



LOCTITE®

新型耐磨 复合材料

Leo Li、Chunfu Chen、Henry Chu、Choc Wang、汉高 ACM-APAC PD 团队
2020 年 9 月 3 日

摘要

耐磨复合材料是聚合物复合材料产品，结合了出色的耐磨陶瓷磨料和高附着力、耐冲击的双组分环氧树脂技术。我们最近开发并推出了一种新型耐磨复合材料——LOCTITE® PC 7332™，它适用于电力、矿山和钢铁的工艺设备（如脱硫泵和管道、浆液泵和炉渣粒化泵）的高磨损区域，以防止遭受严重的湿态磨损。LOCTITE® PC 7332™ 是一种可在室温下固化的双组分碳化硅填充环氧树脂产品。在不同条件下，通过干磨测试、浆液磨蚀测试、Miller 浆液测试和气流冲蚀测试，对其耐磨性进行了测定。本文对测试结果进行了讨论，并与现有的耐磨复合材料和其他保护性涂层产品进行了比较。其中还介绍了产品特性和主要功能。

1. 简介

耐磨复合材料已被广泛用作耐磨保护涂层，通过保护工业设备免受

腐蚀、磨蚀、化学侵蚀和恶劣工业环境中遇到的其他磨损的影响，来延长设备的使用寿命。它可用于修复磨损的表面或用于保护新部件。

几十年来，汉高一直是全球耐磨复合材料市场的领导者和技术供应商。我们拥有一系列高性能耐磨复合材料，可满足各种耐磨和重建应用的需求 [1]。

最近，随着人们对生产效率的要求提高，这些材料需要进一步提高耐磨性并延长使用寿命。

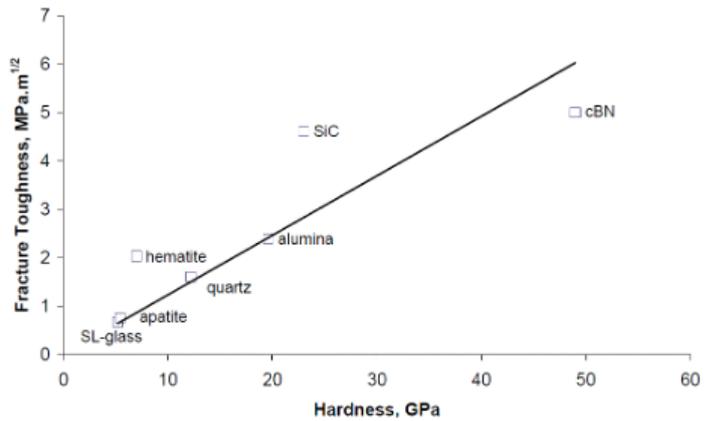
耐磨复合材料产品的树脂部分通常由环氧树脂、填料、氧化铝陶瓷、硅烷偶联剂和其他所需添加剂组成。其硬化剂部分主要由脂肪族胺、聚酰胺、氧化铝陶瓷球和其他所需添加剂组成。

氧化铝具有良好的耐磨性和易供应性，已被普遍用作耐磨复合材料的主要耐磨陶瓷填料。如图 2 [2、3] 所示，与氧化铝相比，碳化硅具有更高的硬度和韧性，表明在实际使用时可能具有更高的耐磨性能。表 2 比较了碳化硅和氧化铝的特性。

表 2.碳化硅和氧化铝的特性

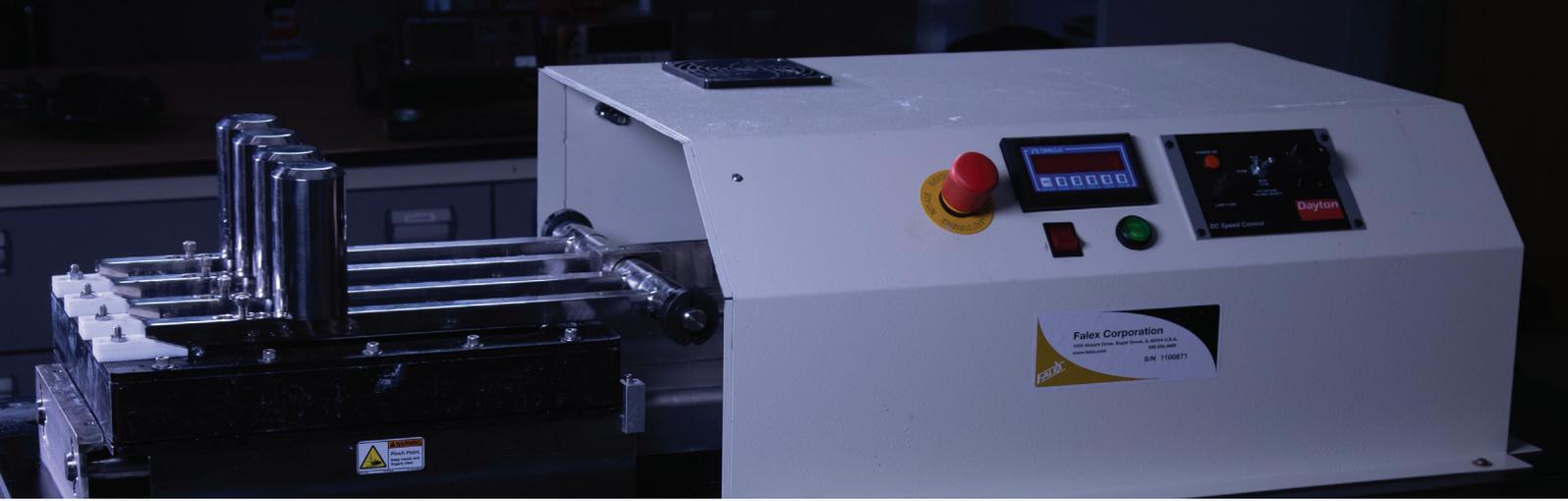
特性	碳化硅	氧化铝
真实密度 · g/cm ³	3.21	3.98
努氏硬度 · HK	2,600	2,000
熔点 · °C	2,600 (分解)	2,000
比热 · kJ/kg · K	0.63–1.26	0.92–1.26
导热系数 · W/mK		
室温	167.6	30.2
400°C	67.0	13.0
1,000°C	46.9	6.3
CTE · ppm/K		
室温	3.8	6.9
400°C	4.1	7.8
1,000°C	4.8	8.3

图 2.常用磨料的硬度和断裂韧性



新产品 LOCTITE® PC 7332™ 已成功开发并于近期推出。LOCTITE® PC 7332™ 已通过认证，可用于在恶劣的湿磨条件下保护浆液泵，将设备使用寿命从 6–8 个月延长到 18 个月以上，并在实际使用中表现出令人满意的出色耐磨性能。





2. 材料与方**法**

2.1 材料

LOCTITE® PC 7332™ A 批号：PM171220A

LOCTITE® PC 7332™ B 批号：PM171229B

2.2 测试方法和参数

干磨测试由 DUCOM TR- 0 干磨试验机依据 ASTM G-6 标准进行。

浆液磨蚀测试由 DUCOM TR-44 浆液磨蚀测试机依据 ASTM G-7 标准进行。

特性	转速：100rpm
	转数：200
	载荷：kg
	试样尺寸：76x2.4x12.7mm

测试参数	转速：100rpm
	转数：300
	载荷：10.09kg
	料浆：2kg Al2O3+ 00ml 水
	试样尺寸：76x2x6mm



2.2 测试方法和参数 (续) Miller 测试由 DUCOM TR-4 Miller 和 SAR 数试验机依据 ASTM G7 -01 标准进行。

测试参数	每个机臂上的载荷：22.4N
	测试持续时间：2 小时
	浆液：2kg Al ₂ O ₃ + 00ml 水
	行程长度：203.2mm

气流冲蚀测试由 DUCOM TR-471- 900 气流冲蚀试验机依据 ASTM G-76 标准进行。

测试参数	侵蚀物排放：2 gm/min
	侵蚀物流速：72 m/s
	测试条件：环境温度
	测试持续时间：每个支架 1 分钟
	消耗的侵蚀物：30000mg
	试样尺寸：2 x 2 x mm



3. 结果和讨论

3.1 产品说明

LOCTITE® PC 7332™ 是一种可在室温下固化的双组分碳化硅填充 100% 固体环氧树脂体系，设计用于保护、重建和维修会受到严重湿磨的工艺设备

(例如脱硫泵和管道、料浆泵和炉渣粒化泵) 的高磨损区域。本产品还可用于防止干燥条件下输料弯管、溜槽和其他设备中的颗粒磨蚀。它通常用于工作温度为 -30 °C 至 120 °C 的场合。

3.2 成分和特性

3.3 耐磨性

LOCTITE® PC 7332™ 的耐磨性通过四种不同的磨蚀测试方法进行测定，以便评估和模拟其在各种工业应用中的耐磨性能。本文将测定结果与其他保护涂层产品进行了比较和讨论 [4]。

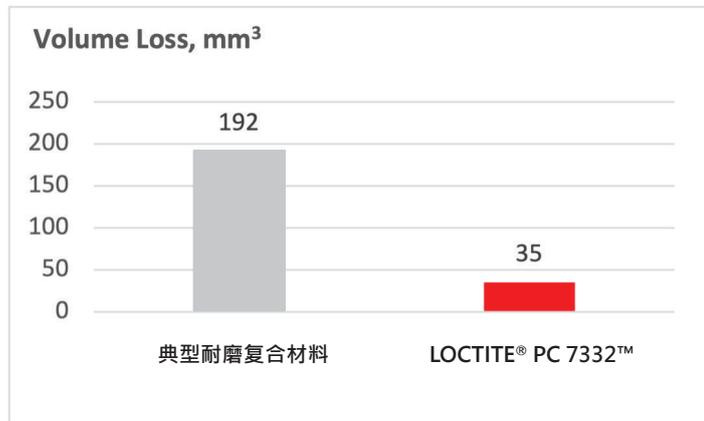
3.3.1 干态耐磨性

干磨试验是用干砂和橡胶轮来测定耐磨材料的刮擦磨损性能。这些结果可用于模拟耐磨应用，例如给煤机和磨煤机、烧结厂弯管和管道以及水泥袋式收尘器管道。LOCTITE® PC 7332™ 的干磨测试结果汇总在表 4 中。

图 3 对其体积损失结果与典型耐磨复合材料进行了比较。可以看出，LOCTITE® PC 7332™ 的体积损失较低，表明涂层使用寿命更长。与其他保护涂层产品相比，发现 LOCTITE® PC 7332™ 的干态耐磨性是迄今为止测试的所有产品中最高的。其体积损失甚至低于热固化耐磨复合材料。

试样编号	重量 · mg (初重、终重、损失)	重量损失 · mg	体积损失 · mm ³
1	2319、2249、70	80	3
2	46714、46626、88		
3	46829、46748、81		

图 3. 干磨测试的体积损失结果



3.3.2 耐浆液磨蚀

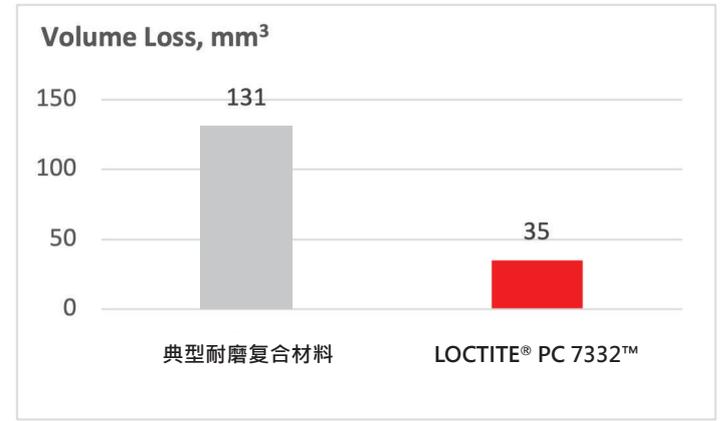
浆液磨蚀测试是用潮湿氧化铝研磨浆液通过钢轮和固化样件之间来确定材料的耐磨性能。

浆液磨蚀结果可用于模拟污水处理中的除灰泵和澄清池耐磨应用。LOCTITE® PC 7332™ 的浆液磨蚀测试结果汇总在表中。

图 4 将其体积损失结果与典型耐磨复合材料进行了比较。LOCTITE® PC 7332™ 的重量损失较低，约为标准耐磨产品的 1/4。此结果表明 LOCTITE® PC 7332™ 的性能也明显更好，并且在各种实际应用中，在严重的湿浆液磨损条件下，其使用寿命显著延长。

试样编号	重量 · mg (初重、终重、损失)	重量损失 · mg	体积损失 · mm ³
1	26979、26896、83	79	3
2	27111、27436、7		
3	298、2899、86		

图 4. 浆液磨蚀测试的体积损失结果



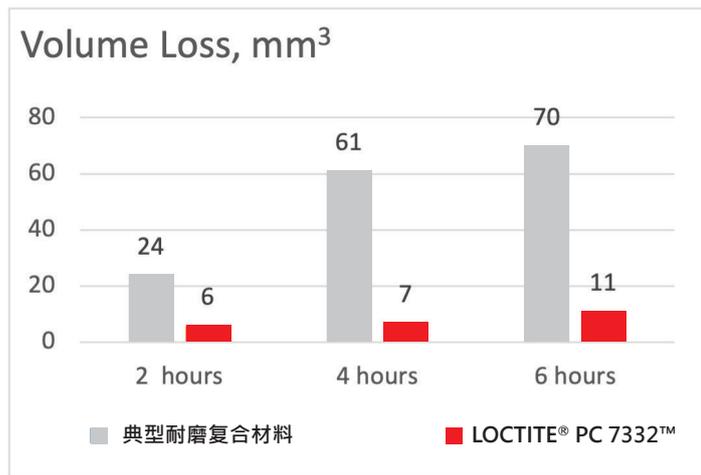
3.3.3 Miller 浆液磨蚀

Miller 浆液测试可测定任何浆液的相对磨蚀度，或不同浆液对不同耐磨材料的磨蚀度的反应。

Miller 浆液测试结果可用于模拟发电厂浆液处理泵、物料处理系统中的除灰管道和弯管以及泥浆泵的磨损保护应用。LOCTITE® PC 7332™ 的 Miller 测试结果汇总在表 6 中。图 5 对其体积损失结果与典型耐磨复合材料进行了比较。可以看出，LOCTITE® PC 7332™ 的体积损失较低。与现有的其他保护涂层产品相比，发现 LOCTITE® PC 7332™ 的耐浆液磨蚀性是迄今为止测试的所有产品中最高的。其体积损失甚至低于热固化耐磨复合材料。

试样编号	重量 · mg (初始、2 小时、4 小时、6 小时)	重量损失 · mg (2 小时、4 小时、6 小时)
1	4036、4020、4017、4012	16、19、24
2	3886、3873、3868、38	13、18、31
3	3917、3906、3904、3900	11、13、17
平均重量损失 · mg		13、17、24
体积损失 · mm ³		6、7、11

图 5. Miller 测试的体积损失结果



3.3.4 气流冲蚀

气流冲蚀测试测定了气体夹带固体颗粒冲击侵蚀造成的材料损失。测试结果可用于模拟以下耐磨应用：水泥行业的原料磨、袋式收尘器和篦冷机，电力行业的磨煤机内锥体和除灰系统以及

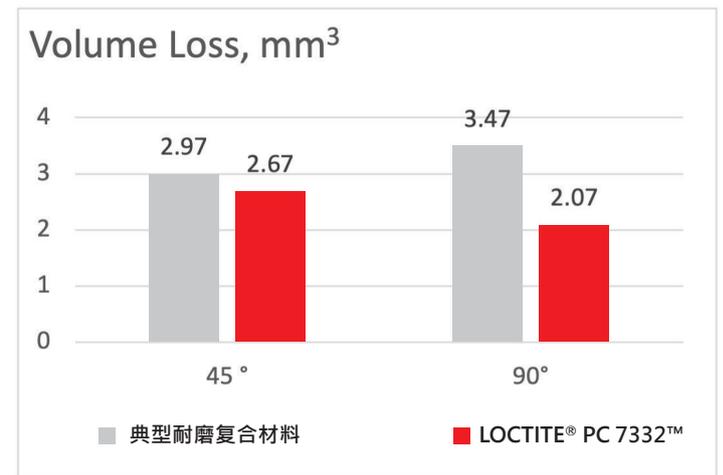
钢铁和煤炭行业的高炉设备。

LOCTITE® PC 7332™ 的气流冲蚀测试结果汇总在表 7 中。图 6 对其体积损失结果

与标准耐磨复合材料进行了比较。如图所示，在 4° 和 90° 测试中，LOCTITE® PC 7332™ 的体积损失均低于典型耐磨复合材料。与其他经过测试的保护涂层产品相比，LOCTITE® PC 7332™ 的性能最佳。

冲击角度	试样编号	重量 · mg (初重、终重、损失)	质量损失 · mg	体积损失 · mm ³
4°	1	7204、7199、	6	2.67
	2	6669、6662、7		
	3	6341、6335、6		
90°	1	6895、6889、6	2.07	2.07
	2	7160、716、6		
	3	6265、6261、4		

图 6. 气流冲蚀测试的体积损失结果





4. 结论

LOCTITE® PC 7332™ 是一种高度耐磨的复合材料，它优化了环氧树脂和耐磨填料成分。在炼钢厂恶劣湿磨环境下的浆液泵保护应用中，这种材料表现出出色的耐磨性能和较长的使用时间。各种摩擦学测试结果表明，LOCTITE® PC 7332™ 拥有经各种测试方法证明的最高耐磨性能。

这表明 LOCTITE® PC 7332™ 适用于保护、重建和维修电力、矿山和钢铁工厂应用中易受到严重湿磨的工艺设备（例如脱硫泵和管道、浆液泵和炉渣粒化泵）的高磨损区域。LOCTITE® PC 7332™ 还可用于防范干燥条件下输料弯管、溜槽和其他设备中的颗粒磨蚀。



致谢

作者对 Paresh Raiyani 和 Jayesh Shah 致以谢意，感谢他们协助进行磨蚀测试。

参考资料

1. 汉高乐泰维护解决方案指南，2017 年第 20 卷
2. P. C. Milak、F. D. Minatto、A. De Noni Jr、O. R. K. Montedo、Ceramica，61(201)，88–103
3. G. Pintaude, In : T. Ghrib · New Tribology Ways · 伦敦：Intechopen；2011 年，117–130。
4. J. Shah、P. Raiyani、N. Adkar、T. Buckley、G. Zafaroni、R. Newmayer · ASTM 摩擦学测试方法与聚合物复合材料产品最终工业应用的关联 · New to the World Data · 2017 年