

Mechanism of crosslinker and diluent in high performance polymer coating and its influence on coating properties

Huiyu Wang

Ningxia Zhuoyu New Material Technology Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 751400, China

Abstract

This paper focuses on the interaction principle of crosslinking agents and diluents in high-efficiency polymer coatings, and analyzes how they affect the physical properties of the coatings. On the physical surface, the diluent acts on the dissolution and distribution of the crosslinker and the viscosity of the whole system; chemically, it advances or hinders the rate of the crosslinking process and may cause some additional chemical reactions. These two factors significantly determine the coating hardness, elasticity, adhesion, wear resistance, corrosion resistance properties, and the ability to resist natural erosion. In addition, taking automotive coating as an example, it reveals the realistic influence of material selection on coating function, and provides reference for improving the performance quality of coating.

Keywords

cross-linking agent; diluent; interaction mechanism; influence

交联剂与稀释剂在高性能聚合物涂层中的相互作用机理及其对涂膜物性的影响研究

王慧宇

宁夏倬昱新材料科技有限公司, 中国·宁夏 银川 751400

摘要

本文聚焦高效能聚合物涂料中交联剂和稀释剂的相互作用原理, 并分析它们如何影响涂层的物理特性。在物理层面上, 稀释剂会作用于交联剂的溶解与分布状况以及整个系统的粘度大小; 从化学角度来看, 它对交联过程的速率有着推进或阻碍的效果, 并且有可能引发一些附加的化学反应。这两个因素显著地决定了涂层的硬度、弹性、粘附度、耐磨损能力、抗腐蚀性以及抵御自然侵蚀的能力。另外, 以汽车涂料为例, 揭示了选材对于涂层功能的现实影响, 为提升涂层性能质量提供了参考。

关键词

交联剂; 稀释剂; 相互作用机理; 影响

1 引言

当代工业和科技进步的背景下, 先进的聚合物覆层在航天航空、电子信息、汽车制造、建筑业等多个行业扮演了极为关键的角色。此物质可防范外部腐蚀, 增强材料的机械强度, 确保制品的品质及使用年限。交联剂能够在聚合物分子链之间形成化学键连接, 打造出具有三维网格的结构, 并提升了涂料的多重性质; 而稀释剂则主要用以控制涂料的粘度, 对其干透速率、表面光滑度以及粘附性有所作用。研究双方互动的原理及其对涂层特性所产生的效应, 不仅可以加深我们对聚合材料构造与功能关联的认识, 还可助推高效能合成物涂料的配比提升和制程创新, 以适应各种不同的要求。

【作者简介】王慧宇 (1986-), 男, 中国山西大同人, 硕士, 工程师, 从事化学合成及材料研究。

2 交联剂与稀释剂概述

2.1 交联剂种类及特性

2.1.1 有机交联剂

高性能聚合物涂料领域普遍采用有机交联剂。常见的化合物中, 包含了过氧化物系列, 例如二异丙苯过氧化物与苯甲酰过氧化物等。DCP 中存在双氧键, 在经受高温时会分裂产生自由基, 从而促使交联反应, 这样可以显著增强涂料的硬实度、韧性及耐高温能力。然而, 其分解过程会释放具有强烈刺激性的苯乙酮蒸汽, 这一点限定了它在那些对气味较为敏感区域的应用范围。BPO 为白色的粉末状固体, 可溶于苯、氯仿、乙醚, 微溶于乙醇及水, 并且在较低温度下便会发生分解, 且反应速率较快, 因此在使用过程中必须严密监管反应环境。

多氨基构成的交联剂, 例如二亚乙基三胺 (DTA),

因其分子内众多氨基反应活性较高,有能力与聚合物中的活性官能团发生化学反应。

2.1.2 无机交联剂

无机交联剂对特殊的高性能聚合体涂层扮演着至关重要的角色。橡皮制造领域普遍使用的硫化促进剂是硫磺,它具有由八个硫原子组成的环状分子结构。在适当环境下,这些分子会均匀断裂形成自由基,激发橡皮的硫化交联过程,极大地增强了橡皮的各项性质。然而,单一进行硫化作业时,由于存在耗材多和耗时长的问题,通常需要配合使用添加剂。

氧化锌在化学工业中扮演着至关重要的角色,它不仅可以促进硫磺反应的活性,还可以提升硫化过程的速度以及交联作用的效能。

2.2 稀释剂种类及特性

2.2.1 有机稀释剂

高性能聚合物涂料应用中普遍使用有机稀释剂。甲苯作为一种常见溶剂,具备卓越的溶解力,能够高效溶解诸如醇酸、丙烯酸等多种树脂,有助于涂料成分的一致混合,并确保整个配制的稳定性。该物质的沸腾温度为 110.6°C ,常温常压下,甲苯的挥发度约为 $0.0001\text{ g/L}\cdot\text{h}$,即在每升甲苯中,每小时挥发出的甲苯质量约为 0.0001 克。挥发性指数大约为 1.95 。使用该物质进行施工时,其挥发程度恰到好处,可以防止涂层形成针孔、气泡等缺陷,同时不会使得干燥过程过度拖长,有助于漆面迅速展平并凝固。二甲苯的重要性同样不容小觑,它由三种结构相异而分子式相同的异构体构成,对于多种高分子材料例如氯化橡胶和环氧树脂具有良好的溶解能力。沸点 137 至 140°C ,挥发系数为 0.68 ,有较缓的蒸发速度,有利于延长漆膜自我平整的过程,有效避免流线与刷痕的产生,进而增强其表面的平滑与亮泽效果,经常应用于对涂层品质要求较高的汽车和家具行业。

尽管采用有机稀释剂会蒸发释放挥发性有机化合物,威胁身体健康并对空气质量造成破坏,因此在使用过程中须确保良好的空气流通并采取必要的防护措施。

2.2.2 无机稀释剂

非有机稀释物在水性漆中展现出了其独有的益处,而且水是最普遍存在的成分。水基漆使用水作为稀释剂,无挥发性有害物质,符合生态发展理念。在施工用的水性墙漆配方里,加入水分可以适度调整涂料的稠密程度,以适应多样化的施工要求,同时促进涂膜形成物质的平均散布,并且有利于其干透形成坚固涂层。

采用水来稀释,可以增强涂层的柔软度,并确保涂层的结构平整紧凑,有利于适应底材的形变,防止出现裂纹及剥落现象。并且蒸发速度较快,油漆层迅速成干,因而能减少施工时间。

3 相互作用机理分析

3.1 交联剂与稀释剂的物理作用

3.1.1 溶解与分散作用

溶剂在溶解交联剂方面的效能显著地决定了高质量聚

合物涂料的表现。在有机稀释剂中,像甲苯和二甲苯这类的芳烃类物质,对于各种有机交联剂都有着很好的溶解作用。通过甲苯的苯环与二氯苯(DCP)分子之间的 $\pi-\pi$ 相互作用以及范德华相互作用的叠加力,甲苯可以溶解DCP,并使其在稀释剂内部均匀扩散,为在未来的聚合物体系中均匀分布及反应提供前置条件。交联剂的均匀散布对于涂层的性质至关重要,如果分布不均,则会导致涂层在交联反应过程中产生不均匀现象,从而使得某些部位的交联密度过高或者过低,进而分别引发涂层变得易碎裂或者性能未达预期水平。

在水性漆料体系中,氧化锌作为无机交联剂,其在水中的溶解性较差。若陪伴使用有机酸或其盐类的添加剂,它们能与氧化锌的外表层相互作用,形成一层亲水的保护性薄膜,此举有助于氧化锌在水相中保持稳定的分散状态,从而在参与水性树脂体系的交联过程中实现均匀融合,如此能够显著增强最终涂层的性质。

3.1.2 体积效应与粘度调节

使用稀释剂的多少会明显改变涂料系统的容积及粘稠度,并对交联剂的扩散及化学反应的速度产生影响。若加多稀释剂,整个体系的体积随之膨胀,从而降低包材空间的有效使用率,并对施工时的油漆用量及其可涂覆范围造成干扰。此外,溶剂分子穿插进聚合物的分子链之中,减弱了分子链的相互作用,导致粘度下降,例如加入环氧漆中的丙酮会减少其粘稠度,有助于施工操作,并保障涂层平整。

3.2 交联剂与稀释剂的化学作用

3.2.1 交联反应的促进与抑制

溶剂的不同类别会影响交联剂与聚合物的交联反应,可能加快或延缓该过程。含有能参与交联作用的活性官能团的稀释剂,例如,装有环氧功能团的稀释剂被用于环氧树脂体系时,其环氧官能团会与胺基硬化剂的氨基部分发生开环聚合作用,从而增多交联结点,并加快交联过程,促进涂料的迅速硬化,使得形成的交联结构更加紧密,进而显著提高了涂层的整体品质。与之相对的是,惰性稀释剂由于不含活性官能团,其主要作用是减少聚合物与交联剂的浓度,从而减少了它们之间的相互作用机会,使得聚合物的交联反应速度受到制约,进而延缓了涂料固化的过程,减少了交联点的密度,这最终会削弱涂层的硬度、耐磨损能力和对抗腐蚀的性质。

3.2.2 副反应及产物影响

交联剂和稀释剂在涂料体系中可能引起副作用,从而影响到涂层的性能。例如在二苯甲烷二过氧化物与醇类溶剂酒精组成的混合体系内,二苯甲烷二过氧化物经热解后产生的自由基能够从酒精的羟基处夺取氢原子,从而诱发一系列化学反应,进而生成如乙醛、乙酸等副产品。

4 对涂膜性能的影响

4.1 硬度与柔韧性

4.1.1 交联剂的影响

交联剂显著地影响了涂膜的硬度和柔韧性。举汽车零

件表面防护层所采用的异氰酸酯型交联剂为例,当其使用量增多,其交联结构的紧密度就会相应提升。这是因为-NCO基团同活性氢原子的反应作用,能够形成更多的交联点。结果就是,涂层的硬度因之得到增强,从而更有效地抵抗磨损和划伤。然而,当交联剂使用过剩时,涂层的柔软度将降低,因为交联度的过度增加会限制了分子链的活动,导致涂层在外界力作用下容易发生脆性破裂,并且不能适应部件在热胀冷缩过程中的形变。交联剂的种类不同带来的效果也不同,以胺类物质交联环氧树脂能产生硬质键合,从而得到硬度较大但缺乏弹性的涂层;而选择聚酯类交联剂则因其长链结构的特性,能融入柔性链节,赋予涂层既有的坚硬也具备一定的柔韧性。

4.1.2 稀释剂的影响

溶剂对油漆膜的干透进程及成膜后的构造具有决定性作用,它调和了涂层的坚硬度与弹性。适量蒸发的甲苯使得涂层逐渐干透时,高分子的聚集度逐步上升,分子链有序排列构成了紧密的结构,从而增强了其硬度同时确保了一定的弹性。丙酮的蒸发速度太快,导致表层迅速形成硬化膜,而内层尚未彻底干透,造成了涂层结构的不均匀性,进而使得其硬度与弹性均有所下降。使用量过多的惰性稀释剂导致聚合物与交联剂的浓度降低,从而使得交联作用不彻底,导致硬度减弱,虽然柔性有所提升,但是强度却显不足。具备活性基团的稀释剂可加入交联过程,适度混合能够在确保硬度的同时增强柔性,以满足塑胶膜涂层对这两种特性的严格需求。

4.2 耐腐蚀性

4.2.1 交联剂的影响

交联剂极大提升了涂层的抗腐蚀性能。若采用环氧树脂与胺类固化剂相结合作为化工装置的防护涂层,胺基会与环氧基发生开环聚合反应,形成致密的交联结构,增强了网络的交联程度,使得分子链紧凑排布,有效抵挡侵蚀性物质的渗透。当环境呈现酸性特征时,氢离子很难穿过交联的构造,而且即使有少许渗透,也将遭到中和消解。

使用的交联剂类型及其添加量会对耐腐蚀性产生影响。特异构造的交联化学物质可打造坚固致密的网状结构,增强对腐蚀的抵抗力;若用量不达标,将导致交联不彻底,易产生多孔性结构遭受腐蚀;反之,用量超量则使涂层易碎,进而裂缝或成为腐蚀的路径,需根据实际环境与需求谨慎选择恰当的交联剂和控制其用量。

4.2.2 稀释剂的影响

溶剂对涂层的防腐性能产生了多维度的作用。若使用的惰性稀释剂蒸发不合适,将导致涂层产生多孔及瑕疵。例如,若甲苯蒸发速度太快,涂层会出现内部气孔,这样就容易让侵蚀性物质渗入。激活型稀释剂中含有能够参加交联过程的活性基,恰当的投入能够优化交联结构,有效降低孔洞,

并增强材料对腐蚀的抵抗能力。

掌控稀释剂的用量至关重要,使用过量会使得聚合物和交联剂稀释,从而减少交联密度,形成结构松散容易被介质穿透,且涂层的厚度分布不均匀,薄的部分容易遭受腐蚀;相反,如果用量过少,涂料的粘度就会偏高,不仅施工困难,而且会造成涂层厚薄不一,容易产生腐蚀问题。因此,必须精确调整稀释剂的种类与用量。

5 实际应用

5.1 交联剂与稀释剂的选择

在车辆漆料行业内,挑选合适的交联剂与稀释剂对于涂层的功效与品质具有决定性的作用。在交联剂的应用领域中,由于其杰出的性能表现,异氰酸酯系列产品在汽车漆料中得到了普遍使用。在汽车出厂时使用的油漆中,大量的多异氰酸酯交联剂与丙烯酸和聚酯类型的树脂进行了结合。它们之间的-NCO基团与树脂的活性基团发生化学反应,形成了密实的交联网状结构,这种结构使得涂层具备了优秀的硬度、抗磨损能力以及对环境的适应力。如此设施的涂层,不但能有效防御外部的摩擦、刮伤以及紫外线和化学物的腐蚀,还保持其表面的完整性和美观度。

5.2 对涂膜性能的实际影响

汽车喷漆过程中,交联剂及稀释剂之间的相互影响,对于漆面的外表质感与持久性有着重要影响。在涂层表面方面,两者恰当的搭配确保了表面平滑和光亮度的优良特性。当配比恰当,油漆施工时可完美展现流畅效果。在轿车外表喷漆过程中,适宜的稀释剂可调节油漆至恰当粘度,利于喷射作业,确保车体涂层均匀;而固化剂促进树脂分子密集结合,使得漆面细腻无瑕、光泽度佳,从而增强了车辆的表现质量。

6 结语

本研究深入剖析了交联剂与稀释剂在高性能聚合物涂层中的相互作用及对涂膜物性的影响,明晰了其在各领域应用的关键要点。随着工业科技持续发展,高性能聚合物涂层需求日益增长,精准掌控交联剂与稀释剂的协同作用至关重要。未来研究可着眼于新型交联剂和稀释剂研发,深度挖掘其作用微观机制,优化配方与工艺,进一步提升涂层性能,降低成本与环境影响,推动高性能聚合物涂层在多领域的创新应用与可持续发展。

参考文献

- [1] 高洁,宋亚军,胡正杭,等.电子束固化丙烯酸酯压敏胶的制备及性能研究[J].精细与专用化学品, 2024, 32(8):31-34,40.
- [2] 曾艳宁,杨伟明,李嘉炜,等.基于硼酸酯交换的高韧环氧类玻璃的制备[J].青岛科技大学学报:自然科学版, 2023, 44(3):78-88.
- [3] 柴卫军.改性水玻璃和聚氨酯封堵材料在防火中的应用[J].江西化工, 2023, 39(1):86-89.