

Study on Inorganic Fireproof Ceramic Coating on the Surface of Aluminum Body

Li Wei, Yu Sun

(Faculty of Materials science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: Inorganic fireproof coating was prepared on the Al alloy plane for main component using inorganic binding agent with adding appropriate inorganic sol and agent. The component of inorganic fireproof paint and the microstructure of interface between coating and base Al alloy was studied, sometime, acidstability, alkalistability and non-combusibility of ceramic coating was tested. The results show that if acid aluminum phosphate is adopted as main inorganic sol component, when the amount of the adhesive agent is 60% and the granularity of the additive is 1~2 μ m, the surface of the coating is homogeneous, dense and no shrinking holes. A new phase is generated on the interface between coating and base materials, and diffusing mutually and form transition layer. Thus, the bondstrength between coating and base materials is development. The ceramic coating could resistant acid about 14 hours, and resistant alkali 24 hours. The prepared ceramic coating achieves the above standards of finishing fire retardant paint (the national standard of China, GB12441-2005). The fireproof of the coating can last for over 30 min without combustion, scaling off, smoke and harmful gas and the coating materials possess good properties of fire proof and flaming retard.

Keywords: inorganic fireproof coating; surface of Al alloy; inorganic sol

铝基无机阻燃陶瓷涂层的研究

魏莉, 孙宇

沈阳理工大学材料科学与工程学院, 辽宁沈阳 110168

摘要: 以无机阻燃原料为主要成分, 添加适当的无机溶胶、助剂等, 在铝合金板上制备无机防火涂层。研究了无机防火涂料的组成及涂层与铝合金基体的界面微观组织结构, 并对所制备的陶瓷涂层的耐酸性、耐碱性、非燃性进行了测试。实验结果表明: 采用酸式磷酸铝作为无机溶胶的主要成分, 在Al/P质量比为1: 3.25、溶胶的用量为60%、添加剂粒度为1~2 μ m时, 涂层表面均匀、致密、无缩孔, 涂层与基体材料在界面处有新相生成, 且相互扩散形成过渡层, 使涂层与基体的结合强度得到提高。陶瓷涂层可耐酸14小时, 耐碱24小时。所制备的陶瓷涂层达到了饰面型防火涂料的国家标准(GB12441-2005), 涂层的耐火极限高于30min, 不燃, 不脱落, 无烟, 不产生有毒的气体, 具有很好的防火阻燃作用。

关键词: 无机防火涂层; 铝合金表面; 无机溶胶

1 引言

随着城市高层建筑和轨道交通的迅速发展, 对防火要求越来越高。由于高层建筑和地铁系统的特殊性, 在遭遇火灾时烟雾不易扩散。一些重大火灾事故事后调查表明, 在火灾中丧生的人员中, 大部分不是直接被烧死, 而是被有机物燃烧后放出的毒

烟熏死或熏晕后烧死的^[1-3]。

铝合金已经被广泛应用于高层建筑和轨道客车的内饰, 在铝合金表面喷涂防火涂层, 是一种集装饰、保护和防火为一体的涂层, 当它涂覆于铝基材上时, 平时可起到一定的装饰、保护作用, 一旦火灾发生时, 则具有阻止火势蔓延的作用^[4-5]。目前防火涂层多采用有机涂层, 涂层遇火时能形成良好

的具有隔热性能的致密的保护层，能保护基体材料，但这种涂层的保护能力有限，遇着火时间长时仍会燃烧^[6]。无机防火涂层与目前广泛应用的有机涂料相比，具有优良的耐热性、耐老化性、高表面硬度及无毒、无烟等特性^[7-8]。目前国内外的防火涂层多采用硅溶胶为基料，它的缺点是易龟裂、涂层与基体结合能力差^[9-10]。本文采用磷酸盐作为溶胶，合理选择纳米级无机填料作为助剂，通过对涂层制备参数的探索，研究涂层与界面的结合机理，获得符合饰面型国家标准的防火涂层。

2 实验方法

2.1 涂层的制备

2.1.1 无机溶胶的制备

本研究采用磷酸盐溶胶，其特点是：磷酸盐溶胶凝结后可形成具有网状结构的大分子，包覆在基体的表面，同时可与铝基体表面发生化学反应而形成具有较高强度的化学结合的界面，与硅酸盐溶胶相比，其耐水性好、固化收缩率小，高温强度大、可在较低温度下固化等优点^[11-12]。

先将氢氧化铝加适量水溶解，再将磷酸加热，根据磷酸氢铝中铝原子与磷原子的比例（Al/P）来调节加入氢氧化铝和磷酸的量，然后缓慢加入溶解的氢氧化铝，使磷酸和氢氧化铝充分混合并反应，加入促凝剂，调整适当的 pH 值，保温 1—2 小时。自然冷却至室温，得到无色、透明的磷酸氢铝溶胶。

2.1.2 无机防火涂层的制备

无机涂层由无机溶胶、阻燃剂、骨料及其它用于调整颜色的添加剂组成。骨料选择无机物 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 ，阻燃剂选择 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、膨润土等。按一定比例称取阻燃剂、复合填料、助剂等原料，在 KQM-X4 型行星式球磨机上进行高速分散混合充分搅拌，混合均匀。将以上混合物中加入溶胶和分散剂，低速搅拌、混合均匀，得到无机涂料。

铝合金经除油—喷砂—水洗等预处理后，将制备好的无机涂料喷涂于铝合金表面，室温阴干 12~24h，在 50℃ 的烘箱中保温 1h，再在 150℃-250℃ 的温度下保温 1h，升温速度 1~2℃/min。经固化烘干后，可得无机防火涂层。

2.1.3 涂料微观组织结构

XRD 采用 PW3040160X 衍射仪，用 Cu 靶 $K\alpha$

射线。SEM 分析试样制成标准金相试样，采用 SX-550 低真空扫描电子显微镜。

2.2 涂层的性能测试

2.2.1 涂层的微观组织结构

用日立 S-3400 扫描电镜观察所制备涂层的微观组织形貌，采用 XRD PW3040160 X 衍射仪对涂层的物相组成进行分析。

2.2.2 涂层的耐酸、碱性

耐酸性试验选用 0.1mol/l 的 HCl 作腐蚀液，浸泡 16 小时。耐碱性试验选用 0.1mol/l 的 NaOH 作腐蚀

液，浸泡 24 小时。以陶瓷涂层开裂或脱落作为评定涂层耐蚀性的依据。涂层腐蚀前后用分析天平称其质量。根据平均腐蚀失重来评定涂层的耐蚀性。

2.2.3 涂层防火性能

(1) 饰面型防火涂料的国家标准检测

按饰面型防火涂料的国家标准 GB12441-2005^[13]进行检测。涂层的细度、干燥时间、附着力、柔韧性、耐冲击性及耐水性六项试验应在温度 (23±2)℃、相对湿度 (50±5)% 的环境条件下，按照国标规定的方法进行检测。

(2) 材料的非燃性检测^[14]

将试样 (40mm×50mm×3mm) 放进 60℃ 的通风炉中干燥 24 小时，冷却到周围环境温度。将试样放入 400℃ 炉中，在 20 分钟内连续记录热电偶器的温度，并注意炉内的任何燃烧现象的发生与持续时间。

(3) 涂层的耐燃性检测

采用垂直燃烧法确定涂层的耐燃时间^[15]。将放置测试板用的铁圈固定在铁架台上，铁圈与酒精喷灯口的垂直距离为 7cm，待火焰温度达到 1000℃ 时，将测试板置于铁圈上，然后开始计时至检测终点。在检测时，涂层出现裂缝或整体剥落，定为耐燃时间 (min)。

3. 结果与讨论

3.1 Al/P 对涂层的影响

磷酸二氢铝基料最主要的特征是酸度。文献指出^[12]：基料的主相为 $AlH_3(PO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ，加热时主要产物为 $[Al(H_2PO_4)_2]$ ，它是磷酸盐基料中附着性最好的成分。图 1 是基料中 Al/P 比率对涂层的影响。

表 1 Al/P 的变化对涂层的影响

Al/P	实验现象及结果
1: 15	混合容易，但涂层阴干速度慢，48小时还没干，固化后有鼓泡现象，涂层易剥落
1: 6	涂层阴干速度慢，固化后有鼓泡、剥落现象
1: 3.25	固化剂与溶胶反应较慢，24小时可阴干，涂层均匀，固化后无鼓泡现象，涂层与基体结合良好

由表 1 可以看出，Al/P 为 1: 3.25 时制得的涂

层较好。Al/P 过小，涂层阴干太慢，固化后涂层容易出现鼓泡、剥落现象；Al/P 为 1: 3.25 时，涂层阴干较快，制得的涂层均匀平整，与基体结合良好。

3.2 溶胶用量与涂层致密度的关系

溶胶用量与涂层致密度的关系见表 2，结果表明，溶胶用量与粘结强度成正比，但增加胶溶粘量，等于相对减少阻燃剂的量，会导致防火性能的降低，因此溶胶与阻燃剂之间有一个用量临界值。图 1 中为不同溶胶用量的涂层的扫描电镜照片。由图中可见，当溶胶用量为 35% 时，涂层与铝合金基体结合不牢固，涂层出现“皴裂”现象(如图 1a)；当溶胶用量为 45% 时，涂层与铝合金基体比图 1a 牢固，但仍可见“起皱”、“缩孔”现象，且有大量的孔洞存在(如图 1b)。当溶胶用量为 60% 时，涂层与铝合金基体结合牢固，涂层表面均匀致密(如图 1c)。

表2 溶胶用量与涂层致密度的关系

Table 2 Relationship between the amount of adhesive agent and the coating density

溶胶用量 (%)	30	45	60
涂层致密度	致密度差 涂层疏松、皴裂	致密度差 有孔洞、起皱	致密度较好 涂层组织均匀

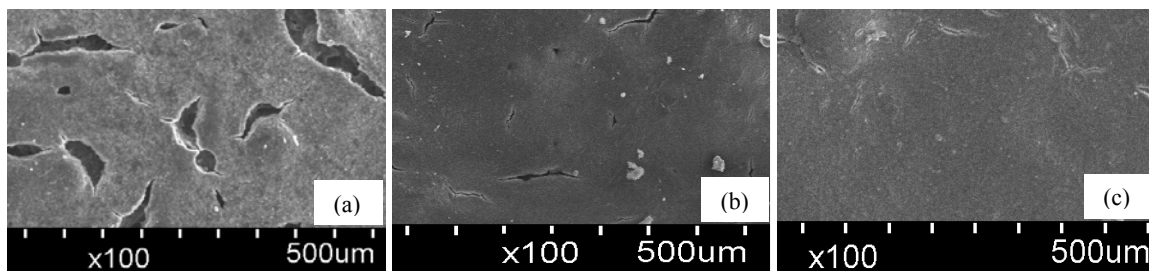


图 1 涂层致密度与胶黏剂用量的关系

Fig.1 Relationship between the coating density and the amount of adhesive

(a) 40% (b) 50% (c) 60%

3.3 陶瓷骨料用量与溶胶比例的关系

骨料与溶胶比例对涂层的影响如表 3 所示。当骨料与溶胶的比例小于 0.5: 1 时，骨料与溶胶混合容易，涂料粘性好，涂覆时涂层均匀，涂层与基体结合良好。但是，涂层在随后的防火测试中，涂层

的防火性能和抗热震性明显低于骨料与溶胶的比例为 0.5: 1 的涂层。当骨料与溶胶的比例为 0.7: 1 和 1: 1 时，骨料与溶胶混合困难，料浆粘性下降，涂层成型后表面不均匀且有大颗骨料粒子，表面理化性能差。所以本骨料与溶胶的比例确定为 0.5: 1。

表 3 骨料量与溶胶的比例对涂层的影响

骨料: 溶胶	实验现象及结果
0.2: 1	骨料与溶胶混合容易, 涂料粘性好, 涂覆时涂层均匀, 涂层与基体结合良好, 但粒子少, 防火性能差。
0.5: 1	骨料与溶胶混合较容易, 涂覆时涂层较均匀, 粒子较少, 涂层与基体结合良好。
0.7: 1	骨料与溶胶混合较难, 涂层不均匀, 有粒子
1: 1	骨料与溶胶混合困难, 加水量多使料浆粘性下降, 涂层不均匀, 上面有颗粒。

3.4 陶瓷颗粒的粒度对表面致密性的影响

图 2 中的 a 图是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粒径为 $48\mu\text{m}$, 添加剂粒径为 0.074mm 时涂层的扫描电镜照片。图中可见, 涂层中的添加剂颗粒悬浮在涂层表面, 当在一定温度涂层固化时, 会引起涂层收缩, 出现不规则的孔洞, 而使涂层的致密度降低。图 b 是 $\text{Al}(\text{OH})_3$

粒径为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 、而防火添加剂粒径为 $48\mu\text{m}$, 涂层致密度有所加强, 仍可看到添加剂的颗粒涂料粒度悬浮在涂层表面; 图 c 是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粒度与添加剂粒径均为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 时的涂层的扫描电镜照片。可见陶瓷颗粒与溶胶结合好, 涂层均匀且无缩孔, 致密度较好。

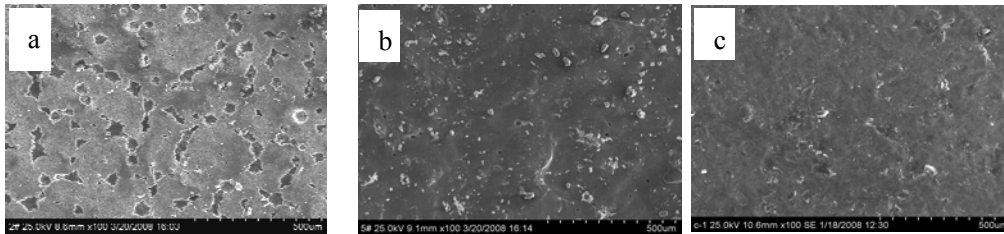


图 2 不同添加剂粒度的涂层扫描电镜图片

a- $\text{Al}(\text{OH})_3$ $48\mu\text{m}$, 添加剂 0.074mm ; b- $\text{Al}(\text{OH})_3$ $48\mu\text{m}$, 添加剂 $48\mu\text{m}$; c $\text{Al}(\text{OH})_3$ $1\sim 2\mu\text{m}$, 添加剂 $1\sim 2\mu\text{m}$

3.5 涂层固化温度的确定

图 3 显示了各种不同固化温度制度下的涂层表面。图 3a 是基体喷涂后, 直接放入远红外烘干箱中, 升温速度为 $2^\circ\text{C} / \text{min}$ 。涂层在固化之前含有较多的吸附水, 在固化过程中, 由于水的蒸发, 使得涂层收缩过快, 涂层的表面形成缩孔。图 3b 是基体喷涂后, 室温阴干 $12\sim 24\text{h}$ 。然后放进烘干箱中, 升温速度大于 $3^\circ\text{C} / \text{min}$, 尽管涂层在固化之前蒸发了部分水, 但涂层在固化过程中升温速度过快, 涂

层的表面形成了皸裂现象。图 3c、3d 是涂层在室温阴干 $12\sim 24\text{h}$ 后, 在烘干箱缓慢加热, 升温速度控制在 $3^\circ\text{C} / \text{min}$ 以下, 在 50°C 时保温 30min , 确保涂层含有较少的吸附水。c 图的最终固化温度为 150°C , d 图的最终固化温度为 200°C 。可以看出涂层表面致密。但固化温度为 150°C 的涂层比固化温度为 200°C 涂层疏松, 而固化温度为 200°C 时则涂层较致密。

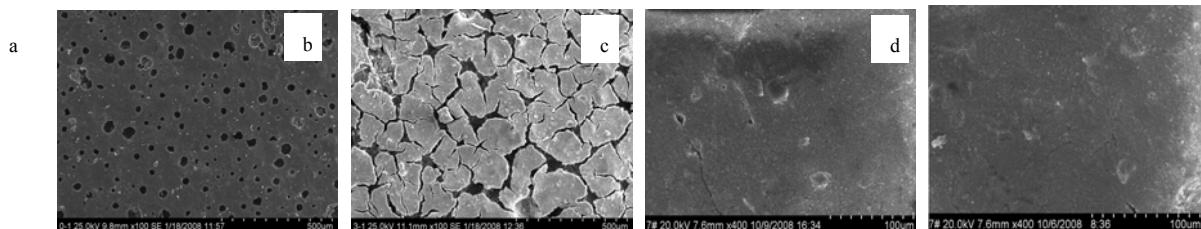


图 3 不同固化温度的涂层表面

Fig.3 Coating surface by different solidifying temperature

3.6 涂层微观组织结构分析

涂层与基体间的结合直接影响涂层的性能。在陶瓷涂层与金属基体之间一般存在两种互相作用：一是物理作用，其表现为范德华力和静电引力等；另一种是化学作用，即共价键，离子键和金属键的作用。

采用扫描电子显微镜和 X 射线衍射仪分析对所制备的陶瓷涂层的物相、微观结构进行分析。图 4 为金属基陶瓷涂层的扫描电子显微镜（SEM）照片，图 5 为涂层的 XRD 结果。

从图 4、图 5 可以看出，涂层与基体界面结合较好，且在界面处有一厚度达几个微米的过渡层，

涂层组织已深入到基体组织中，并与基体在界面处形成机械联索效应,使涂层与基体的结合牢固。而 XRD 结果显示，涂层的物相分别为 $Al_{3.21}SiO_{0.47}$ 、 $Al_{1.92}Cr_{0.8}O_3$ 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 $Al(OH)_3$ 、 $AlPO_4$ 。分析表明， Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 $Al(OH)_3$ 是料浆中的原有成份， $AlPO_4$ 的存在表明料浆中的 Al_2O_3 、 $Al(OH)_3$ 与溶胶中的磷酸发生反应而生成 $AlPO_4$ ， $Al_{3.21}SiO_{0.47}$ 的存在表明， Al_3O_2 中的部分 O 原子被 Al 原子和 Si 原子取代，形成了 $Al_{3.21}SiO_{0.47}$ ； $Al_{1.92}Cr_{0.8}O_3$ 的存在表明 Al_2O_3 中的部分的 Al 原子被 Cr 原子取代形成了 $Al_{1.92}Cr_{0.8}O_3$ 。这说明在涂层与基体的界面已发生了化学反应，并有新相生成，在涂层与基体之间形成了化学结合。



图 4 涂层界面的 SEM 照片

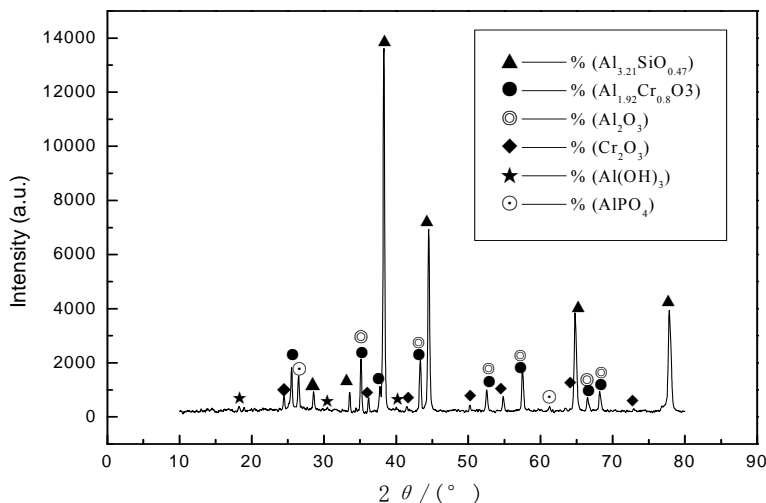


图 5 涂层界面的 SEM 照片

3.7 涂层的耐酸、碱性

陶瓷涂层用作金属的保护层时，重要的是考察涂层与基体的结合力以及涂层的致密性。对涂层耐腐蚀性的检测，是检验涂层的致密程度与基体结合能力^[14]。图 3 为基体与涂层的耐酸性曲线。可以看出，由于铝合金基体不耐酸腐蚀，基体在酸性溶液中质量损失跟时间成正比。由于涂层与基体结合力较好，在涂层中增加了涂层的抗酸侵蚀能力，在浸泡 10h 后，涂层的失重量变化不大。但是，骨料中含 Al₂O₃、MgO、SiO₂ 多为碱性氧化物，与酸发生反应，而且基体在 HCl 溶液中，由于 Cl⁻ 对涂层的腐蚀及点蚀，涂层缓慢腐蚀，在 14h 后失重率为 298g/m²。在腐蚀过程中，当试样刚刚接触腐蚀液时，腐蚀液首先通过涂层中的孔洞、微裂纹等毛细

作用向涂层纵深渗透，陶瓷涂层是由不同粒度的粒子堆积而成，颗粒间的空隙较多，因而其组织不均匀，其间存在不少的孔洞，降低了涂层的使用性能，特别是耐腐蚀性能^[16]，因此涂层的致密度越好，越能够增加耐酸能力。

图 6、图 7 为基体与涂层的耐碱性曲线。可以看出，基体在 10h 时失重率达到 180g/m²，12h 后质量基体不变，这是基体表面形成钝化膜的缘故。涂层在腐蚀开始阶段质量减少，是由于涂层中的残余的磷酸与 NaOH 发生反应。随着腐蚀时间的增加，涂层失重量趋于平衡。由于陶瓷骨料大多为碱性氧化物，不与碱发生反应，且涂层与基体的致密度较好，涂层阻隔了基体与外界接触，从而提高了涂层的耐碱性。

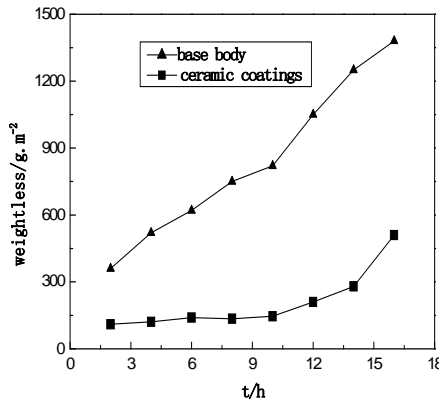


图 6 涂层的耐酸性
Fig.6 Acid corrosion resistance of coatings

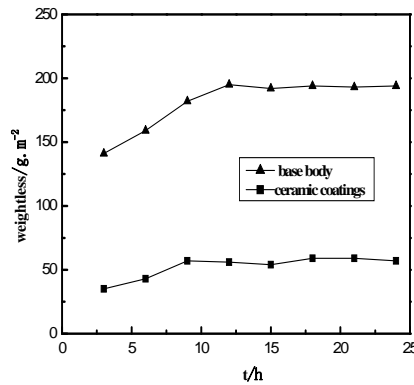


图 7 涂层的耐碱性
Fig.7 Alkaline corrosion resistance of coatings

3.8 饰面型防火涂料的国家标准检测结果

按饰面型防火涂料的国家标准 GB12441-2005 提供的检测方法对涂层的理化性能进行了检测，结

果如表 4 所示。所得涂层的理化性能基本达到了国家标准。

表 4 GB12441-2005 涂层理化性能测试结果

Table4 Physicochemical property test results of coating under GB12441-2005

Item	Specifications	Test values
State in contain	7 days in contain	Even and non-agglomeration
fineness (μm)	≤90	≤50
Drying time(h)	Surface drying	1.5
	Solid drying	10
Adhesive attraction (grade)	≤3	≤1

Shock resistance (kg·cm)	≥20	≥40
Water resistance (h)	24h no wrinkled, no falling, allowable tiny lost of gloss and discolored	48h no wrinkled, no falling and no discolored
Humidity resistance (h)	48h no blistered, no falling, allowable tiny lost of gloss and discolored	96h no wrinkled, no falling and no discolored
Lose of mass/g	≤5	≤5

3.9 涂层非燃性检测结果

涂层非燃性检测实验结果如表5所示，加热炉里没有观察到任何燃烧现象的发生。检测的三个试

样中，从其中的任意一个热电偶读出的温度比炉子的起始温度增加不超过50℃。涂层符合英国的BS476 - 4材料非燃性检测。

表 5 涂层非燃性测试结果

Tab.5 Non-combustibility test results of material under BS476 - 4

Specifications	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Increment of sample thermocouple readout to the initial temperature within furnace: ≤50℃	21℃	26℃	19℃
Lasting time of flame within furnace: ≤10s	0	0	0

3.10 涂层的耐燃性检测结果

由涂层的耐燃性检测，可知涂层的耐火极限高于30min，涂层不燃，无浓烟，未放出刺激性的气

体和浓烟，表层颜色变化不大。图 8a、8b 为燃烧检测前后的扫描电镜照片。对比图 8a、8b 可以发现，涂层燃烧检测前后微观组织变化不大，尽管出现细小的空洞余裂纹，但涂层与基体结合牢固。实验证明，涂层具有非燃性与一定的防火阻燃作用。

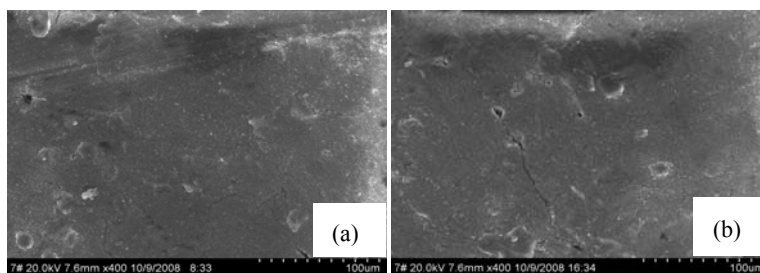


图 8 燃烧检测前后的扫描电镜照片

Fig.8 SEM images of coatings before and after the burning test

(a) before (b) after

4. 结论

无机阻燃原料为主要成分，添加适当的无机溶胶、助剂等，可制备无机防火涂层，用于地铁内饰的铝合金板上。无机阻燃陶瓷涂层主要由无机溶胶、陶瓷骨料和无机阻燃添加剂等组成。采用酸式磷酸铝作为无机溶胶的主要成份，在Al/P质量比为1: 3.25、溶胶的用量为60%、添加剂粒度为1-2μm

时，涂层表面均匀、致密、无缩孔。

陶瓷涂层的成分及界面结合情况分析表明：涂层与基体材料在界面处有新相生成，且相互扩散形成过渡层，在界面处产生机械连锁效应，使涂层与基体的结合强度得到提高。

涂层的耐酸、耐碱性实验结果表明：陶瓷涂层可耐酸14小时，耐碱24小时。按照GB12441-2005和材料非燃性标准对涂层的理化性能进行检测。结

果表明：所制备的陶瓷涂层达到了饰面型防火涂料的国家标准和非燃性检测标准。涂层的耐火极限高于30min，不燃，不脱落，无烟，不产生刺激性的气体，具有很好的防火阻燃作用。

References (参考文献)

- [1] Huang Rui, Yang Lizhong, Fang Weifeng. Progress in Study of Hazard Analysis of Fire Smoke [J]. Engineering Science. 2002, 4(7): 80-85. (in Chinese)
黄锐, 杨立中, 方伟峰等. 火灾烟气危害性研究及其进展[J]. 中国工程科学. 2002, 4(7): 80-85
- [2] Yang Lizhong, Fang Weifeng, Deng Zhihua. Study on iFre Smoke Toxicity [J]. Fire Safety Science. 2001, 10(1): 29-33. (in Chinese)
杨立中, 方伟峰, 邓志华等. 火灾中的烟气毒性研究[J]. 火灾科学. 2001, 10(1): 29-33
- [3] Ma Hongtao. Development Situation on Fire Resistance Coating for Steel Structure and Trend [J]. Shandong construction materials. 2007, 3: 37-41. (in Chinese)
马洪涛. 钢结构防火涂料现状及其发展趋势[J]. 山东建材. 2007, 3: 37-41
- [4] Zhou Xirong, Tang Shaoqiu, Zhou Wuyi. Application and Preparation of New Inorganic Paints [J]. Shandong Ceramics. 2004, 27(1): 17-20. (in Chinese)
周锡荣, 唐绍裘, 周武艺. 新型无机涂料的制备及其应用[J]. 山东陶瓷. 2004, 27(1): 17-20
- [5] Liu Guoqin, Zou Min, Wang Jun. A Research on the Property-change of New Type Steel-structurak Foreproof Dope by Using Nano Materials [J]. Journal of Chengdu University of Technology. 2003, 30(4). (in Chinese)
刘国钦, 邹敏, 王军等. 纳米材料改性新生型钢结构防火粉笔料的研究[J]. 成都理工大学学报. 2003, 30(4)
- [6] Cui Xuejun, Li Guojun, Dong Hongliang. Preparation and Characterization of Noncombustible Organic-inorganic Composite Coating Applied on Aluminum Alloy [J]. Journal of Materials Science and Engineering. 2009, 27(5): 704-708. (in Chinese)
崔学军, 李国军, 董洪亮等. 铝合金表面不燃有机-无机复合涂层的制备与表征[J]. 材料科学与工程学报. 2009, 27(5): 704-708
- [7] N. N. VEVODIN, N. T. Grebasch, W. S. Soto, L. S. Kasten. An Organically Modified Zirconate Film as a Corrosion-resistant Treatment for Aluminum 2024-T3 [J]. Progress in Organic Coatings. 2001, 41(4): 287-293
- [8] Conde A, Duran A, Damborenea J J DE. Polymeric sol-gel coatings as protective layers of aluminum alloys [J]. Progress in Organic Coatings, 2003, 46(4): 288-296
- [9] Cui Xuejun, Li Guojun, Reng Ruiming. Preparation of a silica Sol and One Pack Water-based Fluororesin Hybrid Coating for Aluminum Alloy [J]. New Chemical Materials. 2007, 35(12): 63-65. (in Chinese)
崔学军, 李国军, 任瑞铭. 硅溶胶-单组分水性氟树脂复合涂料的制备[J]. 化工新型材料. 2007, 35(12): 63-65
- [10] Xu Xiumei, WU Xian, Zhang Songnian. The Sticky Mechanism of Phosphozic Acid-Cuprous Oxide Inorganic Adhesive and its Practical Application [J]. Liaoning Chemical Industry. 2002, 31(10): 442-444. (in Chinese)
徐秀梅, 吴限, 张松年. 磷酸-氧化铜无机胶粘剂的粘接机理及在生产实践中的应用[J]. 辽宁省化工. 2002, 31(10): 442-444
- [11] Yuan Xinqiang. Preparation Process of Silica Based Ceramic Mold Using Silica Solas Binder [J]. Foundry. 2008, 57(5): 458-460. (in Chinese)
袁新强. 以硅溶胶为粘结剂的硅基陶瓷型制备工艺研究[J]. 铸造. 2008, 57(5): 458-460
- [12] Tan Wenqing, LI Feng. Fireproof and Flam Retardand Technology of Materials surface Coating [M]. Beijing: Chemical Industry Press. 2004: 46-47 (in Chinese)
覃文清, 李风. 材料表面涂层防火阻燃技术[M]. 北京: 化学工业出版社. 2004: 46-47
- [13] GB/T 12441-2005. Finishing Fire Retardand Paint [S]. Beijing: China Publishing Company, 2005
GB/T 12441-2005. 饰面型防火涂料 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
- [14] BSI BS 476-4 Fire Tests on Building Materials and Structures — Part 4: Non-Combustibility Test for Materials [S]. British: British Standards Institution, 1970
- [15] Shao Rugen. Actual Pireproof Coating Standard of China Detection Method [J]. Chemistry Construction Materials, 1998, (3): 22-32
邵如根. 我国现行防火涂料标准及检测方法[J]. 化学建材. 1998(3): 22-32