9205	TF9207
平均粒子大小	m	激光衍射法	6	8	4
初级粒子大小	nm	激光衍射法	200	—	120
表观密度	g/L	ISO 12086	350	400	280
比表面积 BET	m ² /g	DIN 66131、DIN 66132	10	2	17
熔融流动速率 MFR	g/10min	DIN 53735	<2	12	6
熔融黏度(372℃)	Pa·s	计算	约 10 ⁵	约 10 ²	约 10 ³
增稠作用			**	*	***
接触食品适用		FDA(EU)	*(*)	—(*)	(*)*
应用					
塑料和橡胶					
热塑性塑料			**	*	*
弹性体			*	**	*
热固性塑料			*	**	*
润滑剂					
硅油			**	*	*
机油			*	—	*
脂			*	*	*
印刷油墨(与 PE 蜡共用)			—	**	*
不粘涂料及耐磨涂料			—	**	**
不粘减磨喷涂			*		*
干润滑剂			*	*	**

注：1. 表中提供的数据皆为平均值，不是单批产品的数据。

2. 表中数据是在 327℃ 用不同检测质量及喷嘴直径测得的。

3. 微粉的熔融黏度是用熔融流动速率 (MFR) 计算出来的。

4. * 较适宜；** 适宜；*** 最适宜。

PTFE 微粉在涂料产品中可以作为防粘及提高耐磨性的添加剂使用，微粉的最高用量可以达到 60% (质量分数)。微粉在涂料中的作用是：

① 改善防粘及润滑性 (见图 1-1)，由熔融的 PTFE 粒子在表面形成一层致密的 PTFE 膜，提高涂料的防黏附性能；

② 降低摩擦系数并提高耐磨性 (见图 1-2)，约加 10% (质量分数) 的 PTFE 微粉，使涂料对钢材表面的摩擦系数降到一个最

低值；

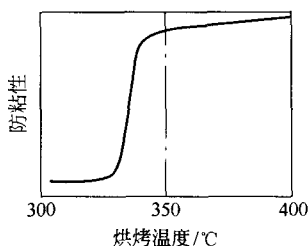


图 1-1 含 PTFE 涂料的防粘性与烘烤温度的关系

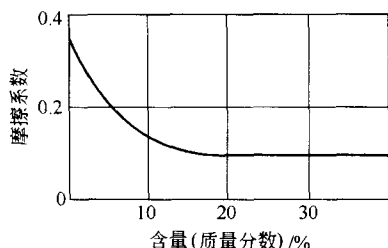


图 1-2 对钢的摩擦系数与 PTFE 含量的关系

③ 提高耐磨蚀性，减少吸附，由于 PTFE 表面的憎水、憎油性，通常的腐蚀性化学物质几乎不能黏附在涂膜表面而造成腐蚀；

④ 由于产生结构性增稠，增加了涂料的触变性（见图 1-3），从而改善了涂料的流变性能；

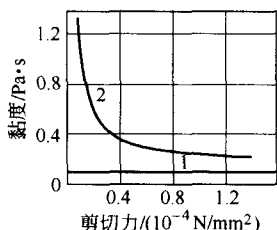


图 1-3 添加 PTFE 微粉对涂料黏度的影响

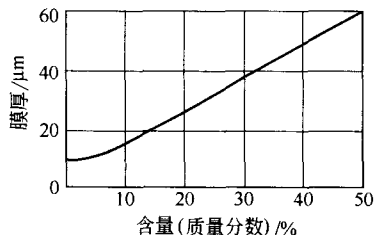


图 1-4 PTFE 微粉含量对电线涂层最大厚度的影响

1—未添加；2—添加 40%PTFE 微粉

⑤ 提高临界膜厚度（见图 1-4）并改善其热成型性（图 1-5），用含 10%~50%（质量分数）的 PTFE 微粉的电线漆，可以达到最大的成型厚度，涂覆部分的热成型性可以达到不含 PTFE 微粉的 5 倍。

PTFE 微粉的主要用途是添加到普通涂料用树脂，如聚氨酯树脂、环氧聚酰胺树脂、丙烯酸酯树脂、酚醛及有机硅等树脂中，以

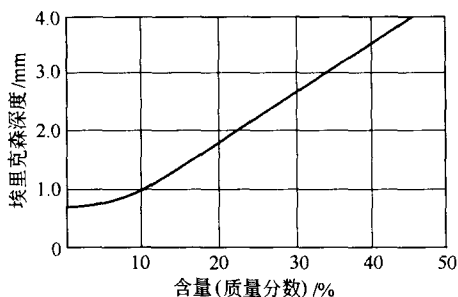


图 1-5 电线清漆的热成型性与 PTFE 含量的关系

提高这些涂料所形成涂膜的硬度、耐热性、润滑性、抗粘性、耐候性和防腐性能。

如在聚氨酯树脂涂料中,添加 PTFE 微粉,当其中聚氨酯树脂含量为 59% 时,涂层具有良好的耐磨性和耐水性,可以在 150℃ 下使用,由于该体

系形成的涂层表面可以富集 PTFE 并与聚氨酯牢固结合在一起,故而涂层表面致密,从而使涂膜显现出良好的耐磨性和防腐性。

在以酚醛环氧树脂或改性聚酰亚胺酚醛环氧树脂为成膜材料的涂料中,添加 PTFE 微粉可以在保留涂膜附着力强、柔韧性好、耐冲击性好的基础上,提高其润滑性及防腐性^[7,8]。

将部分 PTFE 微粉加入到有机硅系列不粘涂料中,可以显著提高涂料的不粘性。将该涂料用于电饭煲、电火锅、抽油烟机等不粘性涂料中,取得了良好的效果。

PTFE 微粉不像普通的 PTFE 那样具有很强的凝聚性,容易和其他材料混合。当以添加剂形式加入涂料中时,可以采用螺旋桨式搅拌器进行混合。但需注意,各种 PTFE 微粉在 30℃ 以上时,流动性变差并容易团聚,因此应控制在 30℃ 以下与其他树脂进行混合。

PTFE 系列氟碳涂料的性能特点是具有不粘性、低摩擦系数、不湿性、热稳定性、绝缘性及耐化学药品性和耐腐蚀性,所以显示出其独有的特性和用途。但是,所有 PTFE 系列的涂料产品均需在高温条件下固化,除极少量可以在 177℃ 以下固化之外,绝大多数需要在 260~343℃ 之间固化,有时需高达 427℃。由于固化条件的限制和由此导致的涂装成本的增加,因此限制了此类产品的应用范围。

三、ETFE 及其粉末涂料

自1946年发现乙烯-四氟乙烯共聚物以来,人们一直寄希望于既具有聚四氟乙烯耐温、耐介质、耐老化性能,又具有聚乙烯可热塑加工特性的新材料。经长期研究,美国 Du Pont 公司于20世纪70年代初发表了以 Tefzel 为商品名的改性乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE),日本旭硝子公司也于10年后将其商品化。ETFE(F-40)继 PTFE(F-4)和 FEP(F-46)之后,成为 PTFE 系列中的第三类主要品种。中国科学院上海有机化学研究所经过潜心研究,也已研发成功此类产品,取名为赛氟龙(ETFE、F-40)^[9]。

ETFE 是一个交替排列倾向很大的共聚物,化学结构是: $-(CH_2-CH_2-CF_2-CF_2)_n-$ 。其熔融温度、结晶温度和分解温度均随组分不同而变化,以1:1交替共聚物具有最好的物理、化学和电性能。ETFE 除其耐热温度较 PTFE 和 FEP 稍低外,是一种既具有类似聚四氟乙烯的优良性能,又具有类似聚乙烯的易加工性能,还具有耐溶剂和耐辐射等优点的新型氟碳聚合物。其主要性能如表1-2所示。

表 1-2 ETFE 的主要性能

项 目	数 据	项 目	数 据
密度/(g/m ³)	1.70~1.73	耐折次数/次	$5 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$
熔点(DSC)/℃	265~275	硬度	R45
介电常数(10 ⁶ Hz)	2.4	吸水率(23℃)/%	<0.007
拉伸强度/MPa	30~50	耐溶剂性	优良
伸长率/%	300~400	体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$>10^{-18}$
最高连续使用温度/℃	150	燃烧性	94V0
抗冲强度	不碎	熔体指数 ^①	按型号而定
线膨胀系数	4.71×10^{-3}	介电损耗(10 ⁶ Hz)	5×10^3

① 熔体指数为15.0~30的 ETFE 适用于粉末涂料。

1. ETFE 的制备

四氟乙烯和乙烯可以在水相、非水相和混合相共聚制备 ETFE