

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.010

表面开孔 PVC 浸塑手套的制备及其防滑性能

裘耀明¹, 孙天舒², 范传杰²

(1. 上海瑞斯达防护制品有限公司, 上海 200000; 2. 华东理工大学化学工程联合国家重点实验室, 上海 200237)

摘要: 为了提高聚氯乙烯 (PVC) 浸塑手套在湿滑表面的防滑性能, 采用微相分离和物理发泡相结合的手段, 在 PVC 浆液中加入正己烷/乙醇混合溶液及自制的脲醛树脂微胶囊发泡剂, 制备了具有不同表面开孔结构的 PVC 浸塑手套。利用手套表面的开孔可以在手套与湿滑表面接触时像吸盘一样吸附在表面上, 从而提高附着力起到防滑的效果。研究了制备工艺对 PVC 浸塑手套表面开孔结构的影响规律, 并采用摩擦系数测定仪测试了 PVC 浸塑手套在干态和湿态下的防滑性能。研究表明: 采用该发泡工艺可以制得具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套, 表面微孔直径约在 300~600 μm 之间; 摩擦系数测试结果表明: 手套表面的开孔结构对材料在干态下的防滑性能影响不大, 而对其在湿滑表面的动态防滑性能则有比较明显的影响。相比传统的 PVC 浸塑手套, 具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套在湿滑表面的动摩擦系数提高 155%。

关键词: 聚氯乙烯浸塑手套; 防滑; 湿滑表面; 摩擦系数; 表面开孔结构

中图分类号: TB324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0052-06

Preparation and Anti-slip Performance of Surface Open-cell PVC Dipping Gloves

Qiu Yaoming¹, Sun Tianshu², Fan Chuanjie²

(1. Shanghai Rista Labour Protection Products Co., Ltd., Shanghai 200000, China;

2. State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: In order to improve the slip resistance of PVC dipping gloves on slippery surfaces, micro-phase separation and physical foaming were combined to add *n*-hexane/ethanol mixed solution and homemade urea-formaldehyde resin microcapsule foaming agent to PVC slurry. PVC dipping gloves with different open-cell structures were prepared. The use of openings in the surface of the glove allows the glove to be sucked on the surface like a suction cup when it comes into contact with a wet surface, thereby improving the adhesion and providing a non-slip effect. The influences of preparation process on the open-cell structure of PVC dipping gloves were studied, and the slip resistance of PVC dipping gloves under dry and wet conditions were tested using a friction coefficient tester. The results show that PVC dipping gloves with a surface open-cell structure can be obtained by using this foaming process. The surface micropore diameter is between about 300–600 μm . The friction coefficient test results show that the open-cell structure of the glove surface has little effect on the anti-slip properties of the material in the dry state, but it has a significant impact on the dynamic anti-slip performance of the wet surface. Compared to traditional PVC dipping gloves, the coefficient of kinetic friction of the PVC dipping gloves with a surface-opening structure is increased by 155% on wet surface.

Keywords: poly(vinyl chloride) dipping glove; anti-slip; slippery surface; friction coefficient; surface open-cell structure

聚氯乙烯 (PVC) 浸塑手套是以糊状 PVC 树脂和增塑剂及有关助剂为原料, 采用手模浸渍并经后续高温塑化成型而成, 具有成本低、耐酸碱腐蚀、手感舒适、防护效果好等优点, 广泛地应用于建筑、渔业、科研、医疗等领域^[1-2]。然而现有的 PVC 手套表

面光滑, 摩擦系数小, 在穿戴手套抓拿物品时容易发生滑落, 从而影响其使用效果。虽然可以通过在涂层表面增加纹路^[3]或凹凸防滑颗粒^[4]来增加手套的防滑效果, 但是在湿滑的表面, 这种手套的防滑效果依然较差。

通讯作者: 裘耀明, 主要从事环保型特种防护手套及相关功能材料的研究与开发 E-mail: shuanqiu@126.com

收稿日期: 2018-05-15

引用格式: 裘耀明, 孙天舒, 范传杰. 表面开孔 PVC 浸塑手套的制备及其防滑性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8): 52–57.

Qiu Yaoming, Sun Tianshu, Fan Chuanjie. Preparation and anti-slip performance of surface open-cell PVC dipping gloves[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8): 52–57.

为了提高 PVC 浸塑手套在湿滑表面的防滑性能,笔者采用发泡工艺,选用正己烷/乙醇混合液和自制的发泡微胶囊作为复合发泡剂^[5],制备了具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套,利用手套表面的开孔可以在手套与湿滑表面接触时像吸盘一样吸附在湿滑表面上,从而提高附着力起到防滑的效果。研究了制备工艺对 PVC 浸塑手套表面开孔结构的影响规律,并采用摩擦系数测定仪测试了 PVC 浸塑手套在干态和湿态下的防滑性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PVC 糊树脂: EM5511, 天津渤天化工有限责任公司;

邻苯二甲醛二辛酯 (DOP): 化学纯, 天津石化三厂;

Zn-Mg-Sn 稳定剂: KR-600, 化学纯, 天津石化三厂;

脲醛树脂微胶囊: 粒径 150 μm , 囊芯材料为正己烷和四氯乙烯的混合物, 自制;

吐温 80 表面活性剂: 化学纯, 国药集团化学试剂有限公司;

乙醇、正己烷: 分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

高速分散机: Eurostar 20 型, 广州仪科实验室技术有限公司;

数码相机: EM-5 型, 奥林巴斯 (中国) 有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): S3400 型, 日本日立高新技术有限公司;

摩擦系数测定仪: 32-07 型, 美国 TMI 公司。

1.3 PVC 浆液的配制

(1) PVC 浆液 1 的配制。

将 100 质量份的 PVC 糊树脂、2 质量份的 Zn-Mg-Sn 稳定剂和 100 质量份的 DOP 加入高速分散机中, 先在低速 400 r/min 下搅拌 10 min, 再在高速 800 r/min 下搅拌至浆温达到 42℃时停止, 制得 PVC 浆液 1。

(2) PVC 浆液 2 的配制。

待 PVC 浆液 1 冷却至室温后, 称取适量的 PVC 浆液 1, 加入适量的无水乙醇和正己烷混合液, 以及占 PVC 浆液质量分数 2% 的吐温 80 表面活性剂, 在转速 1000 r/min 下偏心搅拌 25 min 后停止

搅拌, 制得 PVC 浆液 2。

(3) PVC 浆液 3 的配制。

向 PVC 浆液 2 中加入适量的脲醛树脂微胶囊后, 在转速 200 r/min 下搅拌 10 min, 制得 PVC 浆液 3。

1.4 PVC 浸塑手套的制备

(1) 传统 PVC 浸塑手套的制备。

将套有棉质针织基布的手模放入 60℃烘箱中预热 10 min 后, 在 PVC 浆液 1 中进行浸渍, 浆液温度控制在 25℃, 浸渍时间 30 s, 手模浸渍、垂滴后放入烤箱中烘烤, 烘烤温度为 170~190℃, 烘烤时间为 15 min, 然后取出手模, 在空气中自然冷却至 50~60℃, 脱模, 制得传统 PVC 浸塑手套。

(2) 表面开孔 PVC 浸塑手套的制备。

将套有棉质针织基布的手模放入 60℃烘箱中预热 10 min 后, 在 PVC 浆液 1 中进行一次浸渍 (PVC 浆液 1 的温度为室温, 浸渍时间 30 s), 浸渍、垂滴后放入烤箱中烘烤, 烘烤温度为 170~190℃, 烘烤时间为 1 min; 将上述浸渍、烘烤后的手模取出后马上放入 PVC 浆液 2 或 PVC 浆液 3 中进行二次浸渍, 浆液温度控制在 25℃, 浸渍时间 30 s, 手模经二次浸渍、垂滴后放入烤箱中烘烤; 烘烤温度为 170~190℃, 烘烤时间 15 min; 取出手模, 在空气中自然冷却至 50~60℃, 脱模, 制得具有表面开孔的 PVC 浸塑手套。

1.5 性能测试与表征

(1) 样品表面形貌的表征。

将制备的 PVC 浸塑手套表面进行喷金处理, 采用 SEM 观察其微观形貌并拍照。

样品表面形貌采用奥林巴斯数码相机进行观察拍摄。

(2) PVC 浸塑手套摩擦系数的测定。

参照 GB 10006-1988 对 PVC 浸塑手套的防滑性能进行测试。利用摩擦系数测定仪测定所制备的具有不同表面形貌的 PVC 浸塑手套与玻璃表面之间的干态和湿态 (水) 摩擦系数, 湿态测试时需将去离子水先涂于玻璃表面, 并形成均匀的水膜。试验前将 PVC 浸塑手套裁剪成 63 mm×63 mm, 外表面朝下, 用双面胶固定在滑块底面下, 将滑块置于玻璃表面中央, 并用细钢丝绳连接滑块与传感器。测试所用滑块质量为 200 g, 试验速度为 100 mm/min。每组实验需要重复测量 3 次, 记录实验的静摩擦系数和动摩擦系数的平均值。

2 结果与讨论

2.1 表面开孔 PVC 浸塑手套的制备工艺

许多研究者^[6-10]通过在 PVC 中加入物理和化学发泡剂制备具有泡孔结构的 PVC 复合材料,比如偶氮二甲酰胺(AC)、碳酸氢钠、偶氮二异丁腈等,然而采用这些发泡剂制备的 PVC 复合材料的泡孔都集中在材料的内部,而材料的表层则较为光滑,不能起到良好的防滑效果。为了得到具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套,笔者借助微相分离和物理发泡相结合的手段,在 PVC 浆液中加入乙醇/正己烷的混合溶液及自制的脲醛树脂微胶囊发泡剂,制备了具有不同表面开孔结构的 PVC 浸塑手套。

(1) 正己烷/乙醇比对 PVC 浸塑手套表面开孔结构的影响。

表 1 为制备 PVC 浸塑手套的配方,图 1 为不同正己烷/乙醇配比制备的 PVC 浸塑手套的数码照片。

样品编号	PVC 浆液	乙醇	正己烷	脲醛树脂微胶囊	产品形态
1 [#]	25	0	0	0	表面无开孔
2 [#]	25	10	0	0	表面无开孔
3 [#]	25	0	10	0	表面无开孔
4 [#]	25	5	15	0	表面开孔不均匀
5 [#]	25	10	10	0	表面开孔较均匀
6 [#]	25	15	5	0	表面开孔较少
7 [#]	25	5	5	0	表面无开孔
8 [#]	25	15	15	0	表面有较大开孔
9 [#]	25	10	10	2	表面有开孔且致密均匀
10 [#]	25	10	10	4	表面有开孔

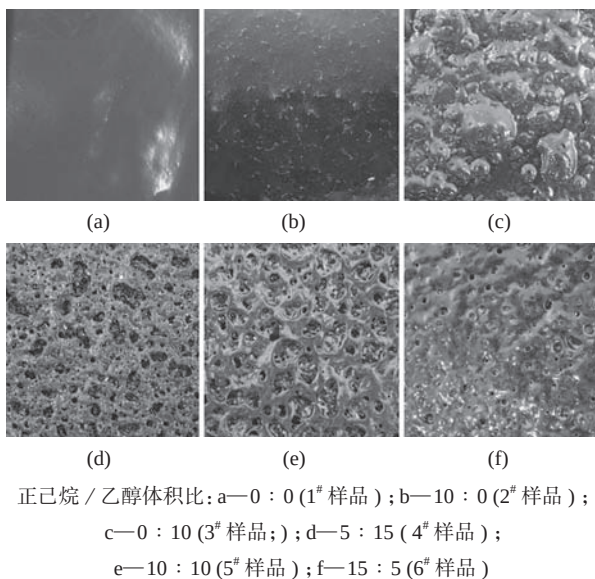


图 1 不同正己烷/乙醇配比下 PVC 浸塑手套表面形貌的数码照片

从图 1 可以看出,当 PVC 浆液中单独添加正己烷或乙醇时制备的 PVC 浸塑手套表面均无开孔的

孔洞;当在 PVC 浆液中加入一定量的乙醇和正己烷的混合液后可以得到表面具有开孔结构的 PVC 浸塑手套。

在较低的乙醇含量(5 体积份)下,PVC 浸塑手套表面的孔洞大小不一,随着正己烷/乙醇混合液中乙醇含量的增加,PVC 浸塑手套的表面开孔变得均匀;然而随着乙醇含量的进一步增加,PVC 浸塑手套表面的开孔减少。这是由于正己烷/乙醇混合液中起到发泡作用的是正己烷,但是正己烷和 PVC 糊树脂中的增塑剂 DOP 难以互溶,因此在不加乙醇的情况下,正己烷难以在 PVC 糊树脂中分散均匀,正是由于正己烷在 PVC 糊中的聚集造成制得的 PVC 浸塑手套表面难以形成均匀的孔洞。乙醇则可以和增塑剂 DOP 完全互溶,而且乙醇和正己烷也可以完全互溶,乙醇在这里起到了增加正己烷和增塑剂 DOP 之间互溶助溶的作用,并且随着正己烷/乙醇混合液中乙醇含量的增加,正己烷和 DOP 的互溶程度也有所增加;然而,由于乙醇不能起到发泡的作用,在正己烷/乙醇混合液总量不变的情况下,乙醇的增加意味着发泡剂正己烷含量的减少,因此制得的 PVC 浸塑手套表面开孔也随之减少。为了获得均匀的开孔结构 PVC 浸塑手套,笔者控制正己烷和乙醇的体积比为 1:1。

(2) 正己烷/乙醇混合液含量对 PVC 浸塑手套开孔结构的影响。

为了考察正己烷/乙醇混合液的含量对 PVC 浸塑手套表面开孔结构的影响,固定正己烷和乙醇的体积比为 1:1,PVC 浆液的量为 25 体积份,制备了不同正己烷/乙醇混合液含量的 PVC 浸塑手套。图 2 为不同正己烷/乙醇混合液含量下 PVC 浸塑手套表面开孔结构的数码照片。

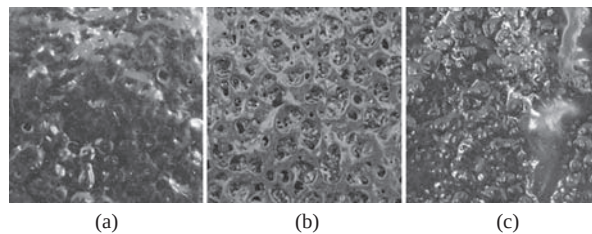


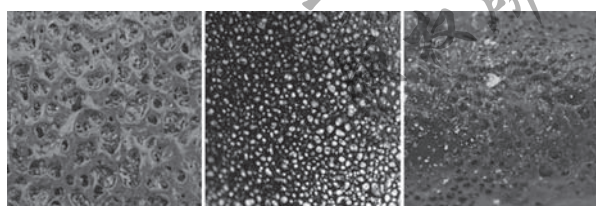
图 2 不同正己烷/乙醇混合液含量下 PVC 浸塑手套表面开孔结构的数码照片

从图 2 可以看出,在较低的混合液含量(10 体积份)下得不到具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套。这是由于正己烷/乙醇混合液的含量太低,导

致 PVC 糊树脂的黏度较高,在升温时产生的正己烷气体不能冲破 PVC 糊树脂的束缚,从而得不到具有表面开孔结构的 PVC 浸塑手套;随着正己烷/乙醇混合液含量的增加, PVC 浸塑树脂的黏度逐渐降低,在升温时正己烷可以冲破 PVC 糊树脂在其表面形成孔洞;然而,随着正己烷/乙醇混合液的含量进一步增加, PVC 糊树脂的黏度急剧下降,从而造成 PVC 糊树脂难以在针织手套表面涂敷。因此为了得到具有表面均匀开孔的 PVC 浸塑手套,正己烷/乙醇混合液与 PVC 浆液的体积比控制在 20:25。

(3) 脲醛树脂微胶囊发泡剂的引入对 PVC 浸塑手套表面开孔结构的影响。

通过在 PVC 糊树脂中加入正己烷/乙醇混合液可以制备表面具有均匀开孔结构的 PVC 浸塑手套。然而由于该工艺制得的微孔直径较大而且不致密。为了获得表面具有均匀致密微孔的 PVC 浸塑手套,在固定 PVC 浆液为 25 体积份、正己烷/乙醇混合液 20 体积份的条件下,加入一定量的脲醛树脂微胶囊发泡剂来调节 PVC 浸塑手套表面微孔的直径。图 3 为不同发泡脲醛树脂微胶囊含量下 PVC 浸塑手套开孔结构的数码照片。

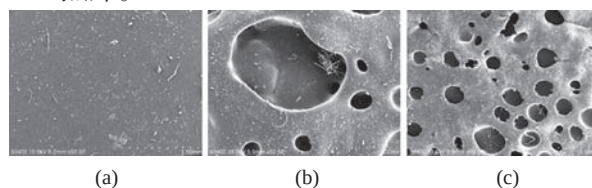


脲醛树脂微胶囊发泡剂含量: a—0 体积份 (5[#] 样品);
b—2 体积份 (9[#] 样品); c—4 体积份 (10[#] 样品)

图 3 不同脲醛树脂微胶囊发泡剂含量下 PVC 浸塑手套开孔结构的数码照片

从图 3 可以看出,加入 2 体积份脲醛树脂微胶囊发泡剂后, PVC 浸塑手套表面的微孔更加致密,孔径也较为均一,且微孔的直径也从加脲醛树脂微胶囊发泡剂前的约 600 μm (见图 3a) 降到 300 μm 左右 (见图 3b)。然而随着脲醛树脂微胶囊发泡剂加入量的增加至 4 体积份时,泡孔分布和孔径开始变得不均匀 (见图 3c),这是由于随着脲醛树脂微胶囊发泡剂含量的增加,发泡过程变得剧烈且难以控制,从而造成上述现象。因此为了得到表面开孔均匀、致密的 PVC 浸塑手套,需要将脲醛树脂微胶囊发泡剂的量控制在 2 体积份。

图 4 是不同工艺制备的 PVC 浸塑手套表面的 SEM 照片。



a—1[#] 样品; b—5[#] 样品; c—9[#] 样品

图 4 PVC 浸塑手套表面 SEM 照片 (放大倍数 50 倍)

从图 4 可以看出,未加入发泡剂的 PVC 浸塑手套表面比较光滑 (见图 4a),表面无开放性的泡孔;加入正己烷/乙醇混合液后, PVC 浸塑手套表面出现了开放性的泡孔,但是孔径较大且不均匀 (见图 4b);加入一定量的脲醛树脂微胶囊发泡剂后, PVC 浸塑手套表面的微孔变得致密,孔径也较为均一 (见图 4c)。

2.2 不同表面结构的 PVC 浸塑手套的防滑性能

目前,国内针对 PVC 浸塑手套的防滑性能还没有统一的测试标准,为了测试手套的防滑性能,参照 GB 10006-1988 测试了不同表面结构的 PVC 浸塑手套在玻璃表面的摩擦系数,用来表征手套的防滑性能。摩擦系数越大表明手套在玻璃表面的防滑性能越好。图 5 是在干态下测定的不同表面结构的 PVC 浸塑手套在光滑玻璃表面的静摩擦系数和动摩擦系数。

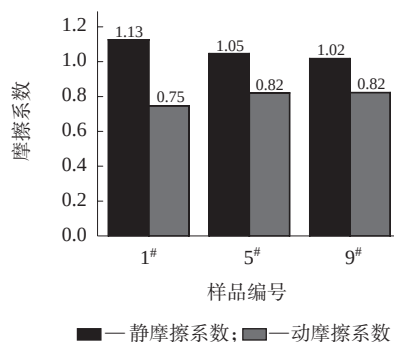


图 5 PVC 浸塑手套在玻璃表面的干态摩擦系数

从图 5 可知,在干态情况下,3 种不同表面结构的 PVC 浸塑手套的静摩擦系数均明显大于动摩擦系数。这主要是由于两个摩擦表面互相接触时,由于表面微凸体结构的高度不一,在接触时会形成犬牙交错的互相接触,这就决定了产生摩擦时有两种基本的表面作用:一种是两个表面压紧时,在接触区域的某些部分发生粘着,另一种是表面微凸体互嵌产生的运动阻力,即摩擦力的产生主要在于“粘着”和“微凸体互嵌”两种相互表面作用之中^[11]。

对于静摩擦而言,物体和表面的静止接触时间要比动摩擦长得多,由于接触点上的压力较高,材料发生弹性互相压入,接触时间长,因塑性流动得到的面积大,互相压入的深度也大,因此从表面的相互作用来看都是随时间而加强的。而且样品在由静止进入相对运动后,材料表面的物理特性不同于静摩擦,材料表面会由于相对运动产生摩擦损伤,同时在滑动摩擦时脱落的微粒将夹杂在两摩擦面之间,这些因素共同导致了材料的动摩擦系数小于静摩擦系数。另外一方面,从微观上来说,物体在运动时的接触面积要比静止时小,这也是造成动摩擦系数小于静摩擦系数的一个原因。

从图5还可以看出,在干态测试条件下,具有不同表面形貌的3个样品之间的静摩擦系数和动摩擦系数总体而言差别不大。这是由于摩擦力的本质是由两物体接触面上的分子间的内聚力引起的^[12],但是对于实际互相接触的物体而言,只有在表面间的微观凸起才互相接触,大多数地方是不接触的,因此对于两个刚性固体表面间的实际的接触面积要远远小于表观的接触面。然而对于柔性的PVC浸塑手套和刚性的玻璃之间而言,由于PVC浸塑手套柔性较大,极易变形,因此具有不同表面结构的PVC浸塑手套与玻璃接触时,接触的面积与标称的面积相当,因此样品的表面形貌在干态测试条件下对材料的摩擦系数影响不大。

图6是在湿态下测定的不同表面结构的PVC浸塑手套在光滑玻璃表面的静摩擦系数和动摩擦系数。

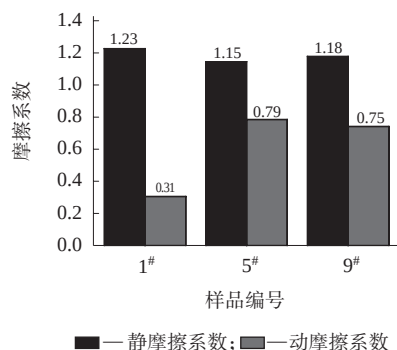


图6 PVC浸塑手套在玻璃表面的湿态摩擦系数

对比图6和图5可以看出,3种不同表面结构的PVC浸塑手套在湿滑表面下的动摩擦系数相比干态测试条件下均有不同程度的下降。造成3种材料在湿态下动摩擦系数下降的原因在于:在有水润湿的情况下,PVC表面不能直接与玻璃表面发生实

际接触,这时分布在PVC表面与玻璃表面之间的水膜就充当了润滑剂起到润滑的作用,从而导致摩擦力急剧减小^[13-14]。

从图6可以看出,相比于传统的PVC浸塑手套(1#样品),具有表面开孔结构的PVC浸塑手套(5#和9#样品)在湿态下的动态摩擦系数从0.31分别增加到0.79和0.75,分别增加了155%和142%。这是由于5#样品和9#样品表面具有大量的微孔,当有少量水的介入并在一定的压力下,这些微孔结构就像一个个吸盘一样,吸附在玻璃的表面,从而增大了摩擦力,提高了材料的防滑性能。从测试结果也可以看出,手套表面开孔的大小对材料的摩擦系数有影响,但影响不大。

从图6还可以看出,3种PVC浸塑手套在湿态下的静摩擦系数差别不大,而且和干态相比并没有明显变化。这是由于在滑移速度低或负荷较大的情况下,接触表面没有达到流体润滑,此时,润滑剂层破裂,表面被分子尺度的润滑剂膜分离^[15]。在这样的条件下,有一层非常薄的润滑剂膜通过很强的分子粘附力粘附在玻璃表面上,润滑剂膜失去了其本体流动性能。在此情况下,水膜对摩擦性能的影响基本失去作用。

3 结论

(1) 采用微相分离和物理发泡相结合的手段,在PVC浆液中加入正己烷/乙醇混合溶液以及自制的脲醛树脂微胶囊发泡剂,制备了具有不同开孔结构的PVC浸塑手套。通过控制正己烷和乙醇的体积比为1:1,正己烷/乙醇混合液与PVC浆液的体积比控制在20:25,并向浆液中加入2体积份脲醛树脂微胶囊发泡剂可以制得表面具有均匀开孔结构的PVC浸塑手套。

(2) 对于PVC浸塑手套而言,手套表面的开孔结构对材料在湿滑表面的动摩擦系数有比较明显的影响。这是由于手套表面的开孔结构,在手套与湿滑表面接触时能够像吸盘一样牢牢吸住接触表面,因此具有优异的动态防滑性能。相比传统的PVC浸塑手套,具有表面开孔结构的PVC浸塑手套在湿滑表面的动摩擦系数增加155%,而手套表面开孔的大小对手套在湿滑条件下的防滑性能影响不大。

参考文献

- [1] 冯威. 一次性手套竞争状况和发展趋势[J]. 中国橡胶, 2017, 33(17):19-23.

Feng Wei. Competition status and development trend of disposable

- gloves[J]. China Rubber, 2017, 33(17):19–23.
- [2] 黄东, 骆雁. PVC 糊树脂技术及市场分析[J]. 中国氯碱, 2016(7):15–19.
- Huang Dong, Luo Yan. Domestic technique and market analysis of PVC paste resin[J]. China Chlor-Alkali, 2016(7):15–19.
- [3] 王久根, 章维明. 仿手掌皮肤的手套设计[C]//2006 全国摩擦学学术会议论文集. 哈尔滨:[出版者不详], 2006.
- Wang Jiugen, Zhang Weiming. Bionic desin of gloves mimicking palm skin[C]//National Tribology Conference Proceedings 2006. Harbin:[s. n.], 2006.
- [4] 江林峰, 陈雷, 李一新. Al_2O_3 防滑粒料对防滑涂层防滑及磨损性能的影响[J]. 涂料工业, 2014(1):6–11.
- Jiang Linfeng, Chen Lei, Li Yixin. Effects of Al_2O_3 nonskid particles on antiskid and wear performance of non-skid coating[J]. Paint & Coatings Industry, 2014, 1:6–11.
- [5] Fan Chuanjie, Zhou Xiaodong. Effect of emulsifier on poly (urea-formaldehyde) microencapsulation of tetrachloroethylene[J]. Polymer Bulletin, 2011, 67(1):15–27.
- [6] 刘燕, 王月, 张少峰. PVC 木塑发泡复合材料的力学性能和密度[J]. 塑料, 2014, 43(5):83–85.
- Liu Yan, Wang Yue, Zhang Shaofeng. Mechanical properties and density of PVC wood-plastic composite[J]. Plastics, 2014, 43(5):83–85.
- [7] 吴成海. BF-470HB 型钡锌复合热稳定剂在 PVC 发泡革中的应用[J]. 塑料助剂, 2018(1):35–37, 45.
- Wu Chenghai. The application of barium zinc composite heat stabilizer BF-470HB in PVC foaming leather[J]. Plastics Additives, 2018(1):35–37, 45.
- [8] 胡晓丽. PVC 发泡板及 PP 塑料在室内植物墙工程中的应用研究[J]. 当代化工, 2017(12):2 603–2 605, 2 609.
- Hu Xiaoli. Study on application of PVC foaming board and PP plastic in indoor plant wall engineering[J]. Contemporary Chemical Industry, 2017(12):2 603–2 605, 2 609.
- [9] 李静, 刘浩, 刘容德, 等. PVC 木塑发泡材料性能的研究[J]. 聚氯乙烯, 2017(1):9–19.
- Li Jing, Liu Hao, Liu Rongde, et al. Study on properties of PVC-based wood-plastic composite foamed materials[J]. Polyvinyl Chloride, 2017(1):9–19.
- [10] 钱志轩. 关于聚氯乙烯树脂常见发泡材料种类的讨论[J]. 西部皮革, 2017(12):18.
- Qian Zhixuan. Discussion on kinds of common foaming materials for PVC resins[J]. West Leather, 2017(12):18.
- [11] 吴晓红, 蒋彩云, 李晓华, 等. 白酒接触塑料中增塑剂迁移规律研究[J]. 广州化工, 2015(1):105–107.
- Wu Xiaohong, Jiang Caiyun, Li Xiaohua, et al. Research for migration rule of plasticizer in liquor contact plastics[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015(1):105–107.
- [12] 谢世汉. 为什么静摩擦系数大于动摩擦系数[J]. 江西师范大学学报:自然科学版, 1984(2):44–46.
- Xie Shihan. Why static friction coefficient is greater than dynamic friction coefficient[J]. Journal of Jiangxi Normal University:Natural Sciences Edition, 1984(2):44–46.
- [13] 罗珊, 王武康. 家具防震设计中脚垫材料与不同地面间静摩擦系数的研究[J]. 木材加工机械, 2017(1):27–30.
- Luo Shan, Wang Wukang. The research on the coefficient of static friction between the different ground and the furniture feet mats materials in the furniture shockproof design[J]. Wood Processing Machinery, 2017(1):27–30.
- [14] 段晓霞, 孙世戎, 冯伟宏, 等. 聚氨酯弹性体跟面不同性能之间关系的研究[J]. 中国皮革, 2014, 43(24):104–107.
- Duan Xiaoxia, Sun Shiyu, Feng Weihong, et al. Research on relationship among different porperties of polyurethane elastomer heel [J]. China Leather, 2014, 43(24):104–107.
- [15] 王豪清, 童宏拓, 王祝兵, 等. 合成革及皮革与布料间的摩擦系数研究[J]. 中国皮革, 2016, 45(11):8–11.
- Wang Haoqing, Tong Hongtuo, Wang Zhubing, et al. Rsearch on friction coefficient between synthetic leather or natural leather and cloth [J]. China Leather, 2016, 45(11):8–11.
- [16] 王梦蛟, 王进文. 填料对轮胎抗湿滑性能的影响(一):水的润滑作用与填料-弹性体的相互作用(上)[J]. 世界橡胶工业, 2013, 40(2):1–9.
- Wang Mengjiao, Wang Jinwen. Effect of filler on the resistance to tire-slip of tire (I):The interaction of water lubrication and filler-elastomer (Part I)[J]. World Rubber Industry, 2013, 40(2):1–9.

(上接第 51 页)

- of fused deposition modeling(FDM) 3D printing process parameters optimization[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016(6):139–142, 146.
- [16] 王建, 张弓, 王卫军, 等. FDM 成型技术中的扫描路径生成方法研究[J]. 制造技术与机床, 2018(1):107–110.
- Wang Jian, Zhang Gong, Wang Weijun, et al. Research on scanning path generation approach in FDM molding technology[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2018(1):107–110.
- [17] 曹师增, 刘元义, 宋发成, 等. 基于矩阵分析法的 FDM 样件翘曲变形参数优化研究[J]. 山东理工大学学报:自然科学版, 2018, 32(4):61–64.
- Cao Shizeng, Liu Yuanyi, Song Facheng, et al. Parameters optimization study in warp deformation of FDM parts based on matrix analysis method[J]. Shandong University of Technology:Natural Science Edition, 2018, 32(4):61–64.