

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180300807

丙烯酸酯-有机硅/有机颜料亚微胶囊 在涂料印花中的应用

陈智杰¹, 周鹏¹, 杜春晓¹, 金黔宏², 戚栋明¹, 向忠³

(1. 浙江理工大学 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310018; 2. 义乌市中力工贸有限公司, 浙江 义乌 322007; 3. 浙江省现代纺织装备技术重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要 为进一步提高颜料亚微胶囊涂料印花织物的手感、透气性等服用性能, 通过原位乳液共聚合将端乙烯基聚二甲基硅氧烷(ViPDMS)引入聚丙烯酸酯(PAcr)胶囊壁材中, 制得颜料亚微胶囊P(DMS-Acr)/PB; 再将其用于织物涂料印花, 并对印花织物的透气性、硬挺度、耐干湿摩擦牢度、K/S值等进行测试比较。结果表明: 当ViPDMS质量分数为30%时, 可制得平均粒径为318 nm、放置均匀稳定的深色胶乳; P(DMS-Acr)/PB印花织物的耐干湿摩擦牢度和K/S值与PAcr/PB印花织物相近, 但透气性更好, 手感更柔软; 在亚微胶囊壁材中引入高柔顺性的有机硅组分, 可增强焙烘过程中织物表面涂层的黏流分相能力。

关键词 有机颜料; 胶囊; 端乙烯基聚二甲基硅氧烷; 涂料印花; 透气性

中图分类号: TQ 32517 文献标志码: A

Application of acrylate-silicone/organic pigment submicron capsules in pigment printing

CHEN Zhijie¹, ZHOU Peng¹, DU Chunxiao¹, JIN Qianhong², QI Dongming¹, XIANG Zhong³

(1. Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China; 2. Yiwu Zhongli Industry and Trade Co., Ltd., Yiwu, Zhejiang 322007, China; 3. Key Laboratory of Modern Textile Equipment Technology in Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract In order to further improve the handle feeling, permeability and other performance of the fabric printed by the organic pigment submicron capsules, vinyl-terminated polydimethylsiloxane (ViPDMS) was co-polymerized with acrylic monomer (Acr) by miniemulsion polymerization, and a series of P(DMS-Acr)/PB submicron capsules were prepared. Then the P(DMS-Acr)/PB submicron capsules with high viscous flowability were used for the pigment printing of polyester plain weave fabric, and the air permeability, stiffness, dry and wet rubbing fastness and K/S values of the printed fabric were tested and compared. The results show that when the mass fraction of ViPDMS is 30%, a uniform and stable dark latex with an average particle size of 318 nm can be obtained. The K/S values and the dry and wet rubbing fastness of the fabric printed by the P(DMS-Acr)/PB submicron capsules are similar with these of the PAcr/PB printed fabric, while the air permeability and the fabric stiffness are much better than the later. It is considered that the introduction of the silicone composition into the submicron capsule wall material can significantly enhance the viscous flowability and the phase separation capability of the coating on the fabric surface during the baking process.

Keywords organic pigment; capsule; vinyl-terminated polydimethylsiloxane; pigment printing; permeability

收稿日期: 2018-03-01 修回日期: 2018-12-04

基金项目: 国家自然科学基金联合基金项目(U1609205); 浙江省自然科学基金重点项目(LZ18E030002); 浙江理工大学科研启动基金(18022114-Y); 义乌市科技攻关项目(2017-z-03); 浙江省新苗人才计划(2017R406048)

第一作者: 陈智杰(1989—)男, 博士。主要研究方向为颜料胶囊制备及成膜研究。

通信作者: 向忠(1978—)男, 副教授, 博士。主要研究方向为纺织印染装备信息化、智能化。E-mail: xz@zstu.edu.cn。

涂料印花是一种借助于高分子黏合剂将颜料固定在织物表面的着色技术,因只需较少水洗就可使织物获得鲜艳的颜色,故十分符合现今染整行业“低耗少水”的技术要求。目前,涂料印花所用色浆通常由黏合剂胶乳与颜料水分散液等组分经简单共混配制而成。黏合剂胶粒对颜料颗粒的黏附定向性较差,因此,高分子黏合剂需要形成一层连续的、厚度较大的膜,才能保证颜料牢固地附着织物表面。但是过厚的聚合物膜严重破坏了原有织物的组织结构 and 表面手感,从而导致涂料印花织物普遍存在手感与牢度很难兼顾、透气性差等缺陷^[1-2]。

为此,国内外研究者将有机颜料和黏合剂胶粒进行预复合制成颜料胶囊,再用于涂料印花。Fu等^[3-5]的研究表明,颜料颗粒经丙烯酸酯聚合物(PAcr)包覆后,其在水相体系中的分散性、在涂层胶膜中的分散均匀性以及与织物的结合牢度等均可得到明显改善。戚栋明等^[6-7]通过细乳液、微悬浮等非均相原位聚合,制备了一系列以PAcr为壁材、有机颜料铜酞菁蓝颗粒(PB)为内核的高分散性颜料胶囊,所制胶囊黏合剂壁材对颜料颗粒的黏附定向性高,应用于棉、丝等织物的涂料印花,获得了良好的显色效果和摩擦牢度^[8]。但研究结果表明,使用现有的以PAcr为主要壁材的颜料亚微胶囊进行涂料印花,所印制织物仍存在2个重要的不足:透气性较差和触摸时的滑爽感不佳^[9-10]。这主要归因于丙烯酸酯共聚物胶膜的黏性较大且极易受温度影响产生“热黏冷脆”等问题。另外,用作黏合剂的丙烯酸酯共聚物在织物表面成膜时很难发生断裂,使得织物纤维和纱线结构完全被胶膜覆盖,导致印制织物的透气性明显下降。

上述问题可通过将有机硅组分引入颜料亚微胶囊壁材中来改善。有机硅大分子链段拥有良好的柔顺性,与丙烯酸酯单体共聚后可提高聚合物分子链的流动能力,降低表面张力,并赋予聚合物胶膜“滑爽”感^[11],因而在家具、建筑、纸张、皮革等水性涂料加工领域,常用于改性PAcr,以提高黏合剂聚合物的流动能力和表面性能^[12]。本文在前期研究工作的基础上,通过细乳液共聚合在壁材聚合物中引入端乙烯基聚硅氧烷,制备新型含硅颜料亚微胶囊P(DMS-Acr)/PB,以期通过提高焙烘成膜过程中壁材聚合物的黏流铺展性能,改善涂层在织物表面的附着状态和微结构形貌,进而考察对印花织物各项服用性能的影响,重点评估有机硅组分对织物表面涂层微相结构及性能的影响规律及其作用机制。

1 实验部分

1.1 材料

丙烯酸酯(Acr)单体为甲基丙烯酸甲酯(MMA)和丙烯酸丁酯(BA)均由天津科密欧试剂有限公司提供;端乙烯基聚二甲硅氧烷(ViPDMS,运动黏度为500 mm²/s,深圳联环有机硅材料有限公司);有机颜料铜酞菁蓝(PB 15:3,杭州百合化工有限公司);增稠剂(PTF,上海拓佳公司);引发剂过硫酸钾(KPS,上海试四赫维化工有限公司);乳化剂十二烷基硫酸钠(SDS,上海阿拉丁试剂有限公司);共稳定剂正十六烷(HD,上海阿拉丁试剂有限公司)等均为分析纯。

涤纶织物,平纹结构组织,面密度为56 g/m²,苏州泽佑纺织有限公司。

1.2 仪器

Mastersizer-2000型激光粒径仪(DLS,英国马尔文公司);JSM-1230EX T20型透射电子显微镜(TEM,日本JEOL公司);JSM-5610LV型扫描电子显微镜(SEM,日本JEOL公司);Y571C型摩擦色牢度仪(温州方圆仪器有限公司);YG207型自动织物硬挺度仪(宁波纺织仪器厂);YG461E型数字式透气量仪(宁波纺织仪器厂);JY92-II型细胞粉碎机(宁波新芝科技有限公司)。

1.3 颜料亚微胶囊的制备

将ViPDMS、Acr单体、助乳化剂HD混合均匀后,再加入有机颜料PB,经搅拌、超声5 min后得到颜料/单体分散液。将颜料/单体分散液倒入含有乳化剂SDS的水相中,搅拌10 min,得到预乳化液。将预乳化液置于细胞粉碎机中,冰水浴下超声10 min(超声5 s,间歇5 s,功率为200 W),制得细乳化液。最后,将细乳化液倒入装有回流搅拌装置的四口烧瓶中,水浴升温至70℃后,开始滴加引发剂KPS的水溶液,反应7 h,制得P(DMS-Acr)/PB颜料亚微胶囊乳液。

1.4 涤纶织物涂料印花工艺

取20 g所制颜料亚微胶囊乳液,逐步加入0.55 g增稠剂PTF,搅拌调至一定稠度后,静置一段时间去除气泡,之后采用经向刮印方式对涤纶平纹织物进行满地印花,刮印1次。将印花织物预烘5 min(60℃),再焙烘5 min(120℃)。

1.5 测试与表征

1.5.1 胶囊乳液粒径测试

采用激光粒径仪测量颜料亚微胶囊的粒径及其

分布,设置遮光率为 15% 测试 3 次,取平均值。

1.5.2 胶膜形貌观察

在聚四氟乙烯模具(形状为圆形,半径为 3 cm)中倒入 10 g 所制颜料亚微胶囊乳液,置于温度为 35 ℃,湿度为 65%的恒温恒湿箱中放置 24 h。之后进行冷冻切片,观测胶膜形貌。

1.5.3 印花织物表面形貌观察

将颜料亚微胶囊涂料印花成品置于导电胶上,用扫描电镜观察样品的表面形貌,加速电压为 3 kV。

1.5.4 印花织物性能测试

耐干湿摩擦牢度根据 GB/T 3920—2008《纺织品色牢度试验 耐摩擦色牢度》,采用摩擦色牢度仪测量;硬挺度根据 GB/T 18318—2001《纺织品 织物弯曲长度的测定》,采用自动织物硬挺度仪测量;透

气率根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,采用数字式透气量仪测量;耐皂洗牢度根据 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》测量。

2 结果与讨论

2.1 亚微胶囊的粒径和形貌

表 1 示出不同 ViPDMS 质量分数的 P(DMS-Acr)/PB 亚微胶囊配方、粒径大小及其分布。按表 1 所示配方,通过原位细乳液共聚合,制得一系列体系均匀稳定、壁材中有机硅含量可调的深蓝色复合胶乳,相应胶粒的平均粒径大小及其分布列于表 1 中。

表 1 细乳液聚合所制颜料亚微胶囊的配方和粒径大小及其分布

Tab.1 Reaction formulations, average particle size and size distribution of pigment submicron capsules prepared by miniemulsion polymerization

样品组 编号	各配方质量/g								平均粒径/ nm	粒径分布 指数
	MMA	BA	ViPDMS	PB	HD	SDS	KPS	H ₂ O		
1	5.0	5.0	0	0.5					160	0.107
2	4.5	4.5	1	0.5					194	0.154
3	3.5	3.5	3	0.5	0.2	0.5	0.3	88.5	318	0.212
4	2.5	2.5	5	0.5					652	0.523
5	3.5	3.5	3	0					290	0.115

在前期研究^[6]中发现,细乳液聚合所制 PAcr/PB 胶粒的平均粒径通常在 150~300 nm 之间。由表 1 可知,P(DMS-Acr)/PB 胶粒的平均粒径明显增大。当 ViPDMS 质量分数为 30%时(相对于聚合单体的质量分数,样品组 3),亚微胶囊平均粒径增大至 318 nm,粒径分布指数(PDI)增至 0.212,但样品放置 3 个月仍能保持较好的分散性和分散稳定性(添加少量增稠剂后稳定性更佳),这种放置稳定性对胶囊的实际应用非常重要。而当 ViPDMS 质量分数达到 50%后,亚微胶囊粒径会进一步增至 652 nm 左右,PDI 增至 0.523,样品的放置稳定性会有所下降,经摇晃或添加增稠剂后才能提高均质分散程度。这是由于有机硅组分的引入改变了细乳液液滴的表面张力^[13],进而影响所制胶粒尺寸及其抗沉降性能。考虑实际应用时对涂料色浆稳定性的要求,胶囊壁材中 ViPDMS 的质量分数不宜高于 30%,此时胶粒平均粒径在 300 nm 左右,分散稳定性较好,符合应用要求。

进一步对 PAcr/PB、P(DMS-Acr)、P(DMS-Acr)/PB 这 3 种胶囊所制胶膜的微相结构进行比较,其胶膜切片的典型透射电镜照片如图 1 所示。

从图 1(a)中 PAcr/PB 胶膜的内部形貌可看

出,深色的不规则颜料颗粒较均匀地分散在整个 PAcr 基体中。从图 1(b)中 P(DMS-Acr)胶膜的形貌可看出,浅色的连续基体为 PAcr 相,深色分散相为含高元素序数硅原子的 PDMS 相^[14],这些有机硅相以胶粒形式存在,胶粒尺寸小,数量多,球形度好,与基体的边界清晰,说明 ViPDMS 与 PAcr 的相容性差,已在焙烘成膜过程中通过分相行为形成了典型的“岛相”结构。从图 1(c)示出的 P(DMS-Acr)/PB 胶膜的内部形貌可以发现,P(DMS-Acr)/PB 胶膜呈现典型的“海岛湖”三相结构。其中 PDMS 相依然作为岛相分布在 PAcr 海相中,而绝大部分高疏水性颜料颗粒会以“岛中湖”的形式分布在低表面能、低极性的 PDMS 岛相内。

综上所述,ViPDMS 的引入没有影响颜料颗粒在胶膜中的良好分散状态,还使胶膜形成具有典型“海岛湖”形貌特征的三相结构。由此认为,P(DMS-Acr)/PB 亚微胶囊应用于织物涂料印花,有望产生新颖的印花性能和效果,因而,通过测试涂料印花织物的透气性、硬挺度、耐干湿摩擦牢度和 K/S 值等服用指标,探究 PAcr/PB 与 P(DMS-Acr)/PB 这 2 种颜料亚微胶囊印花织物的性能差异及其内在原因。

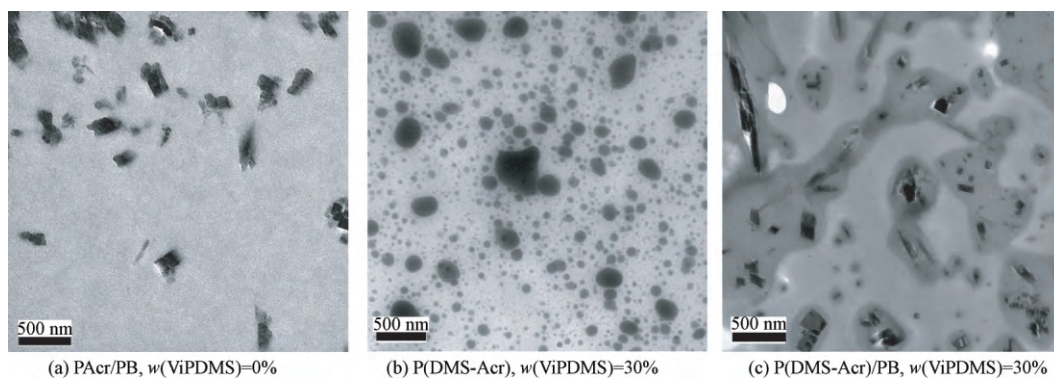


图1 PAcr/PB、P(DMS-Acr)和P(DMS-Acr)/PB胶膜的微观形貌

Fig.1 TEM images of composite latex films of PAcr/PB, P(DMS-Acr) and P(DMS-Acr)/PB

2.2 印花织物的透气性

对不同 ViPDMS 质量分数的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的透气率进行测试,结果如图2所示。

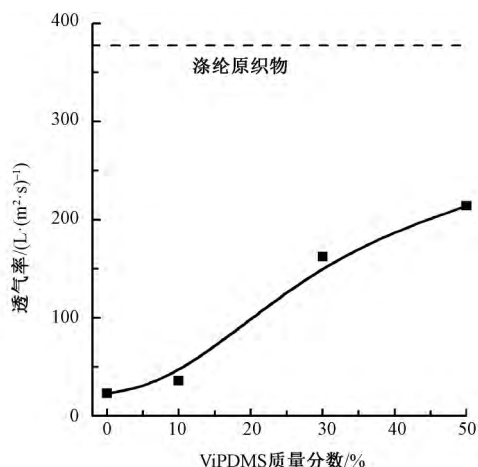


图2 亚微胶囊 ViPDMS 质量分数对所印织物透气率的影响

Fig.2 Influence of ViPDMS content of submicron capsules on air permeability of coated fabric

由图2可看出,不同 ViPDMS 质量分数的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物在经过烘焙后,其透气率都有所下降,这是因为聚合物在织物表面成膜附着,均会不同程度地遮盖原有织物纤维之间和纱线之间的空隙。但是对比后可明显看出,不含 ViPDMS 的 PAcr/PB 印花织物的透气率相较于原织物几乎损失了 90% 作用的透气率,而 ViPDMS 质量分数越高的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的透气率越接近原织物。当 ViPDMS 的质量分数为 50% 时,印制织物的透气率相较于 PAcr/PB 印花织物提升接近 10 倍。

对上述印花织物的表面形貌进行观察比较,其典型扫描电镜照片如图3所示。

从图3可看出:织物表面已形成了一层较薄但连续的 PAcr/PB 胶膜,这层连续胶膜完全地覆盖了

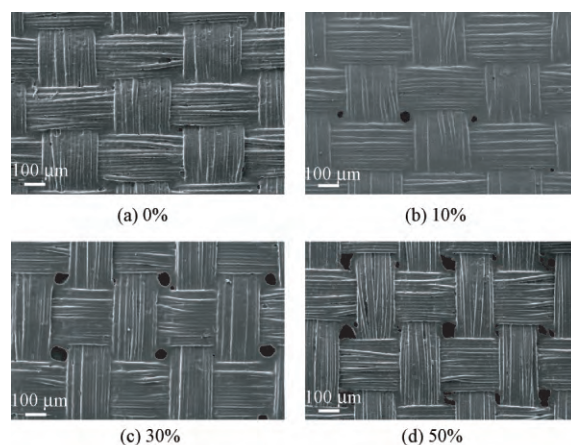


图3 不同 ViPDMS 质量分数亚微胶囊印制织物的 SEM 照片

Fig.3 SEM images of surface morphology of fabric coated by submicron capsules with different ViPDMS contents

织物堵塞了纱线与纱线之间的空隙,造成织物透气率急剧下降;当 ViPDMS 质量分数为 10% 时,相应印花织物表面纱线间开始出现间隙;当 ViPDMS 质量分数增加至 30% 时,这些间隙尺寸和数量都会有显著增加,涂层胶膜的连续性被明显破坏,织物透气率也会随之提高。P(DMS-Acr)/PB 胶膜已从对织物表面的整体覆盖,逐渐转变为对织物中纱线甚至是纱线中单纤维的独立包覆;而当 ViPDMS 质量分数增至 50% 时,胶膜总体上对纱线间空隙的堵塞已较不明显,此时印花织物的透气率已接近原织物的 50%。

P(DMS-Acr)/PB 壁材聚合物中含有大量的 Si-O-Si 柔性长链,这些高柔顺性长链在焙烘黏流状态下有比 PAcr 链更强的迁移流动能力。当 P(DMS-Acr)/PB 在织物表面焙烘成膜时,聚合物可流动至纱线内部,减弱胶膜对织物表面的整体覆盖以及对纱线空隙的堵塞,从而可有效地降低印花涂层对空气流通的阻挡。

2.3 印花织物的硬挺度和手感

对不同 ViPDMS 质量分数的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物硬挺度进行测试,结果如图 4 所示。可以看出,涂覆涂料后印花织物的硬挺度都有所提升,即手感都与原织物相比变得更不柔软。但是,含有大量 ViPDMS 的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的硬挺度上升幅度远小于同等印花条件下的 PAcr/PB 印花织物。

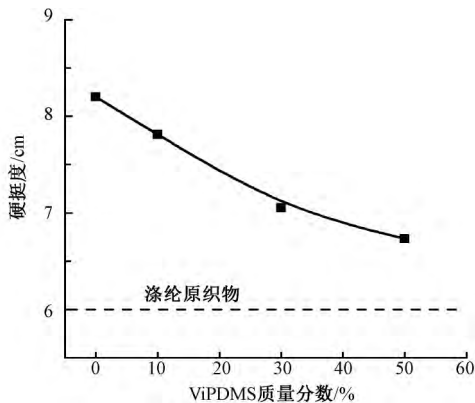


图 4 亚微胶囊 ViPDMS 质量分数对印花织物硬挺度的影响

Fig.4 Stiffness of coated fabric with different ViPDMS contents

硬挺度变化的原因可通过对相应印花织物的单纤维表面涂层形貌进行观察和比较得出,如图 5(a) 所示。可以看出,PAcr/PB 印花织物表面的颜料与聚合物形成了几乎没有孔隙的连续膜。这层连续膜完全覆盖了平纹涤纶织物原有的纤维之间的空隙,将多根单纤维联结在一起,因此,在织物被触碰或者弯曲时,联结在一起的纤维会产生更大的抗弯强度,进而提高了织物的硬挺度,降低了织物柔软的手感。而从图 5(b)~(d) 中可以看出:随着 ViPDMS 质量分数的提高,聚合物在织物表面所成的胶膜越来越不连续;当 ViPDMS 质量分数超过 30% 时,胶膜逐渐形成了对纤维的定向包覆,纤维之间的空隙基本上得到了保留。因此,相应印花织物的硬挺度会逐渐降低,印花织物的手感也越柔软。

此外,从图 5 还可见,低表面能有机硅组分易分相成微团,且会向空气界面富集,从而在胶膜表层形成大量有机硅乳突。由于有机硅链段大量存在于纤维表面,因此织物表面的清爽感会明显增加,手感也会十分柔软^[17]。

2.4 印花织物的色牢度和 K/S 值

对 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的耐干湿摩擦牢度进行测试,结果如表 2 所示。

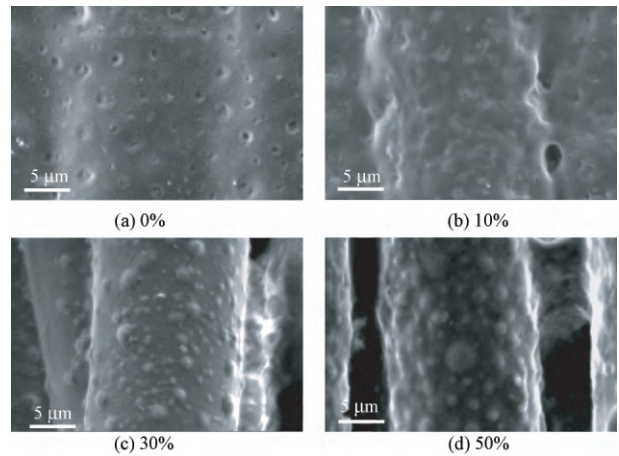


图 5 不同 ViPDMS 质量分数亚微胶囊涂料印花织物表面形貌 SEM 照片

Fig.5 SEM images of surface morphology of single fiber with different ViPDMS contents

表 2 不同 ViPDMS 质量分数亚微胶囊印花织物耐干湿摩擦牢度和耐皂洗牢度

Tab.2 Dry, wet rubbing and soaping fastness of coated fabric with different ViPDMS contents

ViPDMS 质量分数/%	耐皂洗牢度/级	耐摩擦牢度/级	
		干	湿
0	4~5	4~5	4
10	4~5	4	4
30	4~5	4	4
50	4~5	3~4	2~3

从表 2 可见:不同 ViPDMS 质量分数的涂料印花织物的耐皂洗牢度均为 4~5 级,几乎没有变化;而 PAcr/PB 印花织物的耐干摩擦牢度为 4~5 级,耐湿摩擦牢度为 4 级;P(DMS-Acr)/PB 印花织物的耐干湿摩擦牢度均会略低于前者,尤其是当 ViPDMS 质量分数达到 50% 时,印花织物的耐干湿摩擦牢度已降至 3 级左右。

胶囊化后的颜料在胶膜中的分散性均较好,涂层对颜料的覆盖程度较好,颜料颗粒较少裸露在表面,很难在皂洗中剥离出涂层,而聚合物组分的变化对颜料分散的影响较小^[18],故 ViPDMS 质量分数对相应涂料印花织物的耐皂洗牢度影响不大。

由于 P(DMS-Acr)/PB 胶膜中存在大量有机硅相,且其与 PAcr 连续相的相容性和结合力相对较弱,因而胶膜强力相比于 PAcr/PB 会有所下降^[18],进而会在破坏织物表面胶膜连续性的同时降低印花织物的耐摩擦牢度。尤其是当 ViPDMS 质量分数达到 50% 时,有机硅分相行为导致的胶膜连续相变差已较严重,故相应印花织物的耐干湿摩擦牢度会急剧下降。而当 ViPDMS 质量分数不高于 30% 时,有机硅分相尚未对胶膜宏观力学性能产生显著影响,

同时,胶膜表层有机硅乳突的存在会有效降低胶膜的摩擦因数,进而提高胶膜的耐摩擦性能,因此印花织物耐干湿摩擦牢度降低幅度相对有限。

不同 ViPDMS 质量分数 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的 K/S 值如图 6 所示。

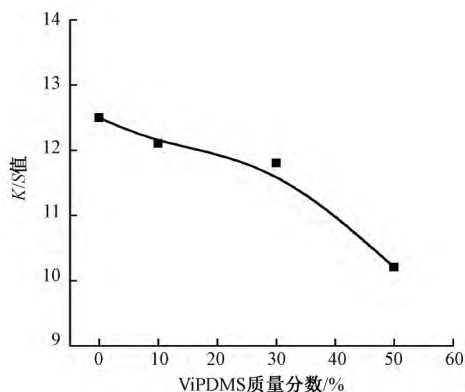


图 6 不同 ViPDMS 质量分数的 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的 K/S 值

Fig.6 K/S values of coated fabric with different ViPDMS contents

从图 6 可知,相比于 PAcr/PB 印花织物, P(DMS-Acr)/PB 印花织物的 K/S 值会有所降低,且 ViPDMS 质量分数越大, K/S 值降低程度越大。这是由于 P(DMS-Acr)/PB 内部存在分相结构,有机硅相尺寸大都在 300~500 nm 之间,这些微相结构会造成胶膜连续性变差、透明度下降,从而影响颜料颗粒的显色效果。特别是当 ViPDMS 质量分数达到 50% 后,胶膜中有机硅相过多,导致颜料胶膜的 K/S 值降低明显。但当 ViPDMS 质量分数为 30% 时,印花织物 K/S 值会从无有机硅组分情况下的 12.5 降低至 11.8,下降 5.6%,尚在可接受范围。这是因为在 ViPDMS 质量分数较低的胶膜中大尺寸有机硅相的数量相对较少,胶膜整体的透明性较高,因而有机硅组分对颜料颗粒显色效果的影响还不明显。

综合考虑,当颜料胶囊壁材中 ViPDMS 质量分数为 30% 时,所制 P(DMS-Acr)/PB 印花织物的色深性和色牢度会有略微下降,但印花织物的透气性、手感柔软性和滑爽感可得到显著提高。

3 结 论

1) 通过原位细乳液聚合将 ViPDMS 引入颜料亚微胶囊壁材中,可制得稳定性较好、有机硅含量较高的颜料亚微胶囊 P(DMS-Acr)/PB。

2) P(DMS-Acr)/PB 成膜后,其胶膜内部呈现典型的“海岛湖”分相结构,PB 颜料颗粒会以岛中湖的形式优先分配和均匀分散在 ViPDMS 岛相中。

有机硅组分的加入及其焙烘过程中的分相和破裂行为,可使涂层从对织物表面的连续整体覆盖转化为对织物中纱线乃至单纤维的独立包裹,因此在降低胶膜连续性的同时,可显著减少对纱线间空隙的堵塞和对纤维的黏连,从而减弱涂层对织物原有透气性和柔软性的不良影响。同时,低表面能有有机硅组分易分相且向胶膜表面富集,织物表面的滑爽感会明显增加,手感也会十分柔软。

3) 颜料亚微胶囊壁材中引入有机硅组分,改变了复合胶膜的流变-分相性能,可赋予织物表面颜料胶膜附着状态和微相结构更大的可调控性,因此有望根据服用性能的需要来设计和调控印花织物表面涂层的结构和效应。

FZXB

参考文献:

- [1] 付少海,王大同,杜长森,等. 提高喷墨印花颜料墨水印花牢度的方法[J]. 纺织学报, 2015, 36(2): 141-147.
FU Shaohai, WANG Datong, DU Changsen, et al. Improve color fastness of inkjet printing textiles using pigment ink[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(2): 141-147.
- [2] LEE S J, DONG N, HEO M, et al. Most simple preparation of an inkjet printing of silver nanoparticles on fibrous membrane for water purification: technological and commercial application[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2017, 46(2): 273-278.
- [3] FU S H, DU C S, ZHANG M J, et al. Preparation and properties of polymer-encapsulated phthalocyanine blue pigment via emulsion polymerization[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 73(2): 149-154.
- [4] LI M, ZHANG L P, PENG H Y, et al. Preparation of fluorescent pigment latex and its application on binder-free printing of cotton fabrics[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(6), 45826-45834.
- [5] LI M, ZHANG L P, WANG D, et al. Influence of nano-coated pigment ink formulation on ink-jet printability and printing accuracy[J]. Coloration Technology, 2017, 133(6): 476-484.
- [6] 陈智杰,吴明华,史鹤鹤,等. 涂料印染用自黏性有机颜料亚微胶囊的细乳液法制备[J]. 纺织学报, 2017, 38(3): 91-98.
CHEN Zhijie, WU Minghua, SHI Hehe, et al. Preparation of self-adhesive submicron organic pigment-containing capsules via miniemulsion polymerization for paint coloring[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(3): 91-98.
- [7] 陈智杰,吴明华,史鹤鹤,等. 壳聚糖大分子链的形态调控及其在微悬浮聚合中的分散稳定作用[J]. 高分子学报, 2017, 5(5): 802-810.

- CHEN Zhijie , WU Minghua , SHI Hehe , et al. Conformation regulation of chitosan macromolecular chain and its dispersing and stabilizing effects in micro-suspension polymerization [J]. *Acta Polymerica Sinica* , 2017 , 5(5) : 802-810.
- [8] 陈智杰 , 申兴丛 , 徐杰 , 等. 有机颜料微胶囊形态对棉织物涂料印花效果的影响 [J]. *纺织学报* , 2011 , 32(8) : 81-86.
- CHEN Zhijie , SHEN Xingcong , XU Jie , et al. Effect of morphology of microcapsulated natural pigment on printing result of cotton fabrics [J]. *Journal of Textile Research* , 2011 , 32(8) : 81-86.
- [9] 孙段冰 , 吴明华 , 陈权胜 , 等. 有机硅交联剂对聚丙烯酸酯性能的影响 [J]. *纺织学报* , 2014 , 35(11) : 95-101.
- SUN Duanbing , WU Minghua , CHEN Quansheng , et al. Influence of silicone crosslinking agent on properties of polyacrylate [J]. *Journal of Textile Research* , 2014 , 35(11) : 95-101.
- [10] 李强 , 吴明华 , 孙晓芳 , 等. 双端丙烯酰氧基聚醚硅油的制备及其改性聚丙烯酸酯性能 [J]. *纺织学报* , 2012 , 33(10) : 72-78.
- LI Qiang , WU Minghua , SUN Xiaofang , et al. Synthesis of double terminated acryloyloxy-polyether silicone oil and property of its modified polyacrylate latex [J]. *Journal of Textile Research* , 2012 , 33(10) : 72-78.
- [11] ZHANG Q Y , GALVAN M , MING W H , et al. Synthesis and surface properties of PDMS-containing latexes by emulsion polymerization using AIBN as the initiator [J]. *European Polymer Journal* , 2013 , 49(8) : 2327-2333.
- [12] HAO G F , ZHU L Q , YANG W , et al. Investigation on the film surface and bulk properties of fluorine and silicon contained polyacrylate [J]. *Progress in Organic Coatings* , 2015 , 85: 8-14.
- [13] UMAPORN P , YURI R , KATHARINA L , et al. Hoffmann R , et al. Soft core-hard shell silicone hybrid nanoparticles synthesized by miniemulsion polymerization: effect of silicone content and crosslinking on latex film properties [J]. *Australian Journal of Chemistry* , 2011 , 64(8) : 1054-1064.
- [14] LIN M T , CHU F X , GUYOT A , et al. Silicone-polyacrylate composite latex particles: particles formation and film properties [J]. *Polymer* , 2005 , 46(4) : 1331-1337.
- [15] SHEN J , SUN J W , HU Y , et al. Polysiloxane/polyacrylate composite latexes with balanced mechanical property and breathability: effect of core/shell mass ratio [J]. *Journal of Applied Polymer Science* , 2017 , 134(35) : 958-964.
- [16] 樊武厚 , 黄玉华 , 韩丽娟 , 等. 端羟乙基硅油的合成及其在硅丙乳液制备中应用 [J]. *纺织学报* , 2016 , 37(2) : 112-120.
- FAN Wuhou , HUANG Yuhua , HAN Lijuan , et al. Synthesis of dihydroxyethyl-terminated polysiloxane and its application in preparation of silicone-acrylate emulsions [J]. *Journal of Textile Research* , 2016 , 37(2) : 112-120.
- [17] KHANJANI J , PAZOKIFARD S , ZOHURIAAN M. Improving dirt pickup resistance in waterborne coatings using latex blends of acrylic/PDMS polymers [J]. *Progress in Organic Coatings* , 2017 , 102: 151-166.
- [18] SHINODA H , MATYJASZEWSKI K , OKRASA L , et al. Structural control of poly (methyl methacrylate)-g-poly (dimethylsiloxane) copolymers using controlled radical polymerization: effect of the molecular structure on morphology and mechanical properties [J]. *Macromolecules* , 2003 , 36(13) : 4772-4778.